



# Collège de Verrière Issoire



## Compte-rendu du projet **Du vent dans les voiles**



# ① Organisation des travaux menés par les moussaillons

Notre groupe est constitué de 35 élèves, issus des quatre classes de quatrième du Collège. Cinq groupes de travail ont été constitués, par affinité.

Les actions menées depuis plusieurs années autour des filles et la science ont porté leurs fruits, puisque les filles représentent 80% de l'effectif de notre atelier.

Nous nous sommes positionnés, à la fin de l'année scolaire précédente, pour participer à l'atelier « du vent dans les voiles », qui mêle les arts et les sciences. Nous avons travaillé sur le projet pendant un voyage scolaire de cinq jours fin septembre, puis sur deux journées et huit demi-journées.

Émilie COURTINE, Titia FONTANELLA, Paul FRAYSSINET, Ashley GERARD, Savannah GODART, Faustine LAFON, Alice MAZAUBERT, Romane SAUZET, Océane GIRARD, Ema BEGUIN, Lilou BOUHIER-DUVERT, Simon BRIE, Blandine CATEZ-KIRY, Sarah MARQUES, Manon MONTEIL, Gabriel LOUDIER et Maé SPRINGER ont plus spécifiquement travaillé sur l'expérience « polaire d'aile » réalisée à l'École Universitaire de Physique et d'Ingénierie.

Lana DEUBELLE, Jade FRAYSSINET, Emma FRESQUET, Anaïs GAYOUT, Laly LE PHUEZ, Éléonor LEROY, Lorenzo PETRELLI-GOUTTEBEL, Tanya SAID, Clémence CHEZET, Nina DUVOIS, Margault GINIER, Shaynes AYAD, Julie BERGOUGNOUX, Eline PARENTON-MARIDET, Alix CHOCOL et Lali PEREZ ont plus spécifiquement travaillé sur la conception des ailes, les mesures de portance et le montage vidéo.

Nous sommes accompagnés de M.PHILIPPON notre professeur de Physique-Chimie, de Mme BRENIAUX notre professeur d'Arts Plastiques, de M.ALLEMAND notre professeur d'Éducation Musicale, de Mme DESCOUR notre professeur de Mathématiques, de M.BRISSAY notre professeur de Technologies et de M.DIESNER qui est adjoint technique de laboratoire.



## ② Introduction

À la fin de l'année scolaire 2023-2024, nos professeurs nous ont proposé de réfléchir sur la transition écologique, ses impacts et la recherche de solutions pour améliorer la situation. Ils nous ont également indiqué que l'Année de la Mer débuterait le 1<sup>er</sup> janvier 2025.

Lors de nos premières recherches en ligne, nous avons lu attentivement les travaux de l'Organisation Mondiale Maritime de 2023, concernant les gaz à effet de serre. Cette organisation prévoit une réduction de l'intensité des émissions de carbone provenant des transports maritimes internationaux, en moyenne pour l'ensemble des transports maritimes, d'au moins 40 % d'ici à 2030 et 50 % en 2050.



## ③ Problématique

Nous avons décidé d'étudier comment la force du vent, pouvait contribuer à réduire la production de gaz polluants et de gaz à effet de serre, dans la propulsion des cargos. Les portes conteneurs utilisent le pétrole « bunker » qui est l'un des carburants les plus sales au monde.

**Quelles sont les conditions optimales d'utilisation du vent, pour propulser une embarcation disposant d'une voile ?**

## ④ Le démarche scientifique

### a/ Le contexte

Nous avons tous obtenu notre brevet de niveau 1 « premiers bords » au centre nautique du Goisil, sur l'île de Ré.

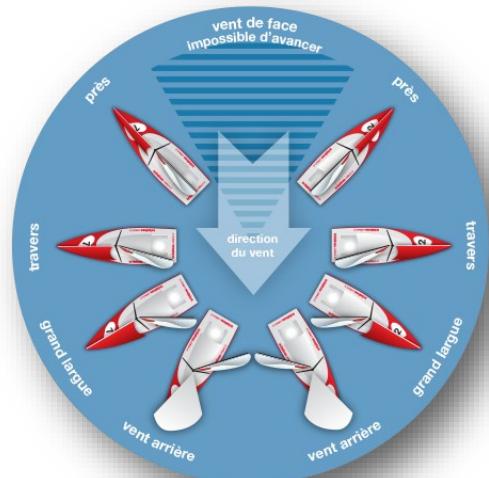
Il s'agissait de se déplacer à la voile sur un trajet choisi et encadré par nos moniteurs Goulven et Elie.



vent de 5 noeuds

Nos professeurs d'Arts Plastiques et d'Éducation Musicale nous ont accompagné dans l'analyse de notre ressenti, sur les catamarans, en vue de la mise en place d'un parcours créatif (bruit du vent, gestes, forme de la voile, sensation de mouvement et de dynamisme, comportement des penons).

Nos différentes allures de navigation, nous permettent très tôt d'émettre l'hypothèse que nos catamarans ne sont pas « poussés » par le vent, car nos bateaux ralentissent en situation « vent arrière ». Par contre notre vitesse est maximale lorsque dans le cas « de travers » ou au « grand largue ».





