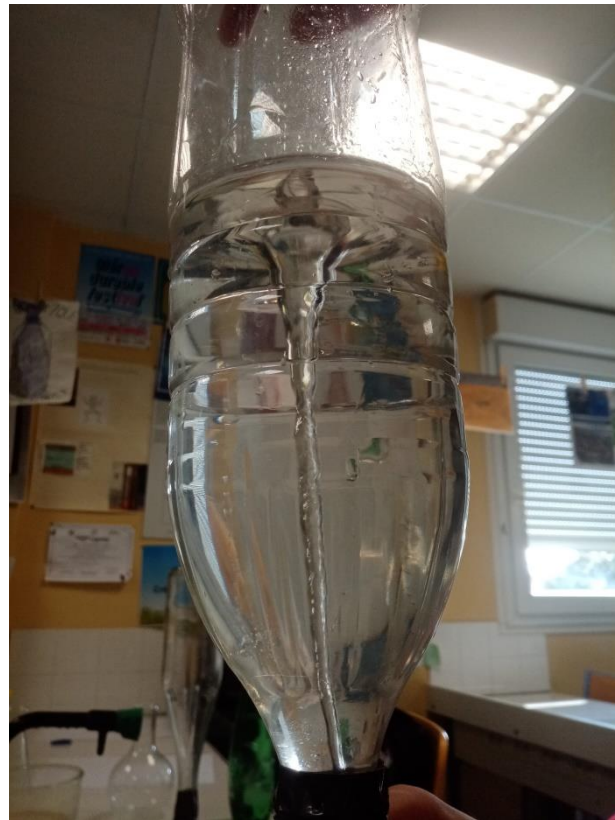


# Projet Vortex

29 Mars 2023

Université de la Rochelle

Sciences à l'École



*Partenariat : Andréas Spohn, Enseignant chercheur, ENSMA Poitiers*

## Présentation de l'équipe du club Physique pour le projet Vortex :

Cette année l'équipe du club physique est composée de 9 élèves de troisième :

Lopez Gaspard 3A, Lelievre Madeleine 3A (rédaction), Giffard Tristan 3A (vidéo et photo), Delagne Nolhan 3A, Delorière Eliot 3B, Lacaze Noa 3B, Vinghes Jeremy 3A, Debard Axel 3A et Nadreau Florian 3A.



Le choix des 5 élèves à sélectionner a été très difficile, aussi nous avons choisi les 5 premiers de la liste ci-dessus.

## **Projet Vortex**

### Introduction :

Les élèves du Club Physique du collège du Pertuis d'Antioche ont décidé cette année de soutenir un projet sur le thème des vortex. Nous nous réunissons tous les vendredis pendant la pause méridienne pour essayer d'élucider quelques questions sur le thème des Vortex et aussi réaliser des expériences.

Un partenariat a été réalisé avec un chercheur de l'école ENSMA de Poitiers, Andréas Spohn avec lequel nous avons des échanges par mail pour répondre aux questions des élèves.

### **Problématique et questionnement :**

Le 23 Septembre 2020 nous avons pu observer sur l'île d'Oléron la formation d'une tornade qui a occasionné quelques dégâts matériels et qui a pu être filmée du pont de l'île d'Oléron. Si l'on désigne par le nom Vortex un mouvement tourbillonnaire d'un fluide, quels sont les autres exemples de formation de vortex dans la nature ? Y a-t-il une différence entre les vortex qui se forment dans l'eau et ceux qui se forment dans l'air ? Quels sont les effets des Vortex ? Peut-on réaliser des expériences qui permettent de matérialiser leurs effets ? Quels sont les lois physiques cachées derrière la formation des vortex et peut-on les aborder avec nos connaissances d'élèves de 3<sup>ème</sup> ? Y a-t-il des applications concrètes qui utilisent les vortex ?

### **Photo de la tornade du 23 Septembre 2020 prise au niveau des parcs à huitres:**



### **La méthode :**

Dans un premier temps nous avons décidé d'ouvrir la porte du CDI et de chercher le maximum d'information grâce à l'aide précieuse de Delphine Launay notre Professeure Documentaliste.

Nous découvrons qu'il existe de nombreux types de Vortex dans l'eau et dans l'air avec des échelles très différentes.

