

Comment Mesurer la Force des Voiles des nos modèles

Août 2015

ClaudioD

INTRODUCTION

L'histoire commence peu après avoir quitté la Voile de compétition avec mon Dragon de 1960 en acajou vernis. J'étais très malheureux mais la santé avait décidé autrement.

Un copain me dit : Viens avec nous, sera de la voile en miniature, mais l'esprit sera le même.

Cet ainsi que j'ai repris le modélisme, mais cette fois ci avec une Radiocommande. Ma première maquette de 80cm date de 1948 avec gouvernail automatique 'Braine gear' !

- Première constatation : le pennons a la distance de 4 ou 5 mètres on ne les vois plus
- Deuxième constatation : l'écoute de foc part du centre du bateau
- Troisième constatation : le Barber de réglage fin du Foc n'existe pas.
- Quatrième constatation : le Joystick ne donne pas la sensibilité au barreur comme une barre de gouvernail pour 'sentir' le bateau.

Avec la Radiocommande je suis un peu perdu, j'ai l'impression de naviguer 'au pif' et je trouve que cela est certainement beaucoup plus difficile que sur un vrai bateau à cause du manque de repères pour régler les voiles.

Oui le voilier marche dans toutes les directions, mais je ne suis pas sur qu'il fasse le meilleur cap avec la vitesse maximum. (VMG)
La distance entre skipper et le bateau fait donc le reste, plus de pennons plus de flamme, ils sont trop loin...

Comment être sur que les voiles sont "effectivement " bien réglées ?

A cause de la transparence de l'air, le réglage des voiles reste encore un mystère pour beaucoup de monde, moi compris. Il y a ceux qui utilisent les fumigènes ! Celui-ci est un argument que j'ai vu rarement en discussion dans les forums ou écrit ailleurs, à exclusion du livre de Chéret ou Bethwaite, mais sans avoir la preuve matérielle de ce qui est affirmé si on ne monte pas à bord.

Je sais qu'il n'est pas facile l'aborder sans ennuyer et prendre le risque de se faire envoyer sur les roses par ceux qui n'ont pas fait de la vraie voile et qui savent déjà tout sur les voiliers radiocommandés.

J'ai donc décidé de faire un travail d'apprentissage restant chez moi avec un simulateur de voilier composé essentiellement de son gréement.

- Je veux comprendre et voir de prêt ce qui se passe quand je bouge le joystick.
- Je veux voir les pennons se positionner le long de la surface d'intrados et d'extrados.
- Je veux voir ce qui se passe quand je modifie l'angle d'attaque du Foc par rapport à l'angle d'attaque de la GV.
- Je veux voir ce qui se passe quand je change la forme des voiles
- Je veux savoir si un réglage de Foc est valable pour des vents différents.
- Je veux savoir quelle sera la puissance du servo à utiliser en fonction de la position des écoutes le long des bômes et leurs longueurs.

Les seules 'vraies réponses' je crois pouvoir les obtenir par la mesure de la force produite par chacune des voiles.

Merci Bernoulli : $F=1/2 \rho S V^2 C$

C'est bien comme ça qu'on a inventé les souffleries.

La mienne 'sera', il faut encore la faire, une soufflerie 'faite maison' sans prétention et sans précision absolue, pas de dynamomètres et capteurs piézo-électriques éparpillés partout et pas de programmes d'analyse des données pour produire de diagrammes savants, mais une simple observation visuelle pour essayer de comprendre ce qui se passe entre deux voiles !

Quelqu'un a écrit un papier intéressant sur comment on peut régler le couloir entre Foc et GV à l'air libre, mais on sait très bien que s'est une affaire de deux minutes avant de mettre le bateau à l'eau. Est-il suffisant ? Si on gagne 'sera' sans doute vrai !

Qui a passé plus de deux minutes pour mieux comprendre ?

- Mon 'Gadget' ne devra coûter trop cher comme tout le reste.
- Le 'Gadget' doit pouvoir être construit par les modélistes
- Le Dynamomètre sera la Balance de Cuisine avec cadrant !

