

# Physique & Sport, "La voile et ses limites"

PLEY Louise

---

La voile c'est une symbiose entre l'homme et l'océan, selon moi.

Je fais de la voile depuis l'âge de 7 ans et je suis passionnée par ce sport. Que ce soit en dériveur, en planche à voile ou en catamaran, le contact avec l'eau et la vitesse sont les sensations recherchées. Il est donc primordial de trouver le bon angle de la voile pour obtenir une vitesse maximale pour un vent donné. C'est ce que j'ai tenté de réaliser. Je me suis mis pour but de chercher l'angle optimal de la voile nous donnant une vitesse maximale pour un vent de travers (vent venant perpendiculairement à la coque de notre bateau).

Quel est l'angle optimal de la voile par rapport à mon bateau permettant d'atteindre une vitesse maximale?

I/Pourquoi cette recherche ?

Le réglage de la voile sur un bateau est très important pour avoir un meilleur équilibre mais aussi pour augmenter la vitesse du bateau. Il est donc primordial de border (action de rapprocher la voile vers le milieu du bateau menant à une ouverture plus restreinte de la voile) ou choquer (action menant à une ouverture plus grande la voile) sa voile de peu ou de beaucoup. Cependant nous verrons que ces manoeuvres affectent aussi l'angle d'inclinaison du bateau par rapport à la mer. Or le catamaran est freiné lorsque son inclinaison est trop élevée (une seule coque est dans l'eau).

II/Comment?

Calculer la vitesse du bateau :

- 1) Choisir une distance avec des repères fixes sur terre
- 2) Chronométrer le temps mis par le bateau pour parcourir cette distance
- 3) Appliquer la formule de  $v=d/t$

Calculer les différents angles:

- 1) Mettre 7 marques au scotch sur l'écoute de grande voile ("corde" reliant le coin inférieur droit de la voile au bateau et permettant de choquer ou border la voile)
- 2) Utiliser pythagore et le cosinus d'angle

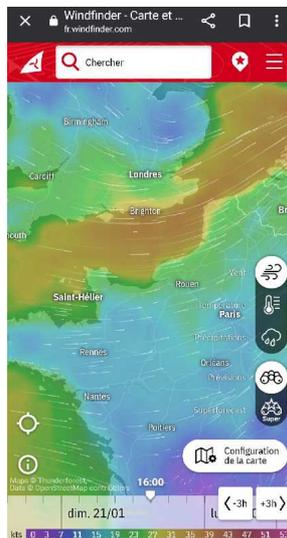
### 3) Calcul de la vitesse pour chaque marques

Nous pourrions émettre l'hypothèse selon laquelle plus l'angle est petit, plus la vitesse est grande et inversement proportionnelle. Nous obtiendrions alors une courbe exponentielle (vitesse en fonction de l'angle). Puisqu'en effet en pratique, nous avons tendance intuitivement à refermer la voile pour prendre plus de vitesse et à l'inverse l'ouvrir plus pour ralentir.

Pour prévoir une sortie en mer, il faut préalablement se renseigner sur les conditions météorologiques :

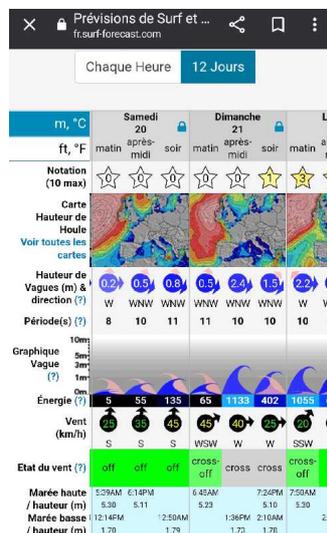
### Prévisions (Windfinder)