### **A grande échelle :**

Lors de notre dernière participation au concours C-génial sur le thème des « *Cosméticolos* » et de la fabrication d'un shampoing solide pour réduire les quantités de plastiques dans les océans, nous avons été interpellés par le 7<sup>ème</sup> continent qui est en fait un énorme tourbillon océanique qui piège et concentre les déchets plastiques. Le vortex de déchets du pacifique Nord, dont la dimension est estimée à trois fois la taille de la France, correspond à une énorme masse d'ordures située dans l'océan Pacifique entre Hawaï et la Californie. C'est un énorme tourbillon qui tourne sous l'effet de la rotation de la Terre (force de Coriolis).

Photo du 7<sup>ème</sup> continent :



De même dans l'atmosphère, on observe les anticyclones et les dépressions qui sont des immenses vortex dans l'atmosphère et dont le sens de rotation dépend aussi de la force de Coriolis.



Au niveau d'autres planètes, on observe aussi des vortex à très grande échelle, comme par exemple l'œil de Jupiter qui est un anticyclone colossal long d'environ 25000 km avec des vitesses de vents allant jusqu'à 700 km/h.

**Photo de l'œil de Jupiter prise par la sonde Cassini:**



**Moyenne échelle :**

A cette échelle on trouve en majorité les tornades et les trombes (tornade qui aspire de l'eau). Une tornade se forme lors d'un orage violent. C'est un puissant vortex d'air chaud qui monte en altitude et qui a la forme d'un entonnoir dont le diamètre est compris entre 50 m et 1 km. C'est le cas de la tornade qui a eu lieu sur l'île d'Oléron. Le cumulonimbus pompe l'air chaud et des tourbillons se forment à l'intérieur du nuage avec l'air froid qui descend. Ainsi le nuage peut se mettre lentement à tourner sur lui-même, la rotation de la partie centrale devient plus prononcée et une colonne d'air tourbillonnant peut ainsi atteindre le sol. La colonne d'air tourbillonnant ainsi formée peut varier de 100 m à 10 km de long.

### Petite échelle :

C'est l'échelle qui va nous intéresser pour les vortex dans l'eau et l'air.

Tout le monde a déjà observé le tourbillon d'eau qui peut se former en vidant un lavabo ou une baignoire et qui a pour effet de vider l'eau plus rapidement en laissant l'air au centre. A cette échelle la force de Coriolis est complètement négligeable (elle n'agit qu'à grande échelle du fait de la variation de la vitesse tangentielle à la surface de la terre lorsqu'on se déplace de l'équateur vers les pôles par exemple). Dans nos expériences nous imposerons à chaque fois un sens de rotation du vortex.

De même dans l'air, nos recherches nous ont fait découvrir les effets du vortex en bout d'aile d'avion qui crée une trainée que tout le monde a pu observer lors du vol d'un avion de ligne en haute altitude. Cet effet indésirable est atténué par les winglets (bout d'aile recourbé) dont l'inspiration vient de la nature et de l'observation du vol d'un aigle.

Nous allons donc réaliser des expériences permettant de mettre en évidence les vortex dans l'air et dans l'eau ainsi que les effets produits.

### Les expériences

Nous allons réaliser **4 expériences** sur les Vortex et leurs effets. Des photos et des vidéos sont faites par les élèves et seront mis en ligne sur le site du collège.

Nous avons choisi de réaliser deux expériences avec l'air et deux autres avec l'eau. Chaque expérience donne lieu à un questionnement et des échanges avec Andréas Spohn, enseignant chercheur de l'ENSMA de Poitiers.

### Expérience1 : « Le doughnut »

#### Description :

Pour réaliser cette expérience nous faisons appel à Javier, notre agent de maintenance au collège : il nous faut une grande poubelle percée d'un trou d'environ 15 cm de diamètre d'un côté et d'une bâche plastique de l'autre. Nous faisons aussi l'acquisition d'une machine à brouillard à l'aide du financement donné lors de notre inscription.

**Idée :** si un élève tape sur la bâche, il crée un mouvement d'air dans la poubelle : l'air au centre du trou sort plus vite que celui du bord et un vortex se crée. Le vortex se propage et peut mettre en mouvement un objet situé à distance.

#### Réalisation :

Si on place un élève à environ 5m de l'orifice de la poubelle avec un verre en plastique sur la tête, il suffit de taper sur la bâche pour faire tomber le verre à distance : quel est ce phénomène ? peut-on le visualiser ?