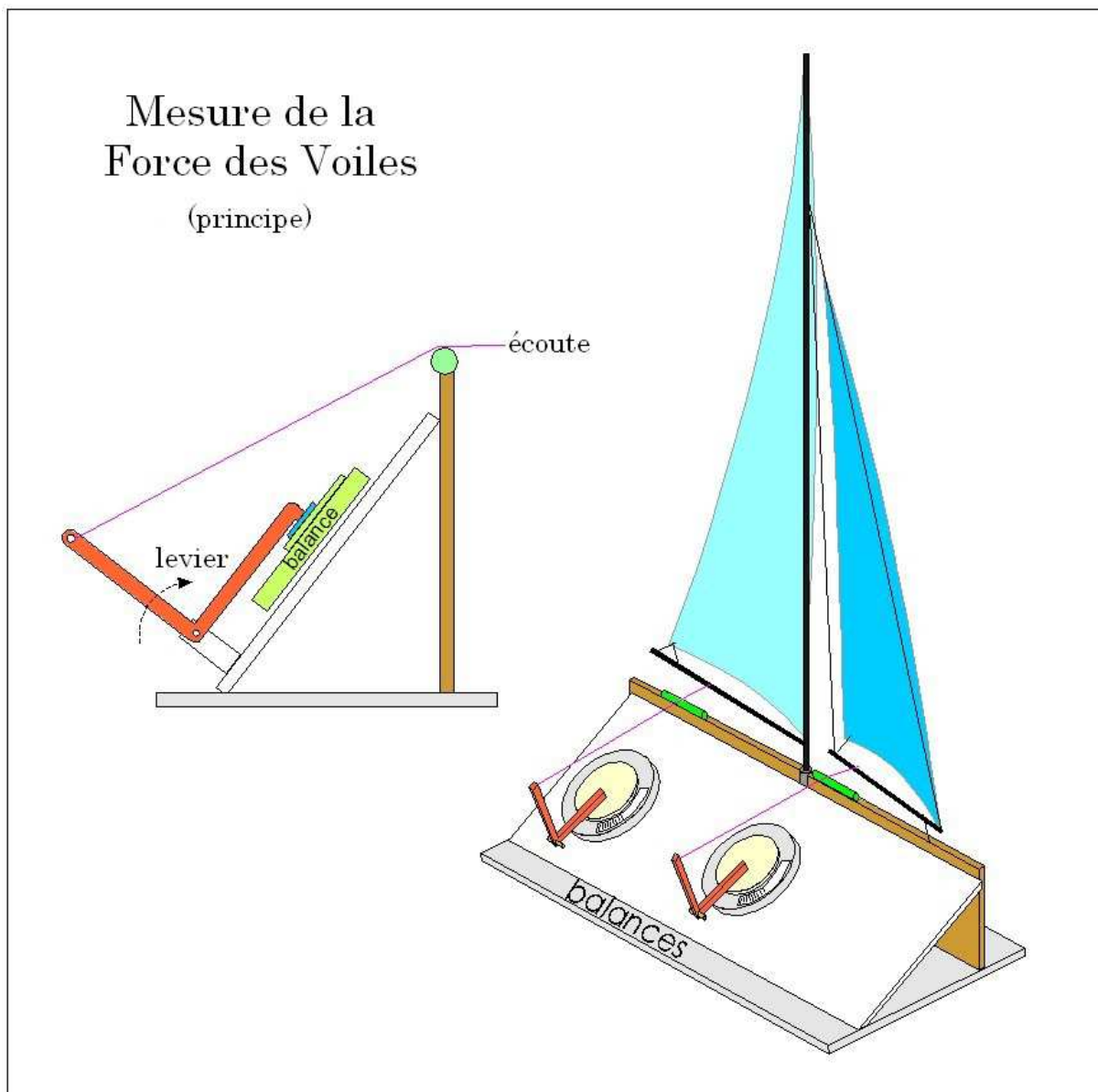
Pourquoi une Balance de Cuisine avec cadrant ?

