

# Evaluer les performances réelles de nos fusées à eau

Collège Jules Michelet (Tours - 37)



Réalisation par :

9 élèves de 6<sup>ème</sup> du collège (4 filles et 5 garçons)

2 étudiants de Polytech Tours

2 professeurs de Sciences et technologie :

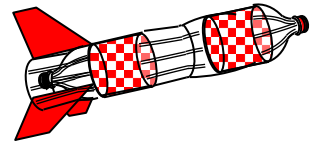
Benjamin Didier et Philippe Tiret



La main à la pâte



# Sommaire



Mise en œuvre.....	2
Qui sommes-nous ?.....	2
Présentation du projet « Partir et vivre sur une autre planète » .....	2
Présentation de notre projet de fusée à eau .....	4
Problématique .....	4
Partenariat avec l'école Polytech Tours .....	5
Réalisation d'un module d'enregistrement des performances de nos fusées .....	5
Visite de Polytech Tours .....	6
La réalisation de fusée à eau .....	7
Matériel .....	7
Construction de la fusée.....	7
Simulation des performances de nos fusées.....	9
Simulation des lancers sur ordinateur .....	9
Analyse des performances théoriques de nos fusées.....	11
Recherche des performances réelles de nos fusées.....	12
Lancer des fusées dans la cour et récupération des performances .....	12
Analyse des performances réelles .....	14
Comparaison des performances et analyse des résultats.....	15
Discussion et recherche d'explications .....	16
Conclusion .....	17
Annexes ( <b>vidéo de présentation et carnet de bord</b> ).....	19



# Mise en œuvre

## Qui sommes-nous ?

Nous sommes un groupe de 9 élèves de 6<sup>ème</sup> du collège Jules Michelet de Tours (4 filles et 5 garçons). Nous avons réalisé une lettre de motivation dans laquelle nous avons présenté notre intérêt pour les sciences. Nous avons été sélectionnés par nos professeurs de Sciences et Technologie pour participer au projet : Evaluer les performances réelles de nos fusées à eau !



*Le groupe : ABUSAWIGH Raghid, BERNARD-PLANESSE Estéban, BERTHONNEAU Margot, BROSSIER Éloïse, DUBOIS Timothei, HELLOUVRY Malo, JULIO Olivia, MARTINEAU Jules, MILLIEN Timotéo !*

Nous avons travaillé 1 heure par semaine depuis janvier 2020 avec nos professeurs de Sciences et technologie pour préparer cette démarche d'investigation et vous la présenter.

*Margot*

## Présentation du projet « Partir et vivre sur une autre planète »


Dans le cadre des Sciences et technologies en 6<sup>ème</sup>, nous avons développé un projet commun à 3 disciplines : SVT, Physique-Chimie et Technologie, enseigné par un seul professeur.



L'objectif du projet est de faire découvrir aux élèves les possibilités de « partir et de vivre ailleurs dans notre système solaire ».

Nous abordons cela en 4 thèmes :

- Connaitre la Terre et son environnement.
- Préparer puis effectuer le voyage vers une autre planète.
- Vivre sur une autre planète.
- Explorer la planète.

# Projet Sciences et Technologie en 6<sup>e</sup> :



**Thème 1**  
Connaître la planète Terre :  
Les êtres vivants dans leur environnement

- La Terre et le système solaire
- Les mouvements de la Terre
- A la découverte d'un écosystème (Sortie au parc Prébendes)
- La Terre, une planète active
- A la découverte des paysages
- Des liens de parenté entre les êtres vivants

**Thème 2**  
Préparer puis effectuer le  
"Voyage vers Mars"

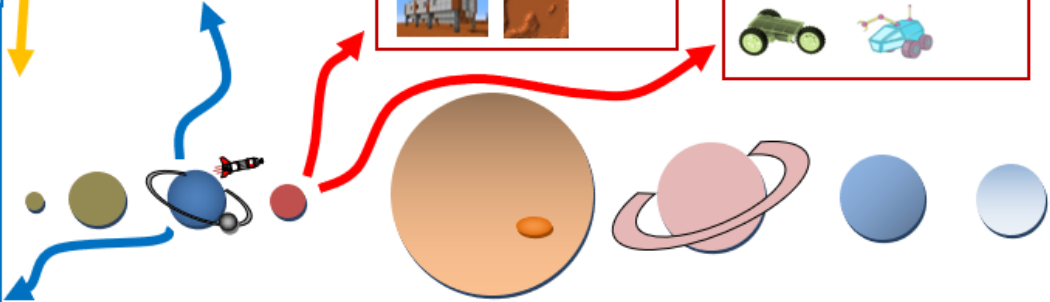
- Se préparer au voyage
- Concevoir une fusée (propulsion)

**Thème 3**  
Vivre sur la planète Mars

- Le développement des êtres vivants
- Cultiver et se nourrir
- Concevoir une base











**Thème 4**  
Explorer la planète Mars

- Produire, stocker et utiliser son énergie
- Explorer la surface de Mars
- Concevoir un robot explorateur



## Partir et vivre sur une autre planète

**DIDIER Benjamin – TIRET Philippe**  
Professeurs de Sciences et Technologie  
Collège Jules Michelet - TOURS

Affiche du projet de Sciences et Technologie "Partir et vivre sur une autre planète" du collège.

Chaque thème est travaillé dans des activités en classe. Nous réalisons de nombreuses expériences (mesure de l'éclairement en fonction d'une distance, modélisation et enregistrement d'un séisme en classe, germination de graine hors-sol, produire sa nourriture à partir de végétaux...) et nous concevons des objets techniques nécessaires à la réalisation de notre mission (fusée à eau lancée dans la cour, Biodôme de culture, robot explorateur, impression 3D, ...). Nous étudions également des missions scientifiques, comme la mission Proxima (de Thomas Pesquet en 2016/2017), le robot Curiosity la mission InSight et bientôt Mars 2020 et Exomars.

Depuis septembre 2019, nous sommes devenus "collège Pilote" avec la fondation La main à la pâte. Nous sommes accompagnés par la maison pour la science Centre-Val de Loire et un exobiologiste, Frédéric Foucher, du Centre de Biophysique Moléculaire - CNRS d'Orléans. Ils nous missionnent et nous conseillent dans la conception d'une base spatiale martienne réalisée avec le jeu sérieux Minecraft !