On décide de remplir la poubelle avec la machine à brouillard : on peut ainsi voir la propagation du vortex qui ressemble à un « doughnut » !

**Photo 1 : Création du vortex**



**Photo2 : Propagation du vortex**



**Explication** : la turbulence provoquée par la compression de la bâche se propage comme une vague à la surface de l'eau lorsqu'on jette un caillou. Cette vague ou onde de choc peut faire monter ou descendre un bouchon en liège posé à la surface de l'eau. Le verre en plastique est donc mis en mouvement par l'onde de choc provoquée par le vortex qui se propage dans l'air.

**Questionnement** : y a-t-il des lois physiques compréhensibles par des élèves de troisième qui sont à l'origine de ce phénomène ? Oui, heureusement que nous avons étudié la masse volumique, la vitesse et la pression. Il faut explorer le théorème de Bernoulli.

Etabli en 1738 par Daniel Bernoulli, le principe de Bernoulli fait le lien entre la vitesse d'un fluide et sa pression en un point donné. On peut donc l'énoncer de façon simplifiée : « dans un fluide s'écoulant horizontalement, la pression du fluide aux points où sa vitesse est élevée est plus faible que la pression du fluide où sa vitesse est plus faible »

$$V^2/2g + P/\rho g + z = \text{constante}$$

V représente la vitesse du fluide,  $\rho$  sa masse volumique, z la hauteur (négligée si on prend un écoulement horizontal), P sa pression et enfin g la constante de gravité.

**Interprétation :** une augmentation de vitesse s'accompagne d'une diminution de pression. C'est cette chute de pression qui est à l'origine de la formation d'un vortex.

**Expérience 2 : « Lévitaiton d'une balle de polystyrène »**

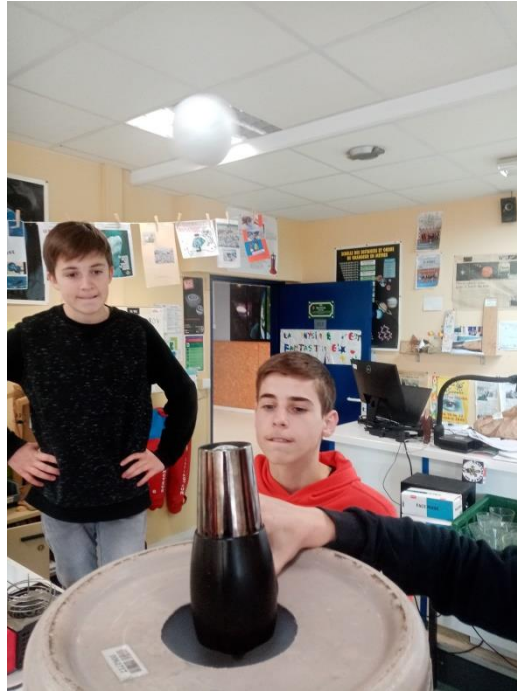
Si on place une balle de ping-pong au-dessus d'un sèche-cheveux en marche alors elle semble flotter dans les airs !

**Idée :** on utilise la machine à brouillard pour visualiser le phénomène et faire apparaître le vortex. Nous avons essayé plusieurs diamètres de balle : la stabilité optimale est réalisée lorsque le diamètre de la balle est proche de celui de l'ouverture du sèche-cheveux.

**Réalisation et photo :**







**Explications :** c'est une nouvelle application du théorème de Bernouilli. La courbure de la balle de Ping-pong crée une accélération de la vitesse, un peu comme si l'air était piégé dans un entonnoir et accélère à la sortie de celui-ci. Cette accélération de la vitesse crée une chute de pression et un vortex tout autour de la balle qui a pour effet de la stabiliser.

**Questionnement :** que se passe-t-il si la courbure n'est pas compensée ?

Si on prend une feuille de papier avec une courbure et que l'on souffle dessus, la feuille s'envole. La baisse de pression créée par l'augmentation de la vitesse en haut de la courbure de la feuille crée une aspiration de la feuille vers le haut. C'est d'ailleurs le principe de fonctionnement d'une aile d'avion.

### **Expérience 3 : « le défi »**

**Description :** Dans cette expérience un défi est à relever : il faut verser le plus rapidement possible une bouteille dans l'autre. Idée : créer un vortex pour faciliter l'évacuation de l'air !