Mes premières expériences ont montré que l'air sortant d'un ventilateur, même étant constante ou presque, est sans doute pulsée à cause des pales qui tournent. Cette air qui investi les voiles produira forcément une force de traction qui sera aussi pulsée si on oublie les facteurs d'amortissement des différentes parties.

Sera plus facile visualiser une aiguille oscillant autour d'une valeur 'moyenne' plutôt qu'un indicateur digital qui fera danser les chiffres sans pouvoir les lire !

Le 'Gadget' sera donc composé d'un gréement au choix, de deux balances une pour chaque voile et un support pour tenir l'ensemble.

Voici le principe de base pour des mesures statiques et non :

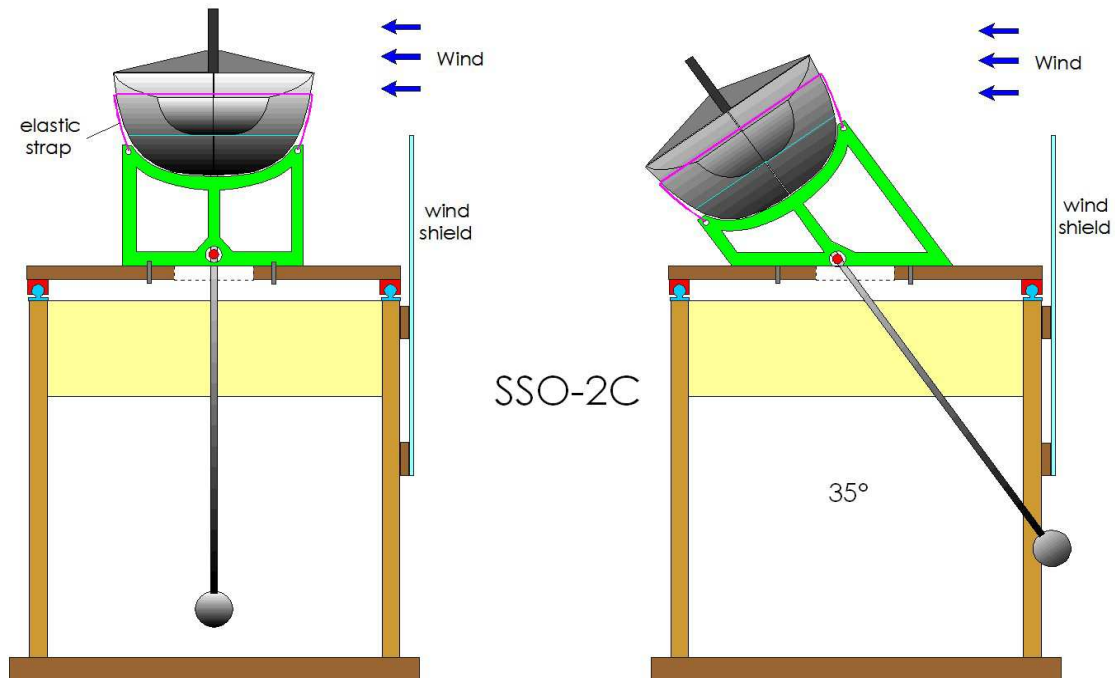
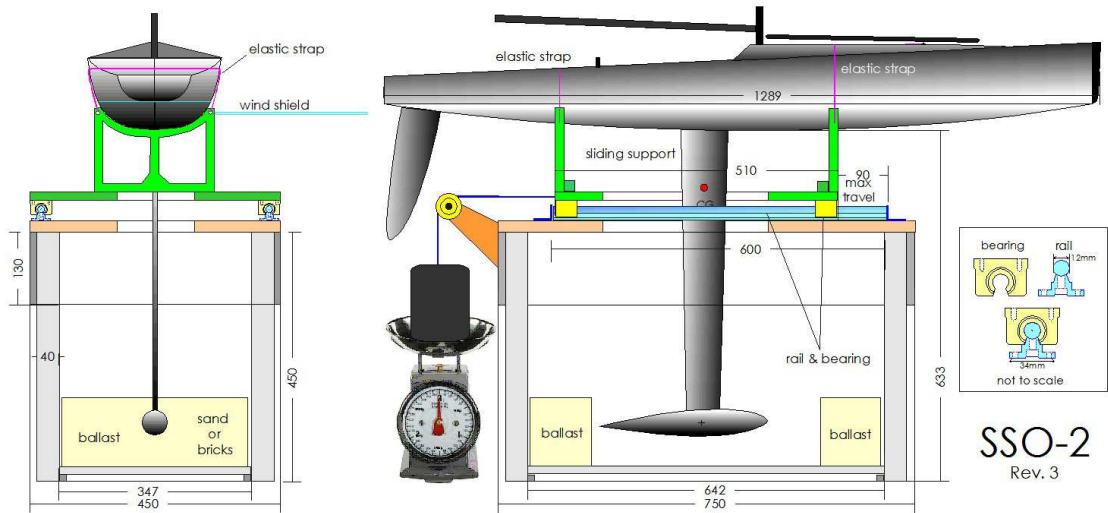