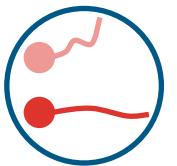
Nous avons tout d'abord choquer la voile c'est-à-dire lâcher l'écoute, pour que le vent gonfle la voile. Ensuite, il faut border la voile en tirant sur l'écoute pour gagner de la vitesse.



Il faut surveiller les penons : ils doivent être parallèles (écoulement laminaire de l'air) à l'intrados et extrados pour que la voile soit bien réglée. Il faut border si le penon intrados décroche (écoulement turbulent) et choquer si c'est le penon extrados qui décroche.



penon intrados  
décroché



penon extrados  
décroché

Nous mesurons notre vitesse lors d'une navigation avec le vent « de travers » c'est-à-dire qui arrive à 90° par rapport à la direction du bateau.  
 Sa vitesse est d'environ 5 nœuds =  $5 \times 1,852 = 9,3$  km/h.  
 Pour cela, nous avons réalisé une chronophotographie.



Nous avons navigué sur des catamarans de 14 pieds soit 4,20m.

Nous avons conservé 6 images séparées de 834 ms.

Distance réelle (m)	4,2	$\frac{3,75 \times 4,2}{5,75} = 2,75$
Distance mesurée (cm)	5,75	3,75



$$\text{vitesse (m/s)} = \frac{\text{distance (m)}}{\text{durée (s)}} = \frac{2,75}{2 \times 0,834} = 1,65 \text{ m/s} = 5,9 \text{ km/h} \text{ avec } 1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

Nous constatons que cette allure de navigation est effectivement favorable au déplacement du bateau, puisque que notre vitesse est relativement élevée (5,9 km/h) alors que le vent n'est pas très fort (9,3 km/h)



**Changement d'échelle : lors de notre sortie sur l'Océan à bord d'un catamaran géant, le skipper nous a expliqué que différents types de voile étaient utilisés, en fonction des conditions de navigation.**

Lorsque le voilier accélère, nous ne ressentons pas une « poussée » du vent mais plutôt une aspiration vers l'avant du catamaran.

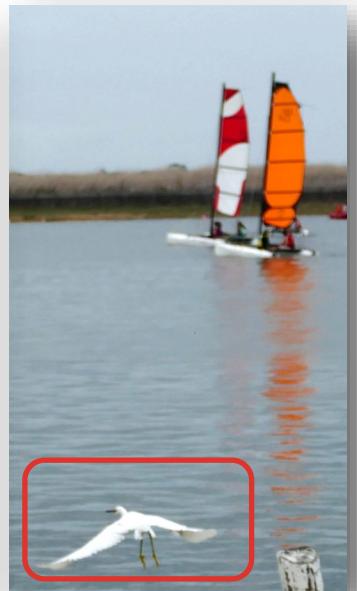
De plus, avec des bateaux de cette échelle, il est impossible de manœuvrer dans des couloirs de taille restreinte, comme le chenal du port.

Nous devrons tenir compte de la taille des navires, dans le choix de la solution concernant les cargos.



D'autre part, lors de nos déplacements à vélo dans les marais salants de l'île de Ré, nous avons pu observer que la forme des ailes des grands oiseaux (notamment la grande aigrette) ressemblait aux voiles que nous utilisions. Après quelques recherches dans un ouvrage intitulé « l'aérodynamique de la voile », nous découvrons la notion de biomimétisme, qui consiste à s'inspirer du vivant dans la recherche scientifique et technique.