**Réalisation :** on réalise cette expérience en reliant par le bouchon deux bouteilles de soda. Une astuce consiste à chauffer sur une poêle les deux bouchons jusqu'à les ramollir, puis les souder et effectuer une trempe pour finaliser l'assemblage. On perce ensuite les bouchons. On réalisera d'ailleurs différents diamètres de trous.

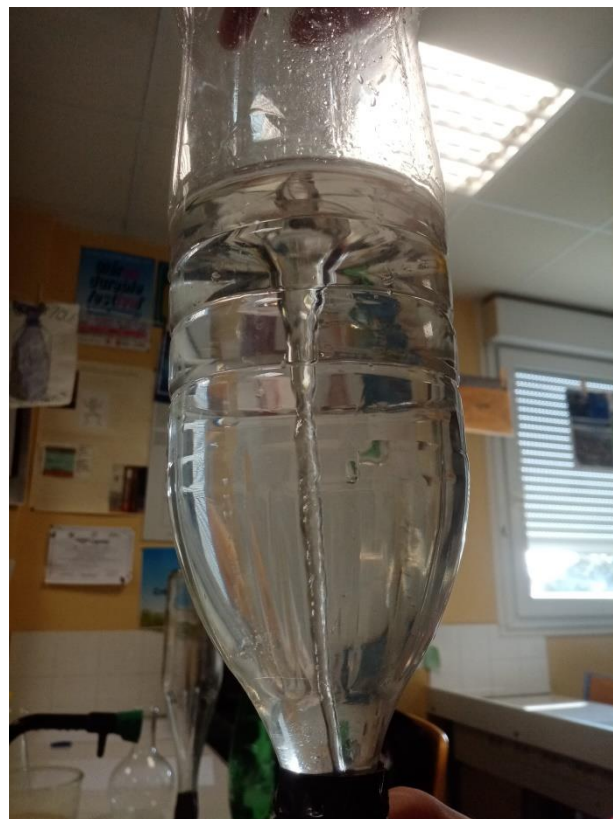
Avec les bouteilles de couleur verte, nous ne mettons pas de bouchons. L'ouverture est maximale, environ 1.5 cm. Le vortex créé en agitant la bouteille de façon à obtenir un moment angulaire permet de vider une bouteille dans l'autre en quelques secondes puisque l'air passe au milieu. Nous nous lançons donc un défi : obtenir le vortex qui dure le plus longtemps possible. Il faut donc réduire le passage de l'air au minimum. Nous obtenons ce minimum en perçant deux bouchons collés avec une mèche de 6mm de diamètre. Cela donne un long vortex

qui s'écoule lentement. En dessous de ce diamètre, nous n'avons pas réussi à faire apparaître de vortex.

**Photos 1: Bouteilles reliées par le goulot**



**Photo2 : Bouteilles reliées par un bouchon percé avec un trou de 6 mm**



**Explications :**

Pour fabriquer un vortex nous utilisons la création d'un moment angulaire en faisant tourner le haut de la bouteille d'eau renversée. Andréas nous a en effet expliqué que le moment angulaire

(analogie avec la quantité de mouvement pour la translation) est la condition principale pour l'apparition d'un vortex dans un fluide.

Si on désigne par  $L$  le moment angulaire :  $L = m v r$  où  $m$  représente la masse du fluide,  $v$  sa vitesse et  $r$  le rayon du vortex. Lorsque le vortex se crée, l'air peut s'échapper au centre et l'eau coule sur les bords : la bouteille se vide donc très rapidement.

### **Application :**

Dans la vie courante on peut être amené à transvaser une grande quantité de liquide dans un autre réservoir en utilisant un entonnoir. Il est astucieux de choisir un entonnoir avec un gros diamètre et donner un mouvement au liquide en le versant sur le côté afin de créer un vortex qui permet l'évacuation de l'air lors du transvasement (par exemple quand on remplit une nourrice d'essence avec un jerrican).