Enfin en 2019-2020, nous avons demandé à l'école Polytech de Tours de nous accompagner dans la conception de nos fusées. Deux étudiants de 5e année ont réalisé un module permettant d'enregistrer les performances de nos fusées à eau.

*Benjamin Didier et Philippe Tiret  
Professeurs de Sciences et technologie*

## Présentation de notre projet de fusée à eau

Dans la partie, « Préparer puis effectuer le voyage vers une autre planète », nous abordons la problématique du déplacement dans l'espace et nous réalisons des fusées à eau pour expérimenter la propulsion.

Par groupe de 2, nous réalisons une fusée en utilisant 2 bouteilles en plastique, puis nous faisons un travail de décoration pour personnaliser nos fusées.

Enfin, nous effectuons un lancer dans la cour du collège, nous invitons les parents à assister à l'évènement et nous mesurons la distance parcourue par chaque fusée.



*Décoration des fusées.*

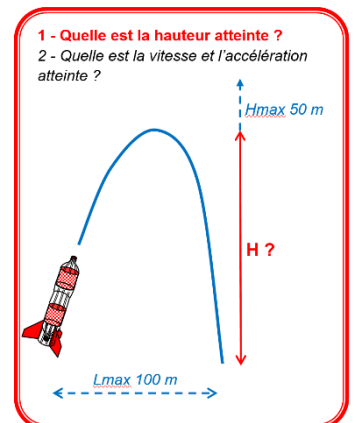


*Lancer de fusée dans la cour.*

## Problématique

Actuellement, nous n'avons pas de moyen pour déterminer ni la hauteur, ni la vitesse, ni l'accélération de nos fusées...

**Comment connaître les performances réelles de nos fusées à eau ?**

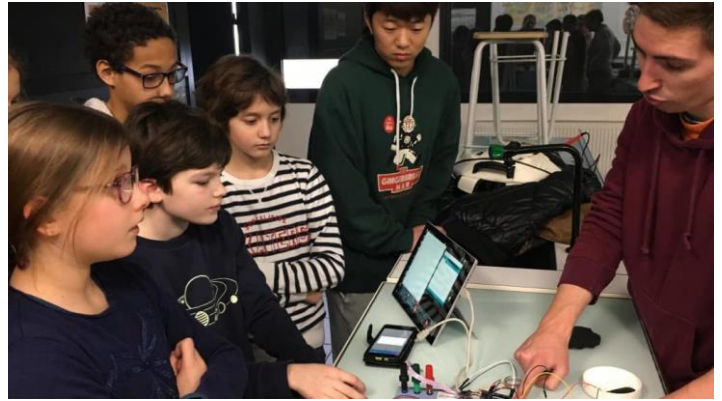
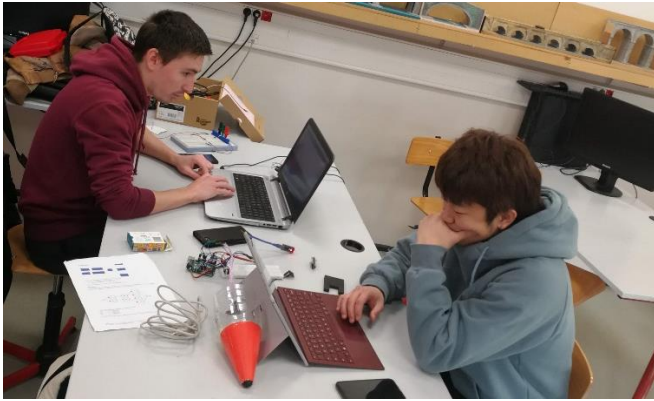


*Malo*

# Partenariat avec l'école Polytech Tours

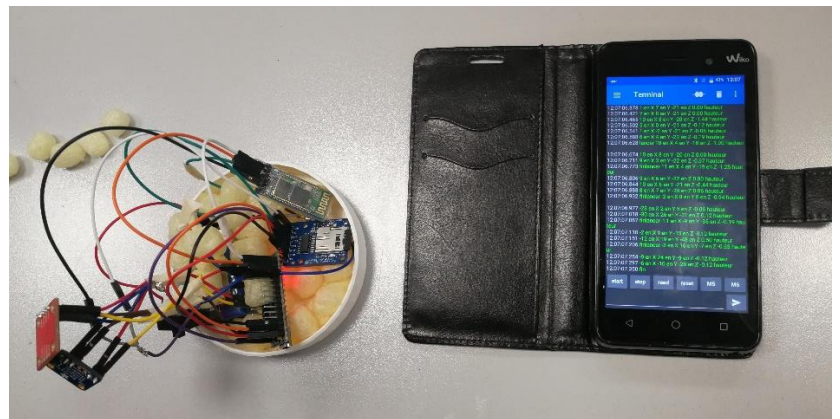
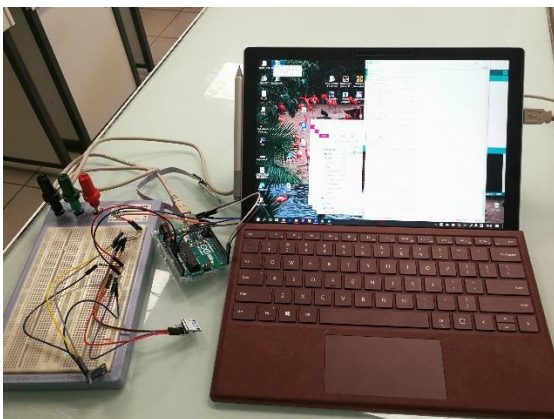
## Réalisation d'un module d'enregistrement des performances de nos fusées

Pour en savoir plus, nous avons proposé à l'école Polytech de Tours de nous aider en fabriquant un module embarqué d'enregistrement des paramètres capable de communiquer (pendant ou après le lancer) ces informations sur smartphone ou ordinateur portable. Deux étudiants de cinquièmes années d'étude d'ingénieur, Anthony Graziani et Yi Ru, ont conçu puis réalisé un module d'enregistrement embarqué. Ils nous ont exposé leur démarche de conception et de réalisation.