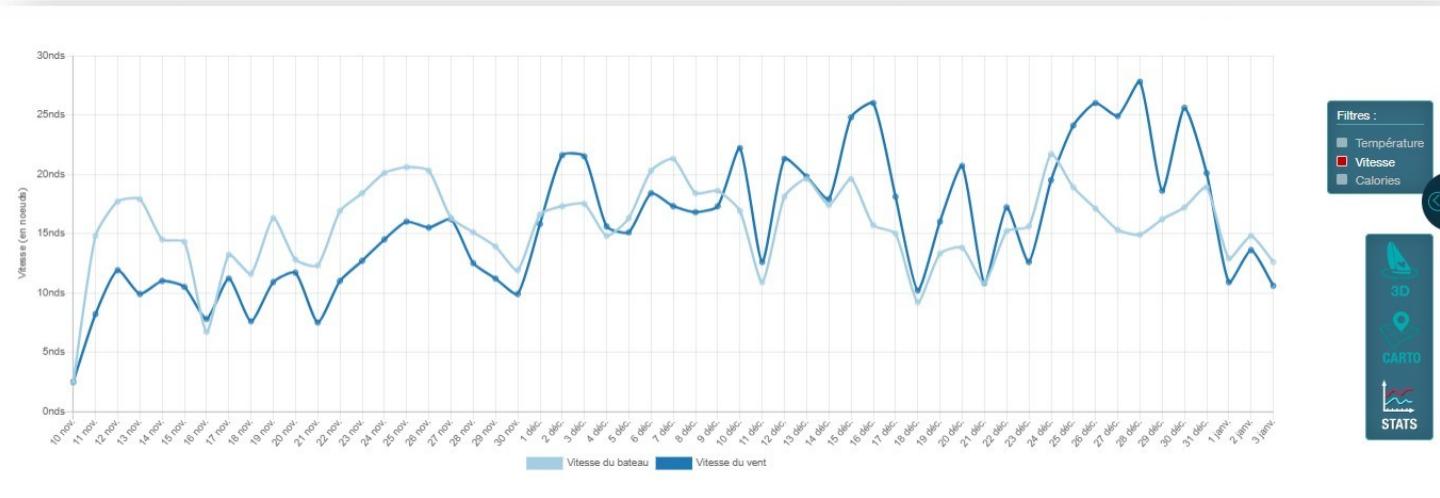
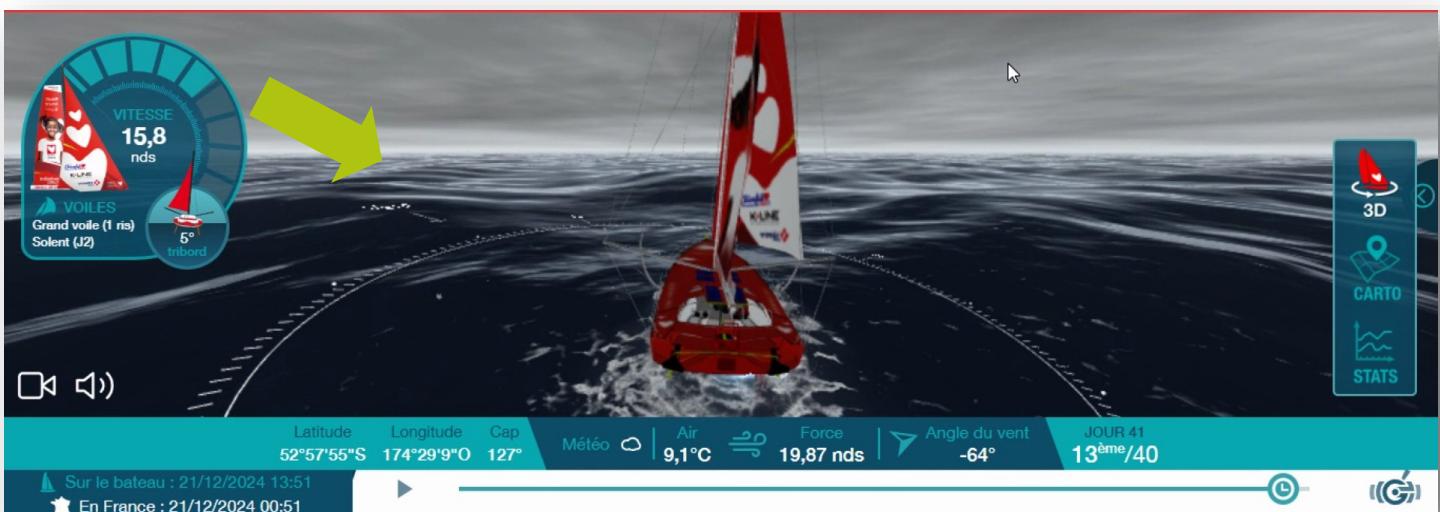
Ces observations nous permettront de proposer plusieurs profils de voiles.



De retour au Collège, nous analysons les informations transmises en tant réel par le monocoque de type IMOCA « initiatives-cœur » dont la skipper est Sam Davies. Elle participe au Vendée Globe.

Le voilier se déplace très souvent plus vite que le vent, et il est capable d'avancer « au près » c'est à dire avec un vent qui arrive de l'avant.

La skipper change de voile en fonction des conditions de vent (direction et vitesse).



## b/ hypothèse 1

Les penons ne se comportent pas de la même manière de part et d'autre de la voile.  
Nous pensons que l'air ne s'écoule pas de la même manière à l'extrados et à l'intrados.

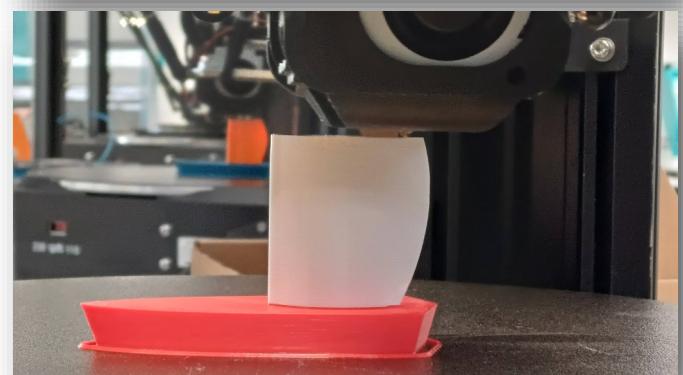
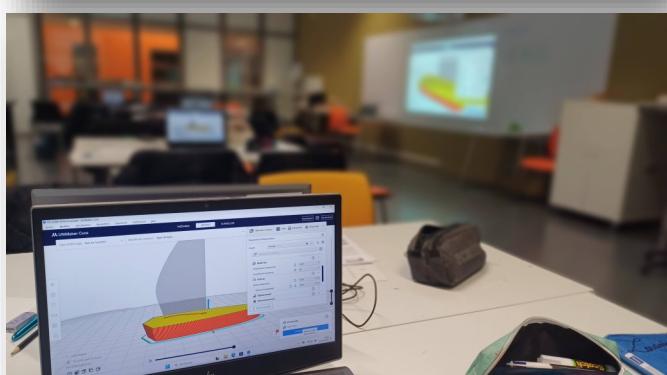
## expériences 1