15/1/2024 - 8h4



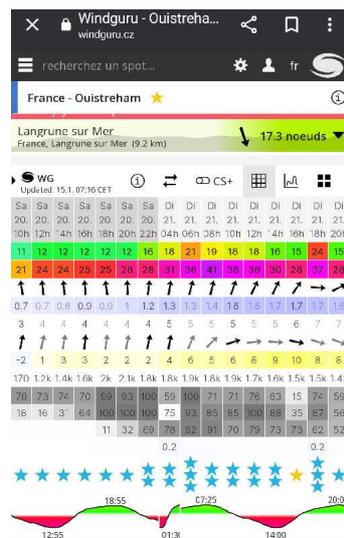
### Prévisions (Surf forecast)

15/1/2024 - 8h5



## Previsions (Windguru)

15/1/2024 - 8h8



15/01/24

Dimanche 21 janvier entre 14h et 16h:

Le vent est d'ouest. Il est constant ce qui permet de ne pas fausser les résultats. La marée sera basse et montera lors des mesures, il n'y aura donc pas de houle ni de vague.

Compte-tenu des prévisions, il me semble préférable de sortir en mer le dimanche 21 janvier de 12h à 16h lorsque le vent est d'ouest.

## Prévisions (Windfinder)

20/1/2024 - 17h51



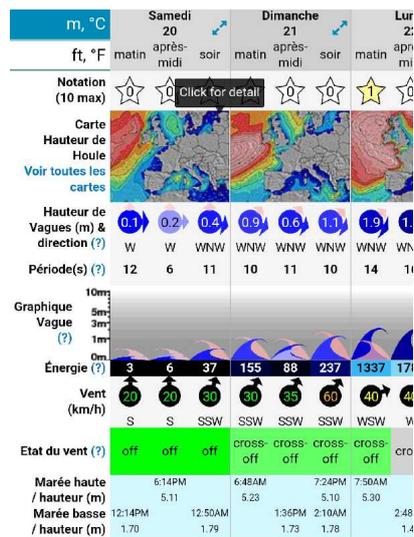
## Prévisions (Windfinder)

20/1/2024 - 17h51



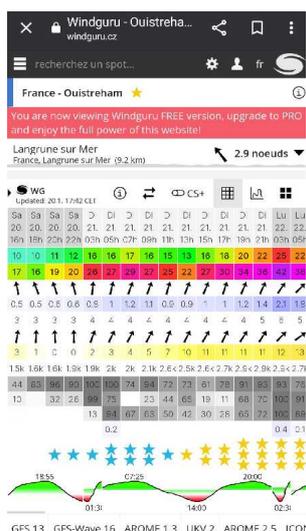
## Prévisions (Surf forecast)

20/1/2024 - 17h50



## Prévisions (Windguru)

20/1/2024 - 17h50



20/01/24

Selon les prévisions le vent a tourné sud, sud-ouest. Il semble augmenter de 13h à 17h et d'une force assez puissante pour mes mesures. La vitesse est maintenue entre 13 et 16 noeuds en constant et avec une moyenne d'environ 30 noeuds en rafales. Dimanche 21 janvier 2024 de 13h à 16h me semble le moment idéal pour faire mes expériences et mes relevés de données.

21/01/24 14H

Jour-J = Sortie en mer pour effectuer mes mesures  
Les conditions météorologiques sont identiques à celle prévues. Nous allons pouvoir réaliser l'expérience en ce dimanche 21 janvier 2024.

- Préparation du bateau
- Mise en place des 7 marques sur l'écoute de grande voile
- Le foc (voile secondaire triangulaire) a été gréé cependant il a gardé la même position tout au long des expériences. Le foc n'a donc pas faussé les expériences en accélérant ou diminuant la vitesse.

15H30 Le catamaran est prêt à partir

23/1/2024 - 8h5



21/01/24 15H30

-Départ du catamaran

-Recherche de postes de secours visibles pour délimiter  
notre parcours afin d'obtenir une distance fixe à parcourir

21/1/2024 - 15h47



21/1/2024 - 15h47



Une fois sur l'eau, nous nous sommes mis en position de départ en face du poste de secours annexe d'Hermanville-sur-mer (plus précisément, un petit peu avant afin de lancer la mesure du poste). Nous avons choqué notre voile avec la première marque, dès lors que nous étions en face du poste, j'ai lancé ma mesure de vitesse avec l'appli Fizziq. Cependant un problème est survenu et la vitesse affichait un 0 constant. Nous avons été contraints de ne pas utiliser l'application. Nous avons alors chronométré le bateau avec l'application chronomètre.