*Présentation par les étudiants du module d'enregistrement au groupe.*

Le système est basé sur un Arduino Nano, deux capteurs (un accéléromètre et un altimètre), une carte SD pour stocker les données et une solution de communication par Bluetooth.



*Module d'enregistrement pendant la conception.*

Jules et Estéban

## Visite de Polytech Tours

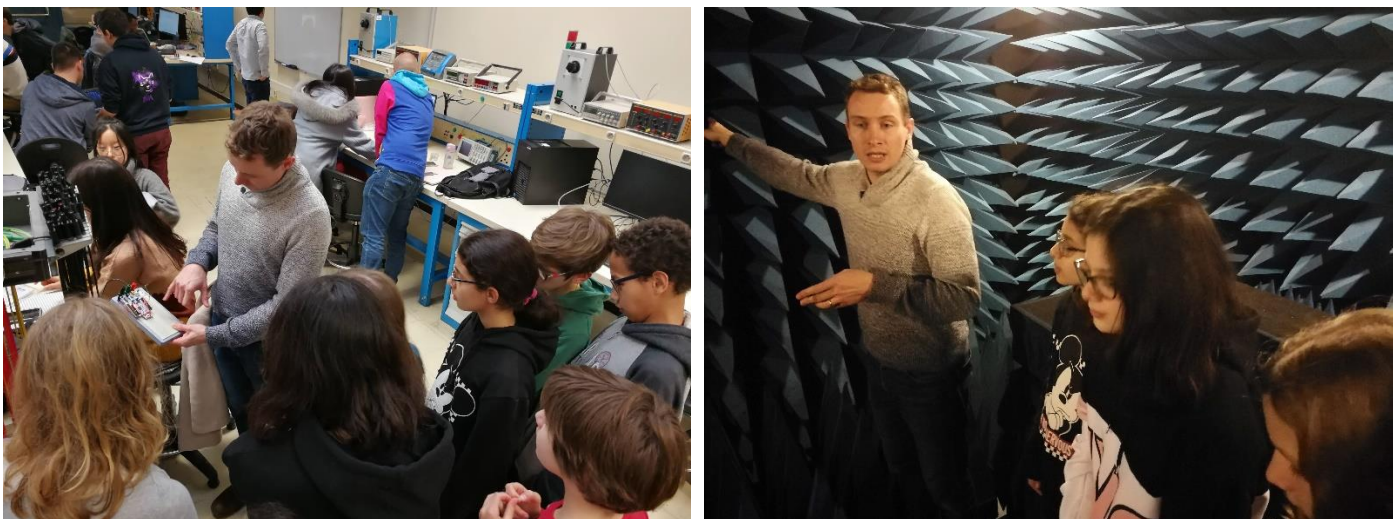
Le mercredi 12 février 2020, nous sommes partis à la découverte de l'école de nos étudiants, Anthony et Yi.



*Présentation du module par Anthony et Yi à l'école Polytech de Tours.*

Là-bas, nous avons découvert les projets des autres étudiants de l'école. Tous les projets nous ont été expliqués dans les plus amples détails. Il y avait des choses très compliquées que nous n'avons pas vraiment comprises... mais c'était très impressionnant !

Nous sommes allés dans une salle remplie de pics en mousse qui la rendait insonorisée. C'était étrange, car on ne s'entendait quasiment plus c'est d'ailleurs pourquoi la porte ne devait pas être fermée.



*Présentation des projets d'étudiants en électronique et visite d'une salle insonorisée.*

Nous avons découvert une table sur laquelle il y avait des robots. Cette table permet de faire un tournoi de robots qui opposent différentes écoles d'ingénieur tous les ans.



*La table « Défi robot » et la graveuse laser.*

Nous pouvons remercier la graveuse laser qui nous a offert un magnifique porte-clés. La voir fonctionner nous a laissés sans voix, à vrai dire c'était la première fois qu'on en voyait en vrai !

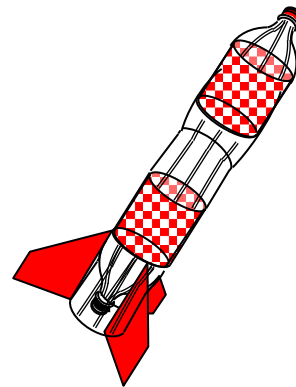
*Eloise*

## La réalisation de fusée à eau

### Matériel

Pour la réalisation de nos fusées, nous avons utilisé :

- 2 bouteilles de Coca Cola 1,75 l vide
- du ruban adhésif
- une imprimante 3D
- une plastifieuse
- une paire de ciseaux
- du papier
- un ordinateur avec le site BlocksCAD



### Construction de la fusée

Nous avons pris une des deux bouteilles de Coca de 1,75 l et nous l'avons coupé pour récupérer la partie du goulot. Ensuite, nous avons fabriqué sur un logiciel de traitement de texte les ailerons, la jupe et le cône que nous avons décoré avec des images et des logos. Nous les avons ensuite plastifiés et découpés.





*Préparation de nos fusées.*

Sur le site BlockCAD, nous avons conçu un embout de protection en 3D et puis l'avons imprimé avec l'imprimante 3D du collège.

Pour finir, nous avons assemblé tous les éléments à la deuxième bouteille entière de 1,75 l qui devient donc notre réservoir.



*Impression 3D de l'embout de protection et assemblage de nos fusées.*

*Olivia*

# Simulation des performances de nos fusées

## Simulation des lancers sur ordinateur

Nous sommes allés sur un site spécialisé (en anglais) permettant de simuler des lancers de fusées. Nous avons rentré les caractéristiques précises de nos fusées (volume de la bouteille, pression en bar, taille de la sortie...) puis observé les résultats.