Nous prévoyons de créer des esquisses de différentes voiles, en nous appuyant sur les observations des oiseaux croisés dans les marais salants de l'île de Ré, de la forme des voiles des différents catamarans utilisés pendant notre voyage, ainsi que des documents que nous a fait parvenir l'équipe MICHELIN Wisamo. Nous avons échangé par mail avec Sandrine PORCHERET, Responsable Marketing et Communication et qui travaille à NANTES.

À partir de ces esquisses, nous prévoyons de fabriquer des modèles réduits de différents voiliers et cargos équipés de voile, puis de les placer en soufflerie, pour étudier le mouvement de l'air.

Après avoir pris en main le logiciel de Création Assistée par Ordinateur « OnShape » en cours de Technologies, nos professeurs nous proposent de nous rendre au Hall32, à Clermont-Ferrand.

Pascal VERGNOL, chargé de mission ingénierie pédagogique au Fablab, nous accompagne dans la conception et l'impression 3D des prototypes.



## observations 1



Nous observons que l'air accélère à l'extrados (extérieur de la voile), dans le cas du voilier.  
Le tourbillon montre un décollement des filets d'air à l'extrados.

Sur le cargo avec une aile symétrique et sans angle d'incidence, l'air se déplace à la même vitesse des deux côtés.



Dans le cas du cargo dont la voile est inclinée par rapport à la direction du vent, l'air accélère également du côté de l'extrados et on retrouve un tourbillon à l'arrière.



## interprétations 1

Nous en déduisons que le bateau est « aspiré » du côté où la vitesse de l'air est la plus importante.

## conclusion 1

La pression que l'air exerce sur chaque surface de la voile, est liée la vitesse à laquelle il circule du côté de cette surface.

## c/ hypothèse 2

Nous pensons que la différence de pressions de chaque côté d'une aile ou d'une voile, produit une force responsable de l'aspiration du côté de l'extrados.

## expériences 2a

Nos professeurs nous proposent de nous rendre dans une salle de travaux pratiques de l'Ecole Universitaire de Physique et d'Ingénierie de l'Université Clermont Auvergne.

Louis-Pierre SAYS, enseignant-chercheur au Laboratoire de Physique de l'Université Clermont Auvergne, nous présente d'abord un dispositif constitué d'un canal à eau.

Nous ouvrons une vanne, de l'eau s'écoule à l'intérieur. Nous plaçons un profil au milieu du canal, obligeant l'eau à accélérer de part et d'autre de cet obstacle, pour que le flux reste constant.



## observations 2a

Nous observons que le niveau d'eau baisse, à l'endroit où sa vitesse augmente.



## interprétation 2a

M.SAYS nous explique que la hauteur d'eau est liée à sa pression.

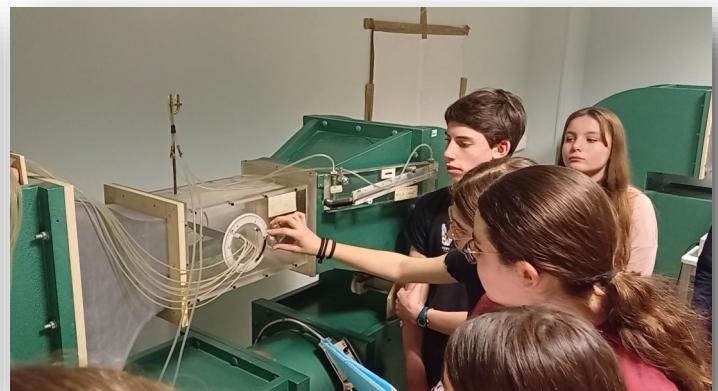
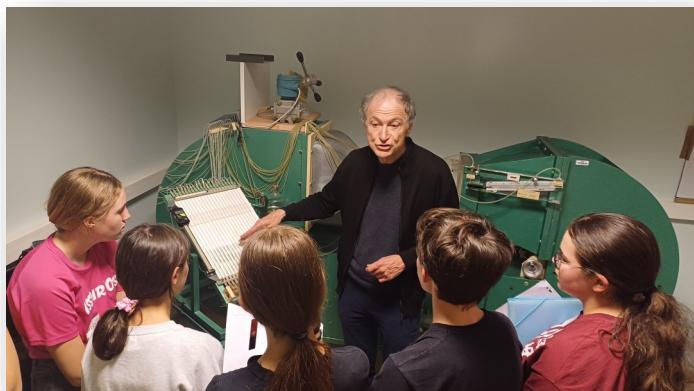
## Conclusion 2a

La pression de l'eau diminue, lorsque sa vitesse augmente.