La fatigue plus importante et de trouver l'instrument de mesure simple et pas cher comme une balance !

La balance sera le Dynamomètre du 'Gadget'.

Pas question de s'embarquer dans l'achat de capteurs de traction, de convertisseur et amplificateurs de signaux, d'instruments de mesure, voir enregistreurs, etc.

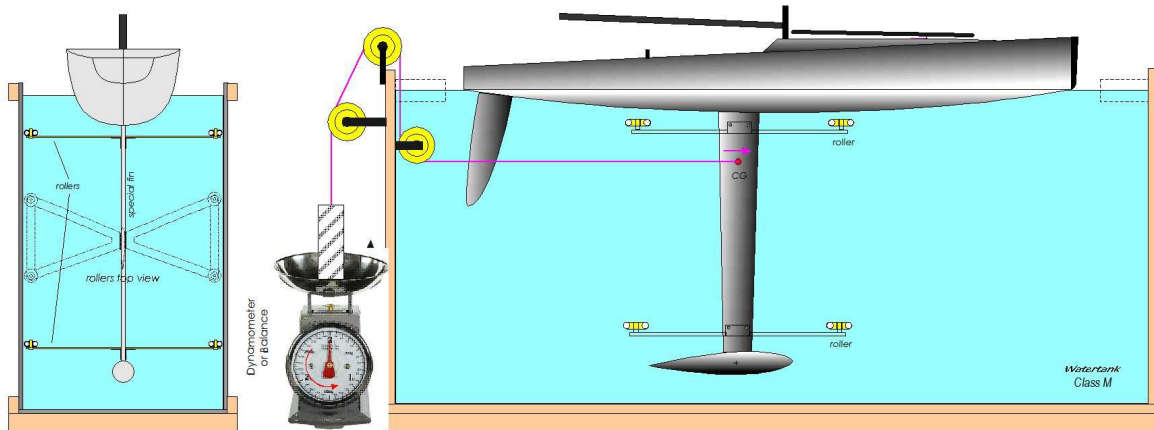
Pour le premier projet 'Dynamique' une simple balance comme celle du dessin allait très bien :