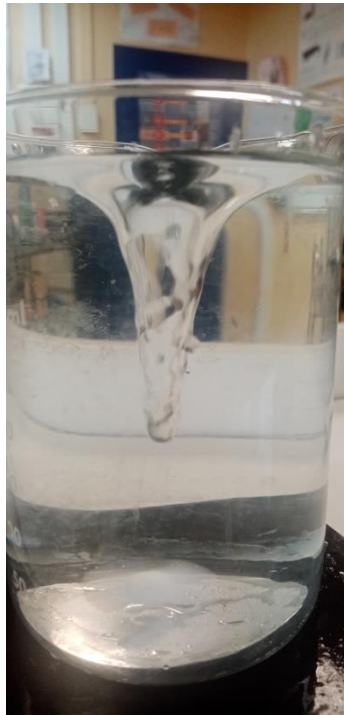
### **Expérience 4 : « le barreau aimanté »**

#### **Description :**

On utilise un barreau aimanté pour réaliser un tourbillon dans un liquide. Nous avons vu grâce au nombre de Reynolds qu'il est plus facile de provoquer un régime turbulent et donc un vortex lorsque la viscosité du fluide est faible. Nous allons réaliser nos expériences avec de l'eau. L'huile ne permet pas de réaliser de vortex, la viscosité est trop importante et notre agitateur magnétique pas assez puissant. Comme nous l'a conseillé Andréas, nous allons comparer le vortex obtenu pour la même vitesse de rotation entre un barreau , un petit disque et un grand disque.



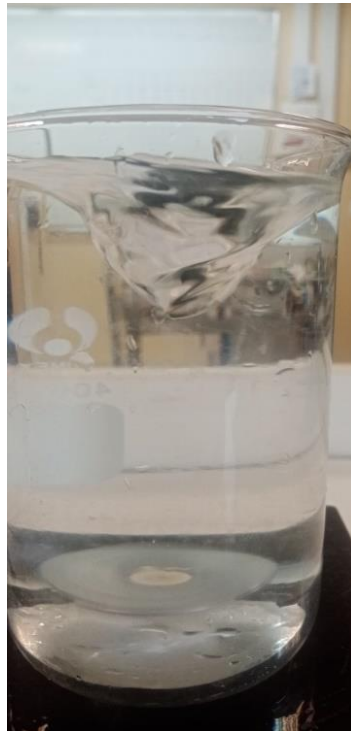
**Photo1 : avec le barreau aimanté**



**Photo 2 : Avec le disque moyen**



### **Photo 3 : avec le gros disque**



Nos observations : le diamètre du disque influence directement le diamètre du vortex ainsi que sa profondeur.

### **Les échanges avec Andréas :**

Nos recherches et expériences nous ont conduits à poser de nombreuses questions à Andréas.

- 1) Quelles sont les conditions nécessaires de formation d'un vortex dans la nature ? y a-t-il une différence entre l'air et l'eau ?
- 2) Quels sont les mécanismes de dissipation des vortex ?
- 3) Y a-t-il des vortex auto entretenus ?

### **Les réponses d'Andréas :**

- 1) La condition principale de la formation d'un vortex est l'existence d'une quantité de moment angulaire dans le fluide. Cette quantité peut être liée à la rotation de la terre (cyclone ou tornade) ou être la conséquence d'un décollement du fluide (exemple de décollement du vent d'une crête de dune...)

**Exemple dans la photo ci-dessous de vortex créé par le décollement du vent en aval d'une île.**



Il n'y a pas de grande différence entre l'air et l'eau. Tout dépend du nombre de Reynolds :  $Re = \frac{V \cdot L \cdot \rho}{\mu}$  ou  $V$  est la vitesse du fluide,  $L$  la longueur caractéristique (par exemple le diamètre d'un tuyau),  $\rho$  la masse volumique et  $\mu$  la viscosité.

Le nombre de Reynolds caractérise le rapport entre une échelle de convection et une échelle de diffusion. De la quantité de mouvement dans un écoulement. C'est un nombre sans unité. A nombre de Reynolds égal, le comportement dans l'eau et dans l'air est quasi identique.

- 2) C'est une question très intéressante. La cause principale pour leur dissipation est le frottement interne dans le fluide lié à leur mouvement circulaire et axial le long de l'axe du tourbillon.
- 3) Des tornades représentent un cas de tourbillon auto entretenu. Tant que l'énergie apportée par des différences de température (qui sont à l'origine de mouvements verticaux dans le centre du tourbillon) permet de compenser les pertes, la tornade reste en vie.

Un autre exemple avec des tourbillons de vidange d'une baignoire si on compense le débit sortant par un débit entrant. Probablement que l'expérience la plus simple à faire pour commencer à étudier des tourbillons, c'est le tourbillon produit dans un récipient de verre cylindrique entraîné par une barre magnétique comme on en utilise en chimie pour mixer les fluides. Eventuellement, il faut remplacer la barre magnétique par un disque pour produire un tourbillon moins perturbé (optimisation à faire).