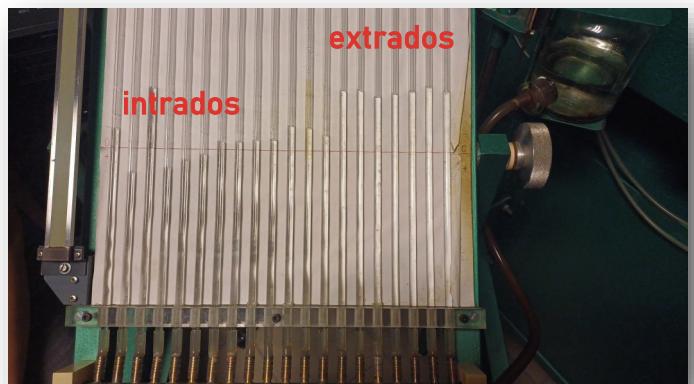
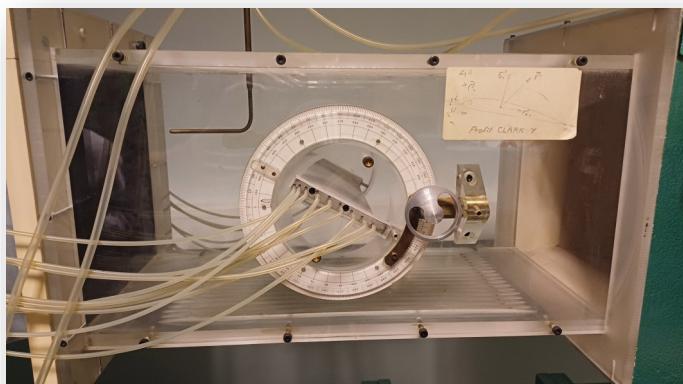
## expériences 2b

Nous travaillons sur un deuxième dispositif, constitué d'une maquette métallique d'aile d'avion, percées de plusieurs trous. Chaque trou placé à l'extrados et à l'intrados est relié à un manomètre à eau, permettant de mesurer la pression de l'air à cet endroit précis.

M.SAYS nous indique que l'on peut modifier l'incidence du vent, produit par une soufflerie.



## observations 2b



Nous observons que le niveau d'eau est plus élevé au niveau des tubes reliés à l'extrados.

## interprétation 2b

On en déduit que l'eau est aspirée, dans les tubes où la pression de l'air est plus faible.

## conclusion 2b

On en conclut que la pression de l'air est plus faible du côté de l'extrados.

M.SAYS nous explique que la différence de pressions entre les deux côtés de l'aile est à l'origine de l'action mécanique exercée par l'air sur une aile ou une voile, appelée « portance ».

## d/ hypothèse 3

Nous pensons que nous allons pourvoir déterminer la performance de plusieurs voiles, en forme d'aile, en fonction des différents angles d'incidence du vent.

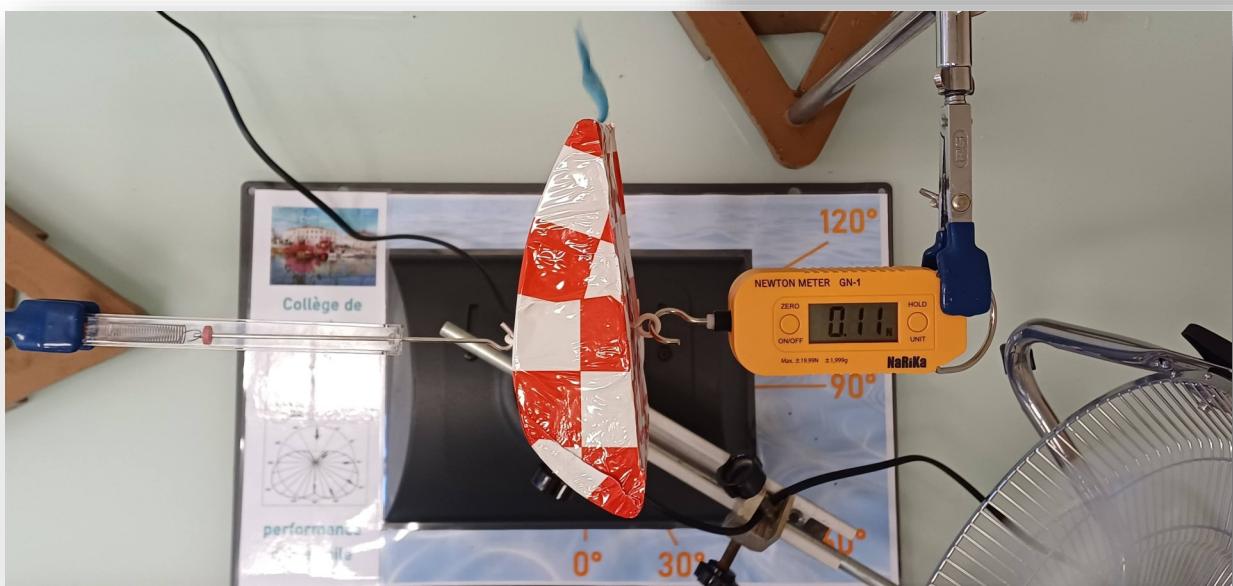
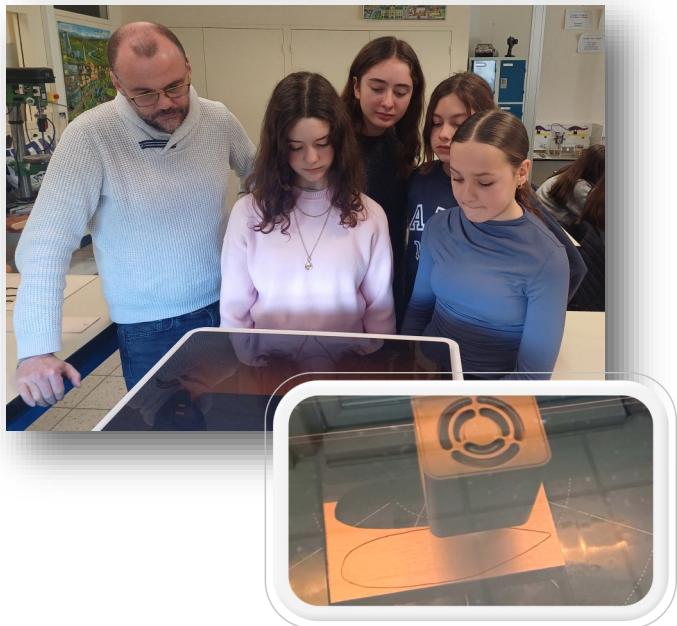
Pour cela, nous allons mesurer la force qu'exerce le vent sur chaque voile, à l'aide d'un dynamomètre, pour différentes incidences du vent.