Mesures sur l'eau des temps de chaque bord en fonction des marques :

première marque 3.14s  
deuxième marque 3.54.27s  
troisième marque 3.09.27s  
quatrième marque 2.56.96s  
cinquième marque 2.34.25s  
sixième marque 2.16.42s  
septième marque 2.31s

21/01/24 17H

-Retour du catamaran

- Nettoyage des voiles et des safrans à l'eau froide
- Rinçage de nos combinaisons et gilets de sauvetage ayant été au contact du sel

21/1/2024 - 18h14



21/01/24 18H10

Mesure du catamaran : mat-début de l'acroche de l'écoute de grande voile (D) = 1m82

Mesure de la voile : largeur du bas (L) = 1m55

Mesures des marques :

1ère marque l=1m15

2ème marque l=1m10

3ème marque l=1m04

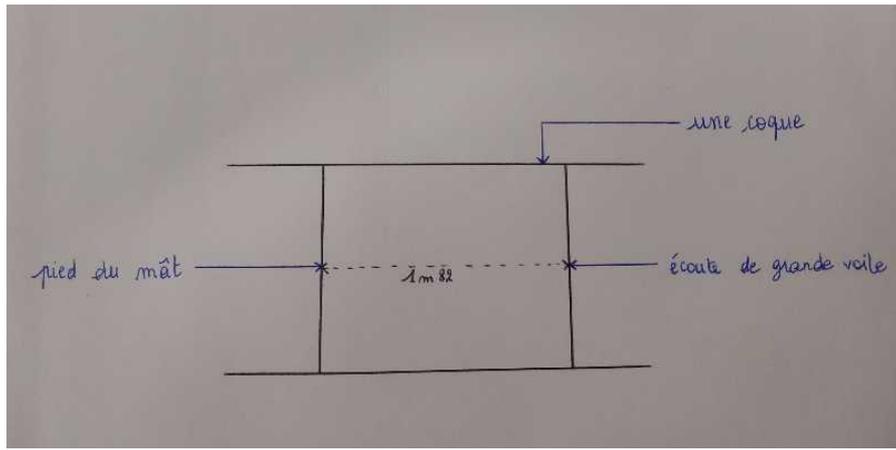
4ème marque l=95cm

5ème marque l=88cm

6ème marque l=80cm

7ème marque l=76cm

22/2/2024 - 13h42



Retrouver la distance parcourue :  
Poste de secours d'Hermanville-sur-Mer  
Poste de secours annexe d'Hermanville-sur-Mer

Poste de secours d'Hermanville-sur-Mer

23/1/2024 - 8h19



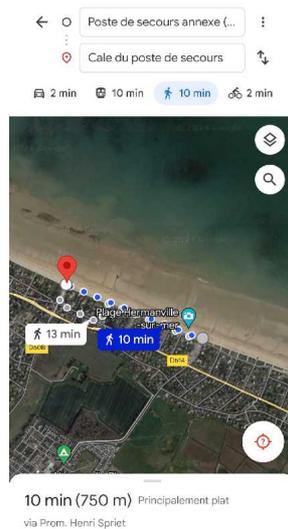
## Poste de secours annexe d'Hermanville-sur-Mer

23/1/2024 - 8h19



## Distance entre les 2 postes

23/1/2024 - 8h21



La distance entre les 2 postes de secours (nos deux repères fixes) est de :  
750m