**1 – Ouvrir le site :** <http://cjh.polyplex.org/rockets/simulation/>

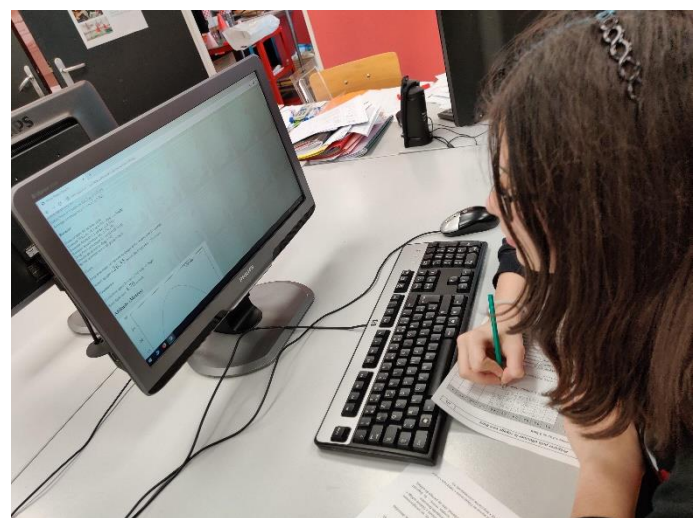
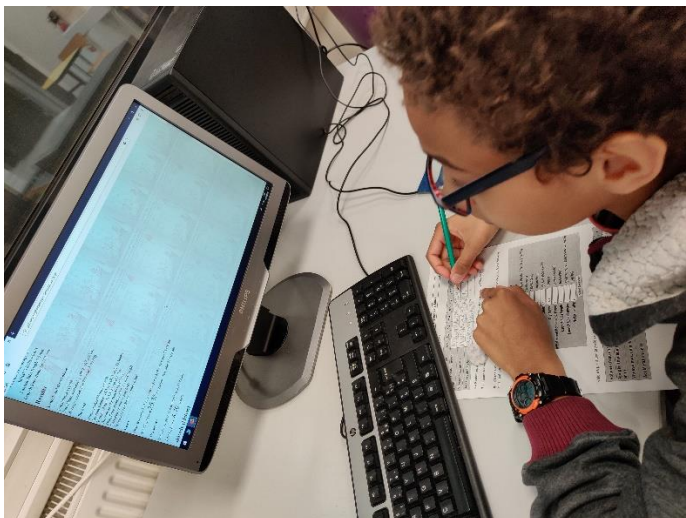
**2 – Compléter le tableau avec les valeurs ci-dessous :**

<b>Volume fusée</b>	Rocket volume: 1.75 (litres)
<b>Volume d'eau</b>	Water volume: 0.3 * (litres)
<b>Pression en bar</b>	Pressure: 2b (in Kpa, append 'b' for bars, 'p' for PSI)
<b>Taille du goulot (diamètre)</b>	Nozzle size: 22 * (millimeters)
<i>Facteur de perte du goulot</i>	Nozzle loss factor: 0.16 * (0.05-0.3ish)
<b>Diamètre de la bouteille</b>	Bottle diameter: 100 (millimeters)
<i>Coefficient de trainée</i>	Coefficient of Drag: 0.3 (typical range 0.1-0.5)
<b>Masse à vide (sans eau)</b>	Dry mass: 120 * (grams)
<i>Vitesse initiale (pour 2<sup>ème</sup> étage)</i>	Initial speed (for second stage): 0 (metres/second)
<i>Longueur de Tube de lancement</i>	Launch tube length: 0 (millimetres)
<i>Diamètre de Tube de lancement</i>	Launch tube diameter: 0 (millimetres, zero means same as nozzle)
<i>Densité de l'eau</i>	Water density: 1 * (kg/litre)

**3 – Cliquer sur  (Fr : Proposer la simulation)**

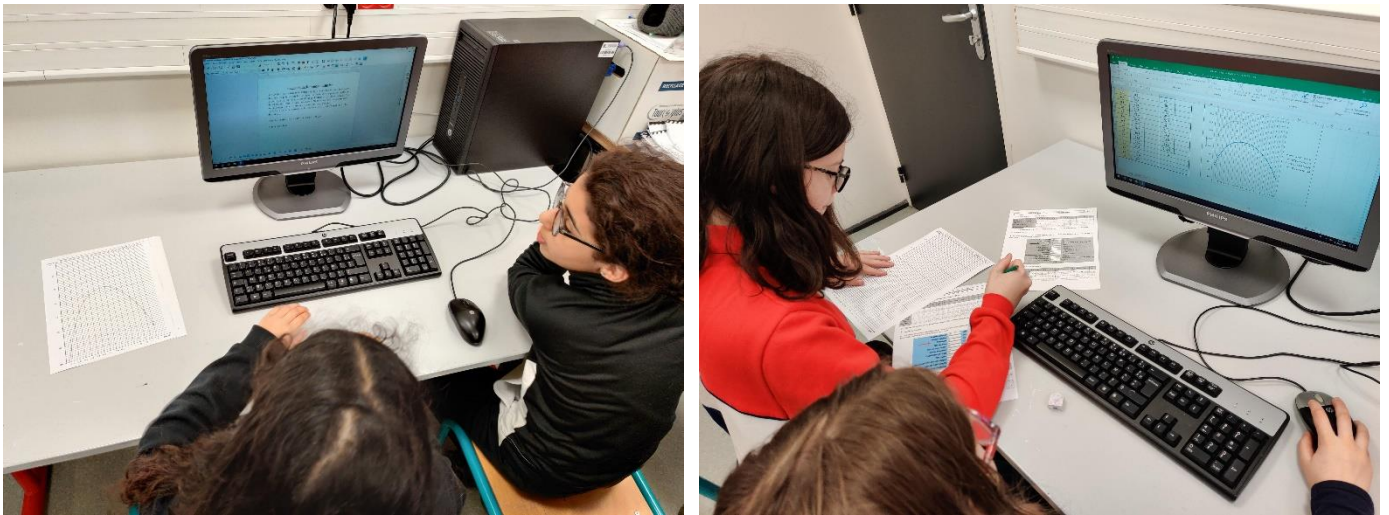
Site permettant les simulations de lancers de fusée (<http://polyplex.org/rockets/simulation/>).

Nous avons fait varier la quantité d'eau (de 0,1 à 1,5l). On devait d'abord tester à 2 bars, puis refaire les simulations à 3 bars.



Simulation de lancers de fusée par ordinateur et relevé des valeurs.

Nous avons noté les valeurs dans des tableaux puis nous avons reporté les valeurs sur un graphique.



Réalisation des graphiques à la main et à l'ordinateur puis analyse des résultats.