## expérience 3

Nous effectuons une découpe laser de plusieurs profils d'ailes en balsa, puis nous les assemblons par 3, de manière à créer des structures rigides.

Nous les entoilons à l'aide d'un fer à repasser pour créer différentes formes d'aile.

Nous fixons successivement chaque aile à deux dynamomètres, puis nous modifions la direction de l'axe d'un ventilateur, en mesurant à chaque fois l'angle d'incidence.



## résultats des mesures 3



angle (°)	force (N)
0	0,02
30	0,08
60	0,10
90	0,11
120	0,13

angle (°)	force (N)
0	0,04
30	0,11
60	0,11
90	0,11
120	0,11

angle (°)	force (N)
0	0,02
30	0,05
60	0,10
90	0,11
120	0,09

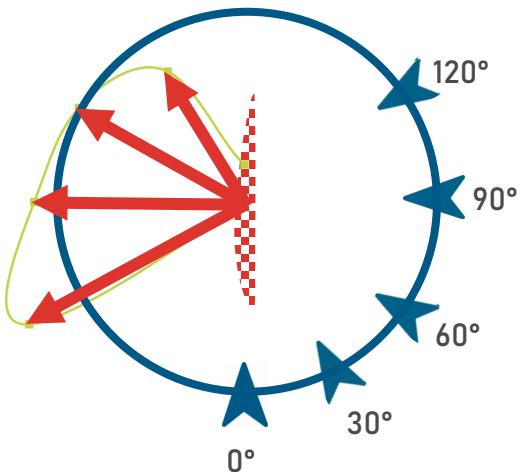
angle (°)	force (N)
0	0,05
30	0,09
60	0,11
90	0,11
120	0,13

angle (°)	force (N)
0	0,09
30	0,13
60	0,15
90	0,13
120	0,07

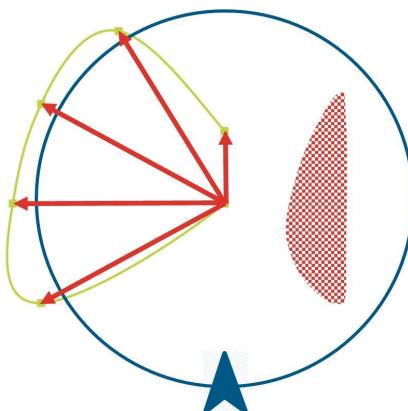
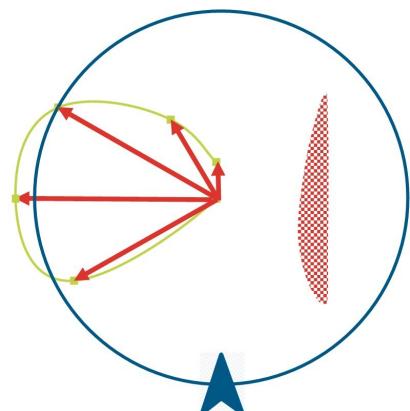
angle (°)	force (N)
0	0,07
30	0,09
60	0,11
90	0,11
120	0,06