Calculs de la vitesse du bateau en m/s pour chaque marque

Première marque :

$$3\text{min}14\text{s} = 60\text{s} \times 3 + 14 = 194\text{s}$$

$$v=d/t$$

$$v=750/194 = 3,87\text{m/s}$$

Deuxième marque :

$$3\text{min}54\text{s} = 60\text{s}\times 3+54 = 234\text{s}$$

$$v=d/t$$

$$v=750/234 = 3,20\text{m/s}$$

Troisième marque :

$$3\text{min}9\text{s} = 60\text{s}\times 3+9 = 189\text{s}$$

$$v=d/t$$

$$v=750/189 = 3,97\text{m/s}$$

Quatrième marque :

$$2\text{min}57\text{s} = 60\text{s}\times 2+57=177\text{s}$$

$$v=d/t$$

$$v=750/177 = 4,24\text{m/s}$$

Cinquième marque :

$$2\text{min}34\text{s} = 60\text{s}\times 2+34 = 154\text{s}$$

$$v=d/t$$

$$v=750/154 = 4,87\text{m/s}$$

Sixième marque :

$$2\text{min}16\text{s} = 60\text{s}\times 2+16 = 136\text{s}$$

$$v=d/t$$

$$v=750/136 = 5,51\text{m/s}$$

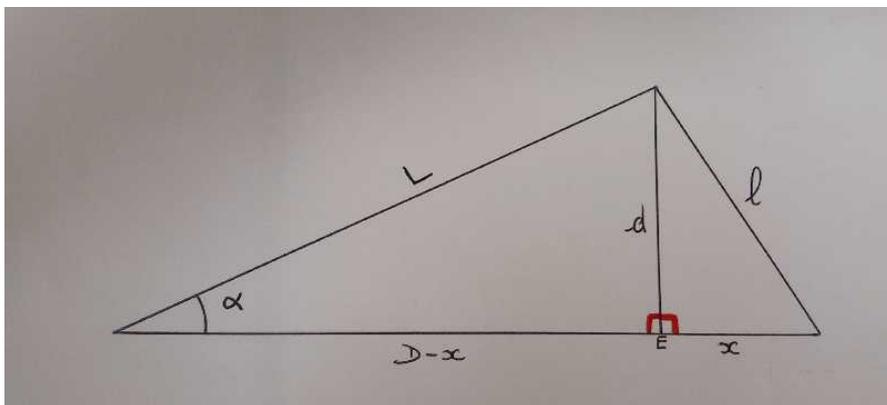
Septième marque :

$$2\text{min}31 = 60\times 2+31 = 151\text{s}$$

$$v=d/t$$

$$v=750/151 = 4,97\text{m/s}$$

22/2/2024 - 13h42



$$L=1m55=155cm$$

$$D=1m82=182cm$$

Mon triangle est rectangle en E alors d'après le théorème de Pythagore :

$$l^2 = d^2 + x^2$$

$$L^2 = d^2 + (D-x)^2$$

$$d^2 = l^2 - x^2$$

$$d^2 = L^2 - (D-x)^2$$

Pour trouver x :

$$l^2 - x^2 = L^2 - (D-x)^2$$

$$l^2 - L^2 = -(D-x)^2 + x^2$$

$$l^2 - L^2 = -(D^2 - 2Dx + x^2) + x^2$$

$$l^2 - L^2 = -D^2 + 2Dx - x^2 + x^2$$

$$l^2 - L^2 = -D^2 + 2Dx$$

$$l^2 - L^2 + D^2 = 2Dx$$

$$(l^2 - L^2 + D^2) / 2D = x$$

Pour trouver cos-1

$$\cos \alpha = (D-x) / L = (182-x) / 155$$

puis cos-1 à la calculatrice

Première marque : pour  $l=1m15=115cm$

$$(l^2 - L^2 + D^2) / 2D = x$$

$$= (115^2 - 155^2 + 182^2) / 2 \times 182 = 22\,324 / 2 \times 182 = 22\,324 / 364 = 5\,581 / 91$$