Voici les tableaux des performances théoriques de nos fusées :

Valeurs pour une pression d'air de **2 bars** et masse **120 g** :

Volume d'eau en litre	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Apogée (hauteur max.) en m	8,62	15,67	20,44	23,52	25,39	26,35	26,67	26,71	26,12	24,94	23,16	20,77	17,70	13,88	9,21
Vitesse max. en m/s	49,3	19,2	22,5	24,5	25,6	26,1	26,2	26	25,4	24,4	23	21,1	18,7	15,5	11,3
Accélération en G	99,6	88	77,3	67,6	58,7	50,5	43	36,2	29,9	24,2	19,1	14,5	10,4	6,8	3,8

Tableau des performances des fusées en fonction du volume d'eau (pression de 2 bars).

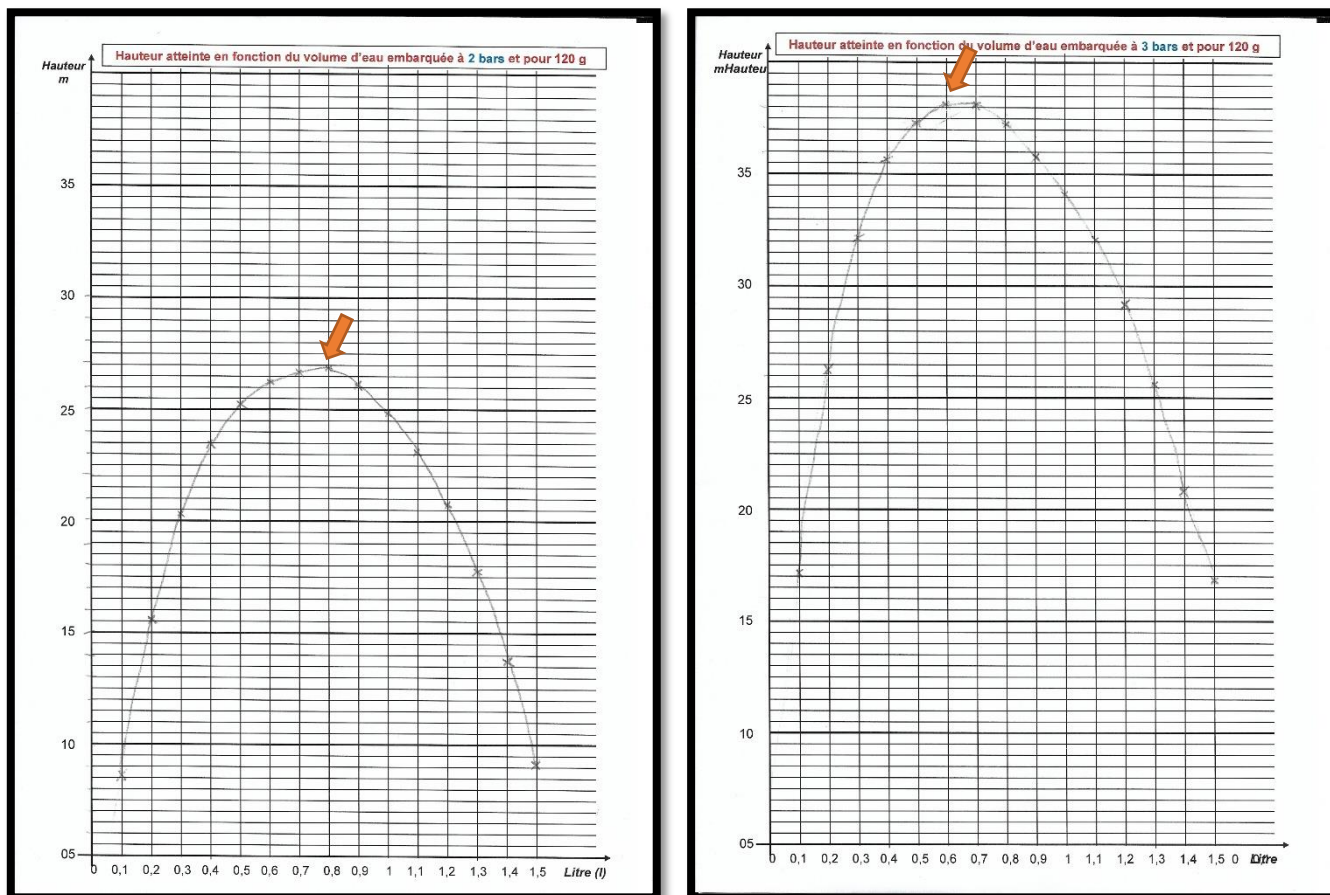
Valeurs pour une pression d'air de **3 bars** et masse **120g** :

Volume d'eau en litre	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Apogée (hauteur max.) en m	17,16	26,49	32,19	35,59	37,44	38,18	38,07	37,25	35,85	34,15	32,09	29,26	25,57	20,87	14,94
Vitesse max. en m/s	29,4	26,8	30,6	32,8	33,9	34,3	34	33,2	32,1	30,7	29,1	26,9	24,2	20,6	15,9
Accélération en G	149,8	139,4	116,5	101,9	88,5	76,2	65	54,7	45,3	36,8	29,1	22,2	16,1	10,7	6,1

Tableau des performances des fusées en fonction du volume d'eau (pression de 3 bars).

## Analyse des performances théoriques de nos fusées

Nous avons réalisé deux graphiques pour visualiser facilement les hauteurs :



Graphiques des hauteurs atteintes (en mètre) en fonction du volume d'eau (pression de 2 bars et 3 bars).

Théoriquement pour une **pression de 2 bars**, la quantité d'eau idéale à embarquer est de **0,8 l**, pour une **hauteur maximale de plus de 26 m**.

Pour **3 bars de pression**, le graphique nous indique que la quantité d'eau idéale serait de **0,6 l** pour une **hauteur maximale de plus de 38 m**.

Nous observons également dans le tableau « **2 bars** » que la **vitesse maximale est de 26,2 m/s (soit 93,6 km/h)** pour une **accélération de 43 g**.

Pour le tableau de « **3 bars** », la **vitesse maximale est de 34,3 m/s (soit 122,4 km/h)** pour une **accélération de 65 g**.