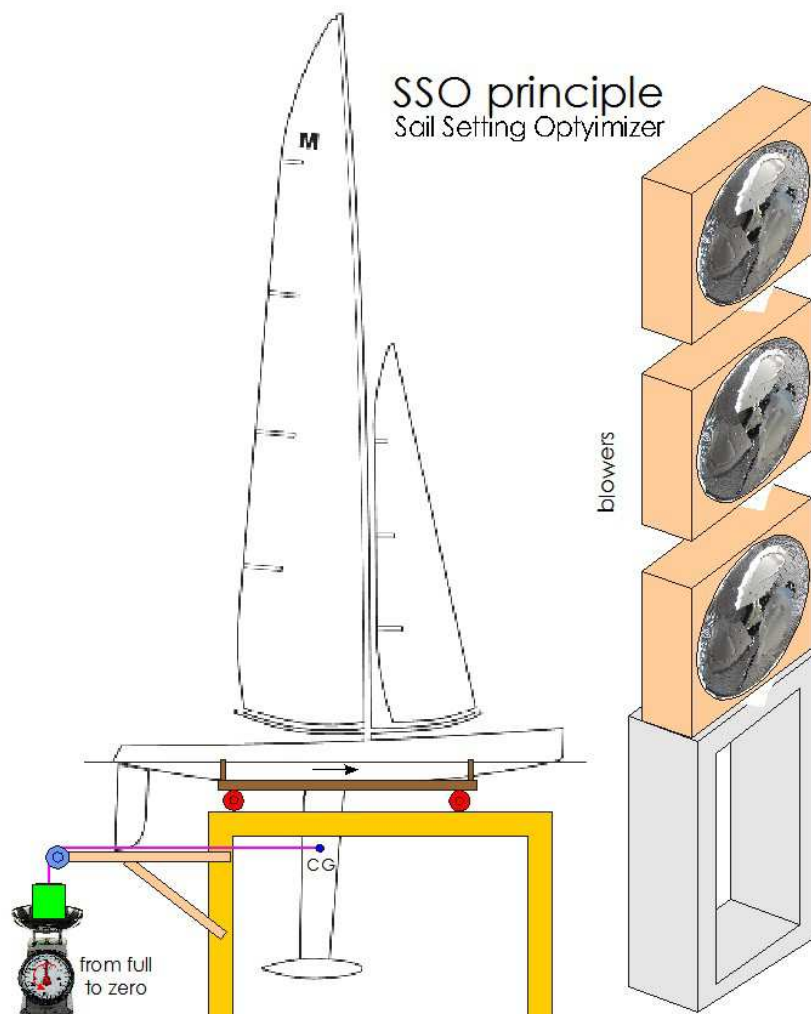
Pour le moment cet instrument Dynamique est mis de coté. Les Roulements linéaires et leurs guides présentent encore une friction trop importante pour mon besoin. J'attends de faire des essais avec des Galets sur roulements et barres

d'acier. Rien de mieux qu'un bassin d'eau qui est la troisième option, mais presque intransportable pour un Classe M ou R !

SSO - Sail Setting Optimizer



Vue d'ensemble du principe Dynamique :



Voici un exemple de Balance de 2kg possible, mais sans le bol :



Le cadran est large et bien lisible, tandis que la balance visible dans les dessins précédents n'est pas adaptée pour la lecture 'statique'.

Je m'explique :

Ces balances ont une large excursion verticale de presque 3cm.

Vu que le Bateau ne bouge pas, le mouvement attendu des bômes doit rester le plus petit possible pour obtenir une mesure transférable par la suite sur un voilier navigant. Je serais obligé de faire un petit ajustement de la longueur d'écoute pour le déplacement maximum.

Les deux balances avec cadran en ma possession ont un déplacement vertical de 4 et 5 mm seulement, pour 2 et 3kg, donc acceptable.

Bien sur les capteurs piezo, capacitifs ou résistifs ne bougent pas, au plus 1 ou 2 μm , mais ils ont besoin d'une panoplie d'autres instruments pour faire une lecture.

Les Balances digitales reçues ont des déplacements inférieurs au mm, mais elles sont digitales !!

J'ai même démonté une balance pour voir comment est-elle faite et cela me donne des idées pour simplifier les choses ...

Voyons un peu plus de près ce qui gère l'idée de faire un 'Gadget' pour mesurer la force des voiles ou gréements.

Il n'y a aucune complication, tout est basé sur la formule de Bernoulli.

Cette formule permet de calculer approximativement la portance d'une Voile et donc la force de traction en fonction du vent qu'on devrait obtenir en regardant les balances.

Cette formule est très simple il y a que des multiplications à faire entre divers paramètres comme par exemple $X = a \times b \times c \times d$.