## **De nouvelles questions sont apparues suite aux expériences réalisées par les élèves (exemple d'échange par mail):**

Bonjour Andréas,

>la présentation au concours cgénial approche et nous devons présenter nos expériences sur les vortex à la Rochelle le 29 Mars.

>Nous avons choisi 4 expériences et nous avons des questions sur les explications scientifiques:

>1) le doughnuts

>Nous avons rempli une poubelle avec une machine à brouillard, la poubelle est percée d'un côté avec un trou d'environ 15cm de diamètre et de l'autre côté il y a une bâche. Si on tape sur la bâche avec la main alors un vortex sous la forme d'un doughnuts est matérialisé par le brouillard et se propage dans l'air. On peut faire tomber le verre en plastique sur la tête d'un élève à condition de bien viser.

>Nous expliquons ce phénomène avec le théorème de Bernoulli: la vitesse de l'air au centre du trou de la poubelle est plus élevée qu'aux bords du trou: il y a donc une différence de pression qui crée un vortex. Ce vortex circulaire de part la forme en cercle du trou se propage ensuite dans l'air comme une onde à la surface de l'eau. Le verre est déplacé un peu comme un bouchon en liège monte et descend avec une onde. Qu'en penses-tu?

>

>2) la balle de ping-pong au-dessus du sèche-cheveux: elle flotte en l'air. On l'explique toujours à l'aide de Bernoulli. A cause de la surface sphérique de la balle, l'air est accéléré sur les côtés comme dans un entonnoir: l'accélération provoque une baisse de pression et donc un vortex tout autour de la balle comme si elle était stabilisée dans un doughnuts géant.

>Qu'en penses-tu?

>3) Le défis: verser une bouteille dans l'autre en créant un vortex. Nous avons soudé les bouchons et percé avec trois diamètres différents. Il y a une limite inférieure pour le trou (environ 6 mm de diamètre); à quoi est due cette limite? En-dessous de 6 mm de diamètre l'air ne peut plus passer et le tourbillon se crée, même si on tourne super vite la bouteille du haut pour créer le vortex! Est-ce un problème de vitesse d'écoulement?

>4) L'agitateur magnétique: on réalise 3 disques de différentes surfaces pour créer un tourbillon; y a-t-il une relation entre la surface du disque et la hauteur d'eau pour créer le plus beau tourbillon possible?

>5) Pourquoi le tourbillon a-t-il la forme d'un entonnoir?

### **Bilan des expériences et des échanges :**

Nous avons pris conscience de l'importance des vortex dans la nature et de leurs effets désirables ou indésirables.

Les élèves ont été particulièrement sensibilisés par le problème des vortex créés par l'extrémité du bord des ailes d'avions : ces vortex ont pour effet de faire une trainée qui freine l'avion. Une solution technique a été trouvée grâce à l'observation de la nature et du vol des rapaces. Les plumes des bouts de l'aile sont recourbées lorsqu'ils volent. L'intérêt est de limiter la production de vortex. Cette idée a été matérialisée en créant

les winglets : le bord des ailes d'avion est recourbé vers le haut pour imiter les ailes des rapaces : cela permet de créer moins de turbulence et aussi une réduction jusqu'à 7% de la consommation des avions de ligne. Les vortex créés par les avions de lignes peuvent être tellement conséquents qu'il y a une distance à respecter entre deux avions : il faut environ attendre environ une minute entre deux avions qui ont le même gabarit pour éviter toute perturbation lors du décollage ou de l'atterrissage. Les vortex n'ont pas fini de nous étonner !

**Photo winglets et ailes de rapaces :**



### **Conclusion :**

Les élèves ont pu répondre à de nombreuses questions abordées lors de notre problématique et être sensibilisé aux équations de la mécanique des fluides ainsi que des grandeurs caractéristiques qui se cachent derrière la manifestation physique des Vortex. Les expériences ont suscité beaucoup d'enthousiasme de leur part, surtout celle avec le générateur de brouillard et la poubelle, il faut le dire, presque tout le personnel du collège a fini tel Guillaume Tell mais avec un verre en plastique en guise de pomme !

*Merci encore à Andréas Spohn qui je suis sûr va encourager de nombreuses vocations !*