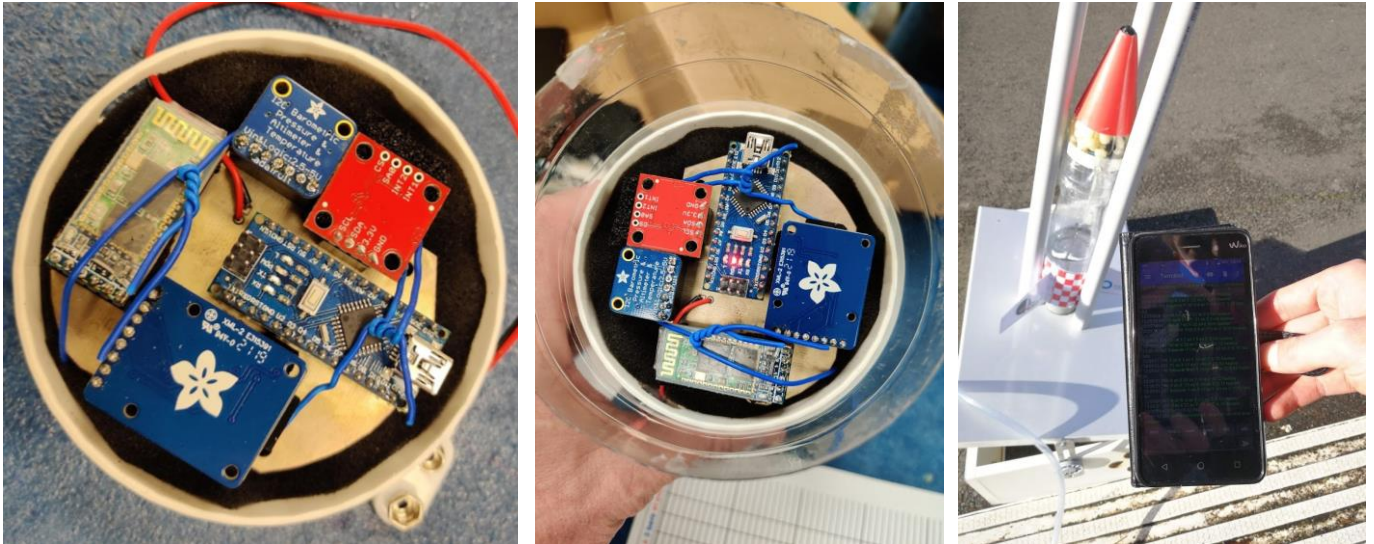
Nous allons maintenant effectuer des lancers pour comparer avec ses résultats !

*Timotéo et Raghid*

# Recherche des performances réelles de nos fusées

## Lancer des fusées dans la cour et récupération des performances

Pour le lancement des fusées, nous avons utilisé le module développé par les deux étudiants de Polytech Tours mais les résultats n'ont pas été exploitables... Nous l'avons fixé dans la coiffe et au moment de l'atterrissage la carte SD avait un faux contact et donc nous n'avons pas pu lire les données...



*Module d'enregistrement développé par Polytech Tours.*

Le module est toujours en cours de développement, nous espérons pouvoir le retester rapidement dans nos fusées !

Finalement, nous avons testé les fusées avec un module d'enregistrement venu des USA, l'*Altimetertwo* qui nous donnait facilement la hauteur et la vitesse de nos fusées.



*Le module d'enregistrement « Altimetertwo » sur un support fabriqué à l'imprimante 3D.*

Nous avons rempli des bouteilles avec les quantités d'eau (de 0,1 à 1,5 l) puis nous avons testé les différents volumes d'eau lors de lancers dans la cour de récréation.



*Remplissage des fusées avec différentes quantités d'eau*

Après avoir positionné la fusée sur le pas de tir, nous utilisons une pompe à vélo pour monter à 2 bars de pression puis nous attendons le « top » de lancement.



*Mise en place de la fusée puis mise en pression.*

En tirant la ficelle, nous enlevons la partie de maintien du goulot et libérons la fusée !



Prêt à tirer et 3, 2, 1... Décollage !!!

### Analyse des performances réelles

Sur les cinq lancers, quatre ont été enregistrés, voici les valeurs :

		Vol 1	Vol 2	Vol 3	Vol 4	Vol 5
Quantité d'eau	l	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Apogee / Apogée	m	Echec	26	19	21	22
Top Speed / Vitesse maximale	m/s	Echec	34	32	29	26
Thrust Time / Temps de poussée	s	Echec	0,21	0,26	0,23	0,26
Peak Acceleration / Vitesse maximale	g	Echec	40,5	22,7	19,1	12,8
Average Acceleration / Accélération maximale	g	Echec	16,2	12,4	12,7	10,3
Flight Duration / Durée du vol	s	Echec	4,6	4,4	4,7	4,8