$$\text{alors } x = 5\,581 / 91$$

$$\cos \alpha = (D-x) / L = (182-x) / 155$$

$$\cos^{-1} \alpha_1 = \{182 - (5\,581 / 91)\} / 155 = 39^\circ$$

$$\text{donc } \cos^{-1} \alpha_1 = 39^\circ$$

Deuxième marque : pour  $l=1m10=110cm$

$$(l^2 - L^2 + D^2) / 2D = x$$

$$= (110^2 - 155^2 + 182^2) / 2 \times 182 = 21\,199 / 364$$

$$\text{alors } x = 21\,199 / 364$$

$$\cos \alpha = (D-x) / L = (182-x) / 155$$

$$\cos^{-1} \alpha_2 = \{182 - (21\,199 / 364)\} / 155 = 37,0^\circ$$

$$\text{donc } \cos^{-1} \alpha_2 = 37,0^\circ$$

Troisième marque : pour  $l=1m04=104cm$

$$(l^2 - L^2 + D^2) / 2D = x$$

$$=(104^2-155^2+182^2)/2 \times 182 = 2\ 845/52$$

$$\text{alors } x = 2\ 845/52$$

$$\cos \alpha = (D-x) / L = (182-x)/155$$

$$\cos^{-1} \alpha_3 = \{182-(2\ 845/52)\}/155 = 35^\circ$$

$$\text{donc } \cos^{-1} \alpha_3 = 35^\circ$$

Quatrième marque : pour  $l=95\text{cm}$

$$(l^2-L^2+D^2)/2D=x$$

$$=(95^2-155^2+182^2)/2 \times 182 = 4\ 531/91$$

$$\text{alors } x = 4\ 531/91$$

$$\cos \alpha = (D-x) / L = (182-x)/155$$

$$\cos^{-1} \alpha_4 = \{182-(4\ 531/91)\}/155 = 31^\circ$$

$$\text{donc } \cos^{-1} \alpha_4 = 31^\circ$$

Cinquième marque : pour  $l=88\text{cm}$

$$(l^2-L^2+D^2)/2D=x$$

$$=(88^2-155^2+182^2)/2 \times 182 = 16\ 843/364$$

$$\text{alors } x = 16\ 843/364$$

$$\cos \alpha = (D-x) / L = (182-x)/155$$

$$\cos^{-1} \alpha_5 = \{182-(16\ 843/364)\}/155 = 28,9^\circ$$

$$\text{donc } \cos^{-1} \alpha_5 = 28,9^\circ$$

Sixième marque : pour  $l=80\text{cm}$

$$(l^2-L^2+D^2)/2D=x$$

$$=(80^2-155^2+182^2)/2 \times 182 = 15\ 499/364$$

$$\text{alors } x = 15\ 499/364$$

$$\cos \alpha = (D-x) / L = (182-x)/155$$

$$\cos^{-1} \alpha_6 = \{182-(15\ 499/364)\}/155 = 25,9^\circ$$

$$\text{donc } \cos^{-1} \alpha_6 = 25,9^\circ$$

Septième marque : pour  $l=76\text{cm}$