angle (°)	force (N)
0	0,04
30	0,08
60	0,08
90	0,05
120	0,04

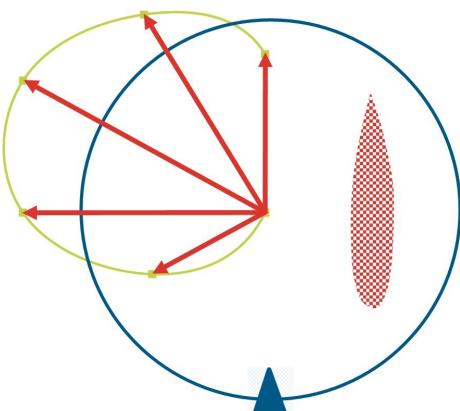
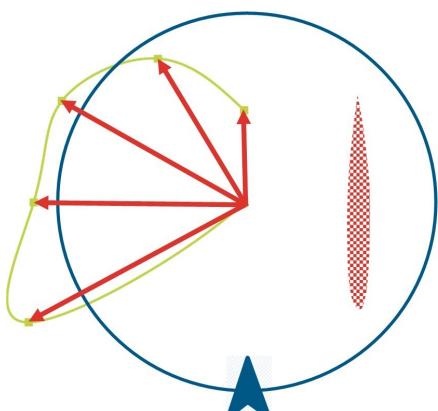
## interprétations 3



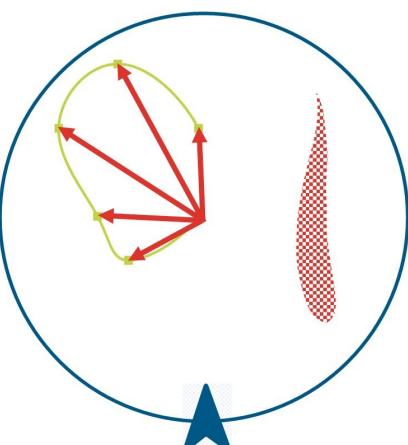
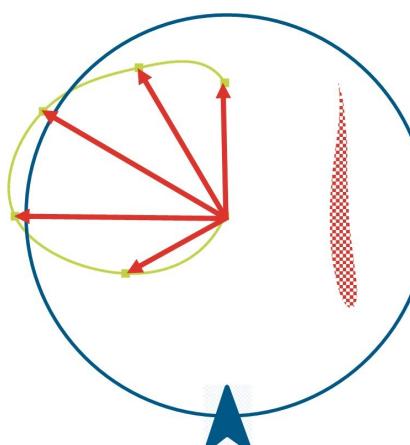
Nous représentons la valeur de la force mesurée, en fonction de la direction du vent.



Nous en déduisons que l'aile asymétrique la plus bombée est la plus performante et la plus polyvalente en fonction de l'incidence du vent.



Nous en déduisons que l'aile symétrique la plus bombée est la plus performante, sauf lorsque le vent vient plutôt de l'arrière.



Nous en déduisons que les ailes présentant une cambrure, ressemblant à celles des oiseaux, ne sont pas les plus efficaces dans nos expériences.

## conclusions 3

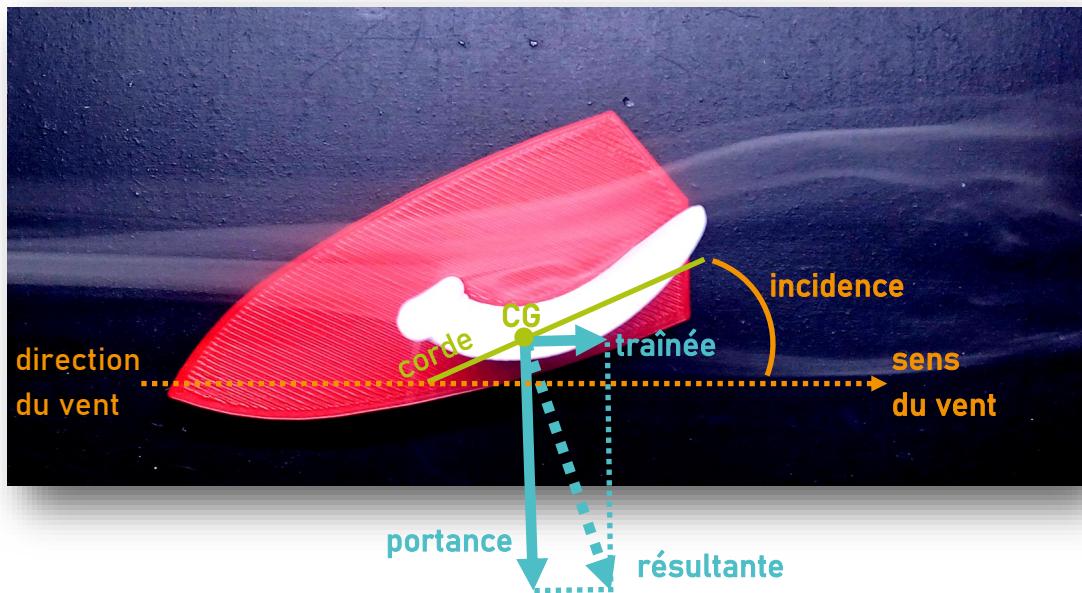
L'aile symétrique est la plus propice pour créer une portance élevée.

De plus, une courbure importante est plus favorable.

### e/ conclusion

M.SAYS nous a expliqué que le vent soumettait une aile ou une voile à deux forces :

- la portance, dont le point d'application se trouve à environ un tiers de la corde, dont la direction est perpendiculaire à celle du vent et dont le sens est l'extérieur de l'extrados
- la traînée, dont le point d'application est également le centre de poussée (CG) de la voile , la direction et le sens sont les mêmes que le vent.