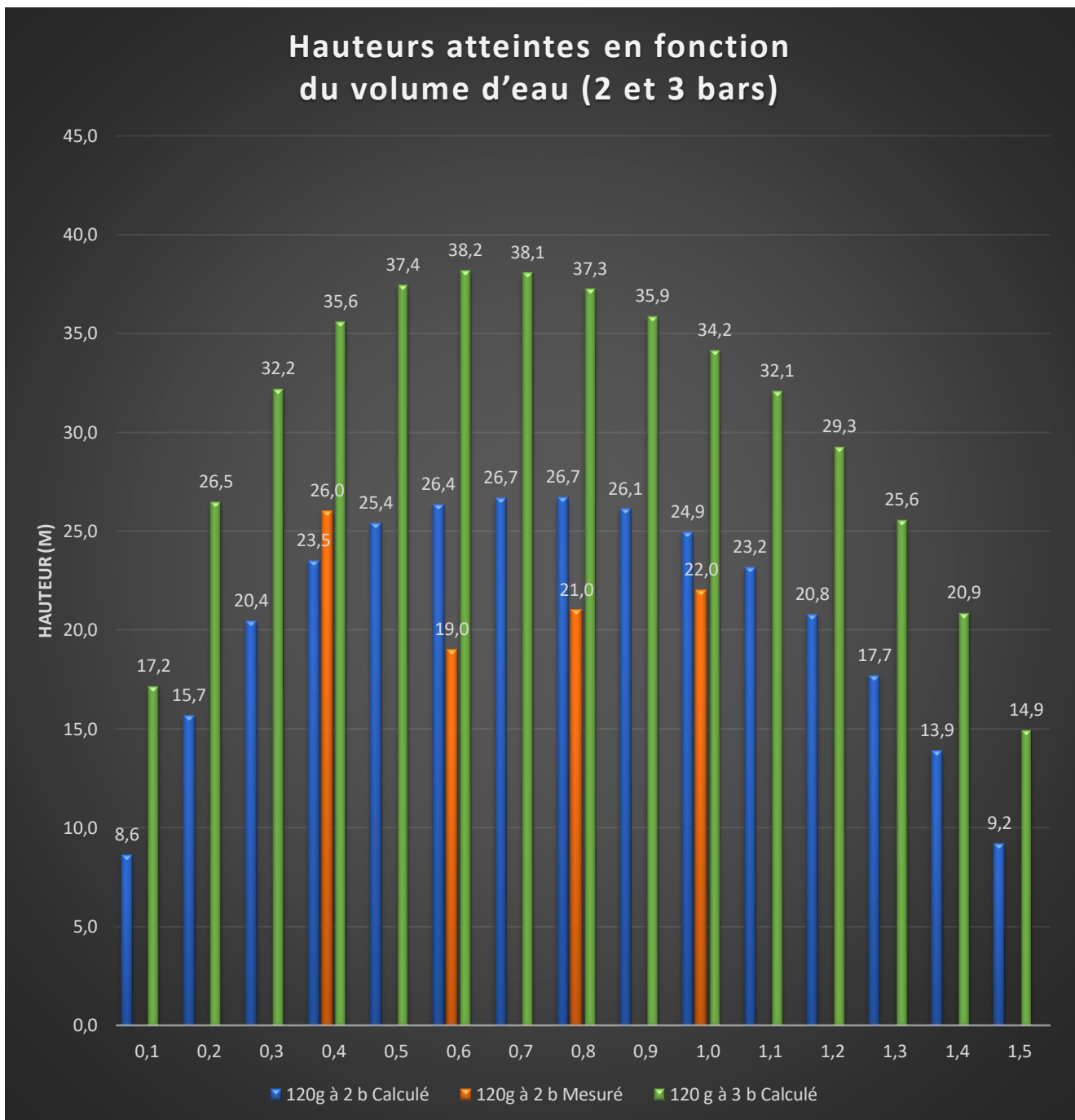
Tableau des performances enregistrées par le module « Altimetertwo ».

Nous avons pu constater que les performances réelles ne correspondent pas aux performances attendues.

Timothei et Timotéo

# Comparaison des performances et analyse des résultats.

Les 4 valeurs mesurées (en rouge sur le graphique) ne correspondent pas aux valeurs calculées. La forme de l'histogramme est différente.



Histogramme des hauteurs calculées et mesurées atteintes par nos fusées en fonction de la quantité d'eau (2 et 3 bars).



# Discussion et recherche d'explications

Nous ne contrôlons pas complètement la pression. Notre système de pompe et de bouchon ne permet pas d'être très précis sur la pression dans la bouteille au décollage. Le « Vol 2 » à 0,4 l d'eau avait sûrement plus de 2 bars de pression...

Ce lancer « Vol 2 » a eu des performances remarquables :

	Hauteur	Vitesse	Accélération
Vol 2 (0,4 l et +2 bars ?)	26 m	34 m/s (122,4 km/h)	40,5 g
Simulateur (0,4 l et <b>2 bars</b> )	23,52 m	24,5 m/s (86,4 km/h)	67,6 g
Simulateur (0,4 l et <b>3 bars</b> )	35,59 m	32,8 m/s (115,2 km/h)	101,9 g

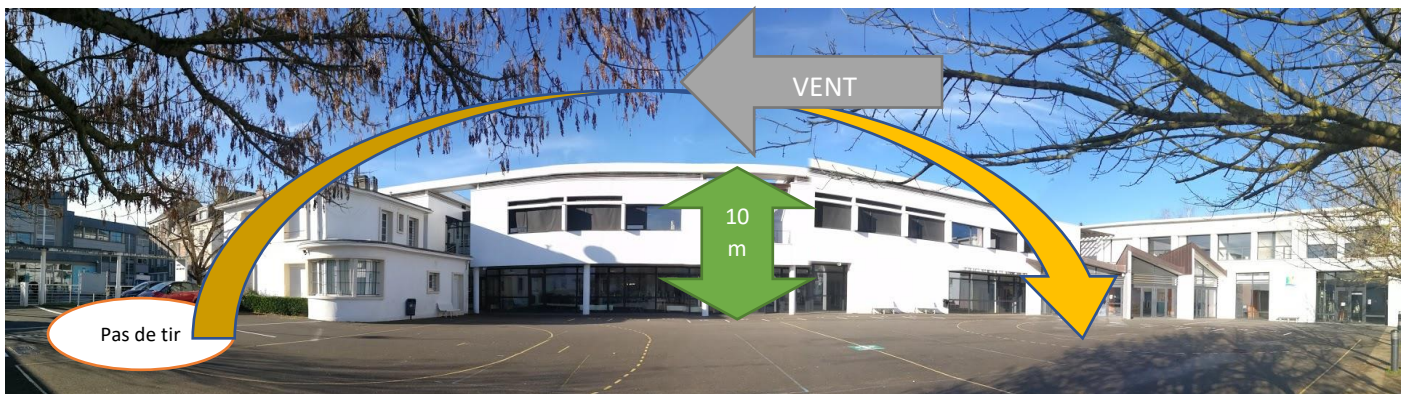
*Comparaisons du « Vol 2 » avec le simulateur à 2 et 3 bars.*

Le lancer « Vol 4 » est également intéressant car il est très proche du simulateur :

	Hauteur	Vitesse	Accélération
Vol 4 (1 l et 2 bars)	21 m	29 m/s (104,4 km/h)	19,1 g
Simulateur (1 l et <b>2 bars</b> )	24,94 m	24,4 m/s (122,4 km/h)	24,2 g

*Comparaisons du « Vol 4 » avec le simulateur à 2 bars.*

Remarque : Comme le tir se fait dans la cour de récréation, le vent est présent au-dessus des bâtiments ce qui doit influencer le vol au-delà de 10 mètres (hauteur du collège).