$$(l^2-L^2+D^2)/2D=x$$

$$=(76^2-155^2+182^2)/2 \times 182 = 2\ 125/52$$

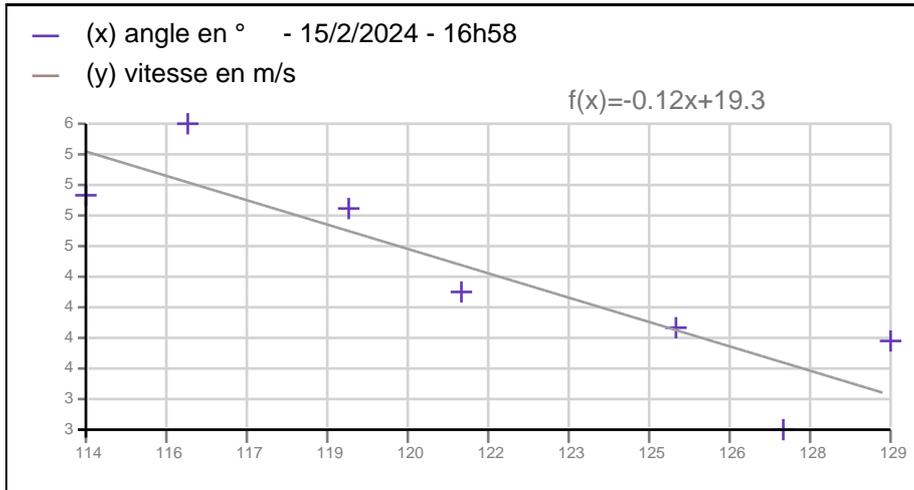
$$\text{alors } x = 2\ 125/52$$

$$\cos \alpha = (D-x) / L = (182-x)/155$$

$$\cos^{-1} \alpha_7 = \{182-(2\ 125/52)\}/155 = 24^\circ$$

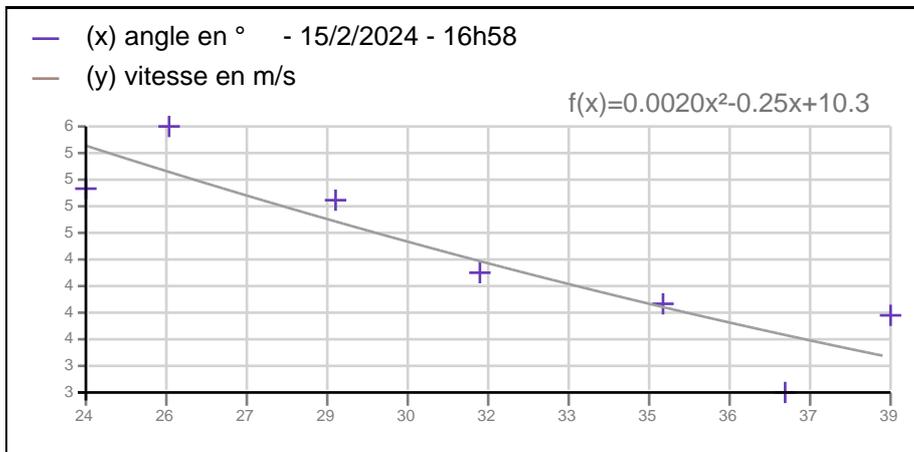
donc  $\cos^{-1} \alpha_7 = 24^\circ$

### Courbe de la vitesse en fonction de l'angle (linear)



Sur le graphique nous pouvons observer une courbe décroissante prouvant que plus l'angle est petit, plus la vitesse est grande. Ce qui est en accord avec notre hypothèse de départ.

### Courbe de la vitesse en fonction de l'angle (quadratic)



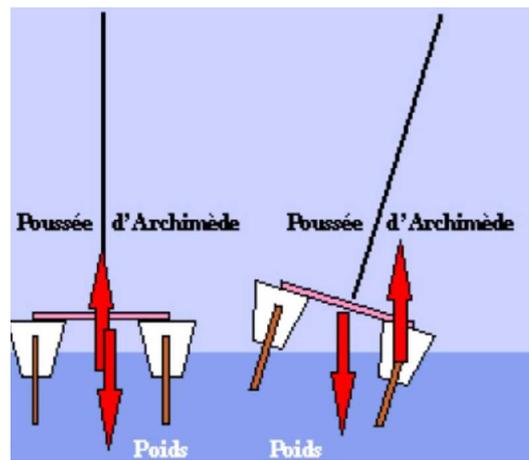
Ma dernière mesure, celle dont la longueur  $l$  est la plus petite soit l'angle  $\alpha$  le plus petit, n'est pas ma vitesse maximale. En effet, lors de mon dernier bord (distance parcourue en bateau), ma voile était presque bordé à son maximum et cette configuration a rendu le bord impossible à tenir sans modification (ou alors chavirement du catamaran). Le bateau à commencer à giter et s'est retrouvé sur une coque. Malgré que je me sois mise au rappel (technique consistant à redresser le bateau dans le but de le mettre à l'horizontal), le bateau a continué de giter. Nous avons donc choqué légèrement la voile pour que le bateau prenne moins de vent et donc gite moins. La meilleur manière de border sa voile soit l'angle optimal que je me suis mise à chercher ne serait donc pas le plus petit puisqu'en effet la prise de vent dans la voile étant trop forte cela produit l'effet inverse. En effet, trop border produirait la gite et a un certain moment le chavirement (retournement du bateau, il se retrouve parallèle à l'eau et une moitié est immergée du bateau). Mais comment est-il possible de giter autant au point de chavirer?