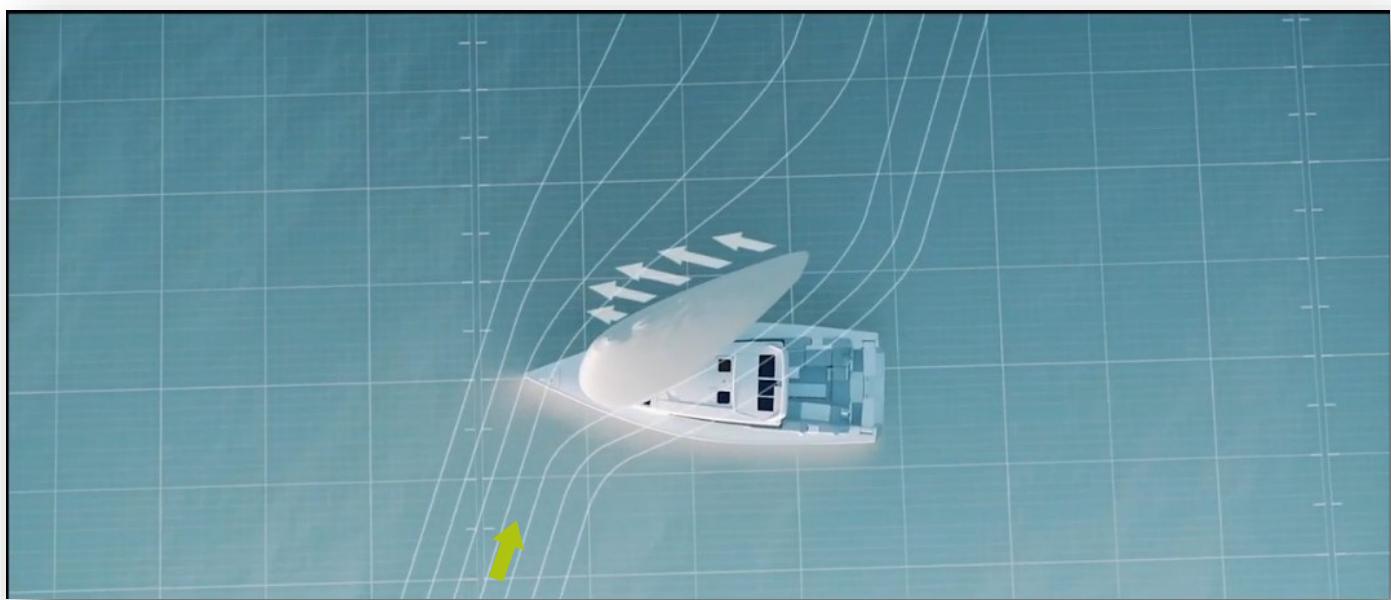
La résultante des deux forces est perpendiculaire à la voile : c'est approximativement celle que nous avons mesurée avec le dynamomètre.

Pour que la résultante des forces soit optimale, nous retenons une forme d'aile symétrique, avec une grande courbure. Les profils ressemblant aux ailes des oiseaux observés sur l'île de Ré, semblent être plus adaptés aux battements d'aile, qu'aux situations de « planeurs ».

Dans cette étude, nous n'avons pas tenu compte des forces qu'exerce l'eau sur les bateaux. Lors de nos navigations avec les catamarans, nous avons pu constater qu'il était indispensable d'immerger les safrans, une fois que nous avions quitter la plage. En effet, dans le cas contraire, nos embarcations dérivaient.

De plus, nous avons observé, lors de notre sortie en mer avec un catamaran de grande taille, qu'il était impossible de « tirer des bords » c'est-à-dire de changer de direction pour s'adapter au vent. Il en est de même pour les cargos qui doivent suivre des voies maritimes.

Il est donc indispensable de pouvoir orienter mécaniquement la voile, en fonction du vent, comme le prévoit le projet Wisamo de la manufacture MICHELIN



Notre travail n'est donc pas terminé, nous comptons bien demander à nos professeurs de nous accompagner de nouveau au bord de l'Océan ...

# Références

CURRY Manfred, *l'aérodynamique de la voile et l'art de gagner les régates*, CHIRON, Paris, 1994.

organisation Maritime Internationale, *Travaux de l'OMI pour réduire les émissions de GES provenant des navires*, [en ligne].2023[consulté le 10 février 2025]. Disponible à :<URL : <https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>>

superprof, *les pressions et poussées à apprivoiser sur un bateau* , [en ligne].27 mars 2018 [consulté le 10 février 2025]. Disponible à :<URL : <https://www.superprof.fr/ressources/sport/sport-tous-niveaux/navigation-et-science-physique.html>>

Initiatives-coeur, *carto-live*, [en ligne].2025[consulté le 21 décembre 2024]. Disponible à :<URL : <https://live.initiatives-coeur.fr/vendee-globe/2024/vue-3d>>

Lien vers la vidéo :

<https://youtu.be/lHuncBUcQZA>