*Hypothèse de l'influence du vent dans la cour au-dessus des bâtiments du collège.*

## Conclusion

**Nos fusées sont bien capables d'atteindre une hauteur de 26 mètres à une vitesse de plus de 120 km/h en subissant une accélération de 40 Gs !**

Cependant, ils nous restent des améliorations à apporter à notre protocole de test, mais également à la conception de nos fusées.

- **Le nombre de lancers :**

Il faudrait faire beaucoup plus d'essais pour faire une moyenne. Nous avons enregistré les paramètres seulement pour quatre lancers de fusées. Nous allons continuer à lancer des fusées et à récupérer les performances pour remplir notre histogramme.

- **Les paramètres extérieurs :**

Il faudrait également prendre en compte le vent au moment du décollage. En effet, le vent au-dessus des bâtiments fait dévier les fusées et semble même les freiner.

- **Les conceptions des fusées :**

Enfin, la réalisation d'une vidéo en slow motion nous a permis d'observer le comportement des ailerons durant la phase de poussée du décollage. Les ailerons ne sont pas assez rigides, ils se déforment énormément et n'assurent plus leur fonction.



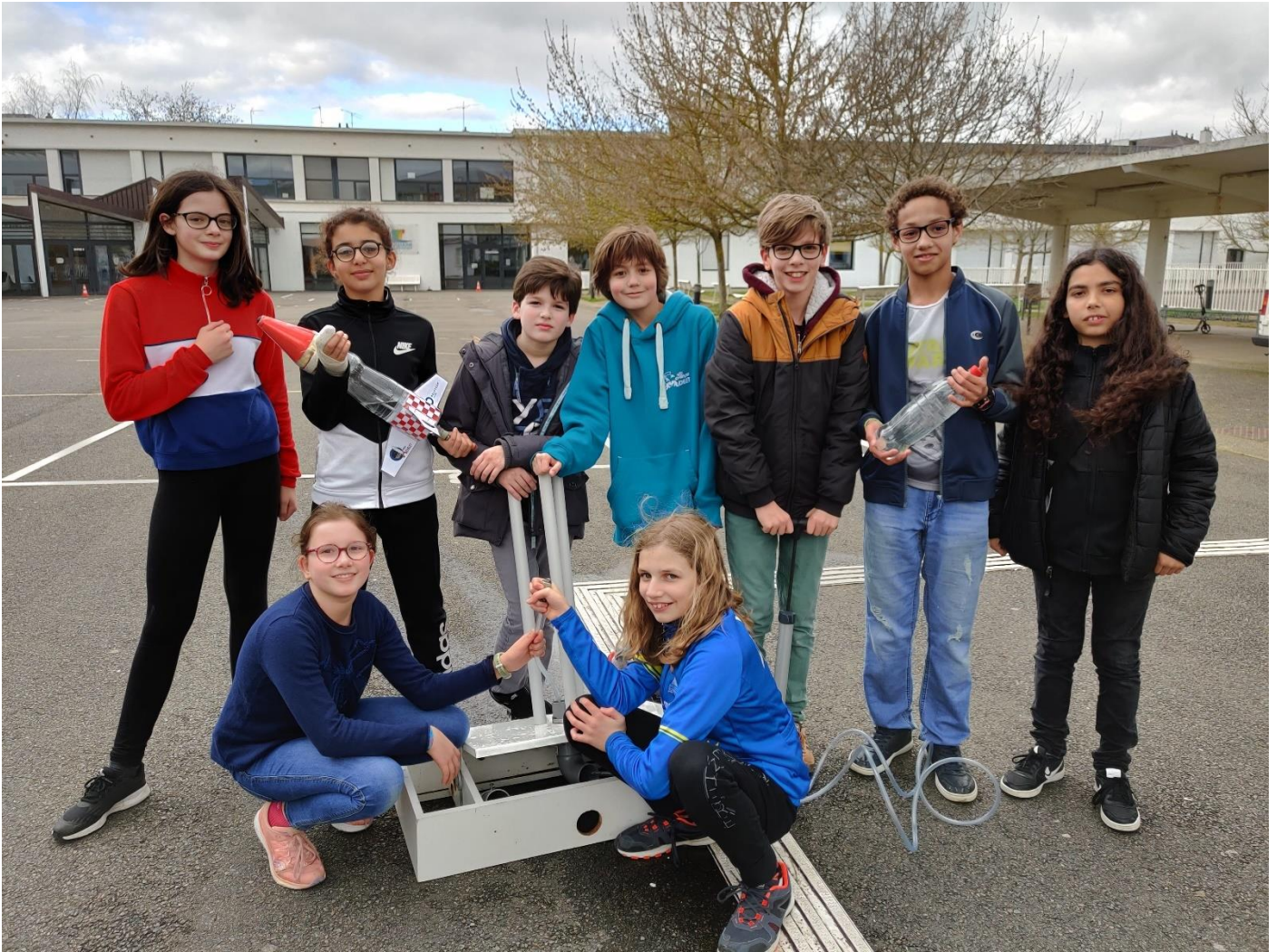
*Observation image par image de la déformation des ailerons au décollage.*

Nous avons réalisé une fusée test avec des ailerons plus rigides et le résultat est très concluant ! Les ailerons ne se déforment plus, ils stabilisent la fusée au décollage ce qui devrait améliorer les performances.



*Observation image par image des ailerons rigides au décollage.*

Il nous reste encore plein de tests à faire avec nos fusées et beaucoup d'améliorations à effectuer !



*Raghid, Estéban, Margot, Éloïse, Timothei, Malo, Olivia, Jules, Timotéo*

Annexes (vidéo de présentation et carnet de bord)

Notre vidéo de présentation :

<https://drive.google.com/open?id=1ccVLGoObcHjd2gBn8--46NFd6V1eIyII>

Pour suivre notre progression en images et voir des vidéos de lancers :

[https://padlet.com/bdidier/Projet\\_Fusee](https://padlet.com/bdidier/Projet_Fusee)