Nous pouvons penser que deux de mes points sont faussés et que la trajectoire de ma courbe pourrait tendre plus vers un temps minimum. En effet, si ma courbe tend de plus en plus vers un réel sans jamais l'atteindre nous pourrions donc en déduire que l'ouverture de ma voile n'aurait plus d'incidence sur ma vitesse pour une longueur  $l$  donné.

L'angle optimal de ma voile tendra donc vers un réel vitesse sans jamais l'atteindre ou alors serait un angle fixe pour lequel le bateau a une vitesse maximal ainsi qu'une stabilité fixe empêchant le bateau de chavirer?

Grace à ma dernière mesure, nous pouvons introduire la notion de couple. L'équilibre du bateau ainsi que le maintien du bateau à la surface de l'eau est obtenu grâce à la compensation de la force de gravité et de la poussée d'Archimède. Chacune de ces forces agissent en des points précis: le centre de gravité et le centre de carène.

1/3/2024 - 18h12



Sur ces deux schémas, la poussée d'Archimède permet l'équilibre du bateau qui est menacé par son poids (attiré par la gravité). Ma dernière mesure a été prise lors du second schéma, en effet le centre de carène compense les forces exercées par l'unique coque dans l'eau. Cependant, si le vent avait été plus puissant, les coques se seraient davantage levées et le centre de gravité présent sur le milieu du bateau aurait dépassé le centre de carène. C'est à cet instant là que le bateau chavire: quand le centre de gravité dépasse le centre de carène (se retrouve donc au dessus). Le centre de carène ne peut alors plus compenser pour maintenir l'équilibre. Dans ce cas, le bateau chavire.

Il est intéressant de comparer ma courbe de la vitesse en fonction de l'angle de la voile par rapport au vent. Dans ce cas-ci lors d'un vent de travers, le vent vient perpendiculairement au bateau et pour une force de 16 noeuds. Un vent de 16 noeuds équivaut à 29,63 km/h. Il est donc intéressant de comparer ma courbe aux polaires de mon bateau ou à un bateau similaire (s'en rapprochant).

Une polaire est une représentation graphique de la vitesse de mon bateau en noeud en fonction de l'angle du vent par rapport à la direction de mon bateau.

Je vais comparer mon bateau à un Lagoon 380 pour un vent de travers donc pour un angle de  $90^\circ$ .

Un Lagoon 380 a une vitesse de 8 noeuds lors d'un angle de  $90^\circ$  et d'un vent de puissance 16 noeuds. Mon bateau au maximum avait une vitesse de : 10,71 noeuds (soit 5,51 m/s) et au minimum : 6,22 noeuds (soit 3,20 m/s). Nous pouvons donc voir une similitude entre le lagoon 380 et mon bateau. La comparaison entre la théorie et la pratique est importante. Nous pouvons voir ici que ma vitesse maximale (soit la vitesse la plus optimale pour mon bateau) est supérieure à la vitesse indiquée par la polaire du Lagoon 380. Cependant nous savons que le Lagoon 380 est plus lourd. Le poids est donc plus important ce qui freine.

En plus, de la puissance du vent, de la force de la houle, de l'angle de ma voile, il y aurait la gravité à prendre en compte pour maximiser sa vitesse et atteindre des records. Il faudrait donc trouver un équilibre parfait entre gravité et angle de la voile pour pouvoir tendre vers une vitesse maximale tout en évitant le bateau de chavirer. Cependant, de nombreux obstacles sont à prendre en compte pour pouvoir établir l'angle parfait puisqu'en effet il suffit d'une rafale de vent pour que le bateau se retourne. Il faudrait donc pouvoir adapter son angle de voile en fonction de la constance du vent ainsi que ses rafales.