La formule de Bernoulli est :

$$F = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^2 \times C$$

F = Force en Newtons mais aussi égale à : $F / 9.81 = \text{kg force}$

ρ = masse volumique de l'air égale à 1.204 à 20°C (1.293 à 0°C)

S = Surface de la voile en m²

V = Vitesse du vent en m/s au carré

C = Coefficient de portance = à 0.9 au vent arrière et 1.4 au prés serré

Faisons un exemple pour avoir un ordre d'idée sur une voile de 10R avec allure au prés serré :

Surface de voile = 0.95m²

Vitesse du vent = 4.5 m/s ou 16.2 km/h ou 8.74 nœuds

Intégrons tout ça dans la formule :

Force traction voile = $\frac{1}{2} \times 1.204 \times 0.95 \times 4.5^2 \times 1.4 = 16.21 \text{ newtons}$ ou 1.65 kgf

Donc la force de traction mesurée serait de 1.65kg avec un vent de 16.2km/h

Les choses changent vite avec un vent plus fort à cause de l'exposant au carré pour la vitesse du vent.

Voici ce qui se passe avec un vent de 17 nœuds ou 31.5km/h ou 8.75 m/s

Force traction voile = $0.5 \times 1.204 \times 0.95 \times 8.75^2 \times 1.4 = 61.29 \text{ newtons} = 6.24 \text{ kg}$

Evidement avec 6.24 kgf c'est toute une autre histoire quand on veut choisir un Servo Treuil.

La puissance des servos

Comment lire les spécifications techniques : ici une page prise sur : <https://www.servocity.com/index.htm> , mais en Anglais :

HS-815BB Mega Sail Arm

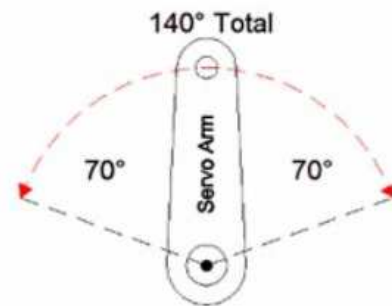
MAXIMUM TORQUE → **343 oz-in.**

MAXIMUM SPEED → **0.38 sec/140°**

The HS-815BB was designed primarily as a sail servo but is great for all types of applications. A 140° rotation means that it operates 50° more than a standard servo. This larger angle of operation is taken advantage of by the extra long 4.5" arm that comes standard with the HS-815BB servo.



→ Analog Servo



Detailed Specifications

Control System: +Pulse Width Control 1500usec Neutral
Required Pulse: 3-5 Volt Peak to Peak Square Wave
Operating Voltage: 4.8-6.0 Volts
Operating Temperature Range: -20 to +60 Degree C
Operating Speed (4.8V): 0.48sec/140° at no load
Operating Speed (6.0V): 0.38sec/140° at no load
Stall Torque (4.8V): 274.96 oz/in. (19.8kg.cm)
Stall Torque (6.0V): 343.01 oz/in. (24.7kg.cm)
Operating Angle: 70 Deg. one side pulse traveling 400usec
Continuous Rotation Modifiable: Yes
Direction: Clockwise/Pulse Traveling 1500 to 1900usec

Current Drain (4.8V): 8mA/idle and 700mA no load operating
Current Drain (6.0V): 8.7mA/idle and 830mA no load operating
Dead Band Width: 8usec
Motor Type: 3 Pole Ferrite
Potentiometer Drive: Indirect Drive
Bearing Type: Dual Ball Bearing
Gear Type: All Heavy Duty Nylon Gears
Connector Wire Length: 11.81" (300mm)
Dimensions: 2.59" x 1.18"x 1.26" (66 x 30 x 57.6mm)
Weight: 5.6 oz. (152g)

Ce qu'intéresse est la puissance fournie et comment elle est décrite dans la fiche de Hitec. (Les autres fabricants font pareil)

Le Servo à Bras HS-815BB, avec 6Volts, offre une puissance de 24.7kg.cm, mais sans charge.

Très important parce que cela veut dire que on peut pendre un poids de 24.7kg au bout d'une corde attaché à 1cm de l'axe de rotation, (si on peut) ! Le servo, dans ces conditions ne doit pas bouger, mais on ne pourra pas non plus le faire tourner avec le Joystick de l'Emetteur si on veut éviter le drame et le détruire.

Si on regarde ça de près on voit que la puissance disponible à nos besoins réels descendra très vite.

Déjà le servo sera équipé d'un bras qui sera long en fonction de la longueur d'écoute.

Prenons un bras de 8 cm entre axes.

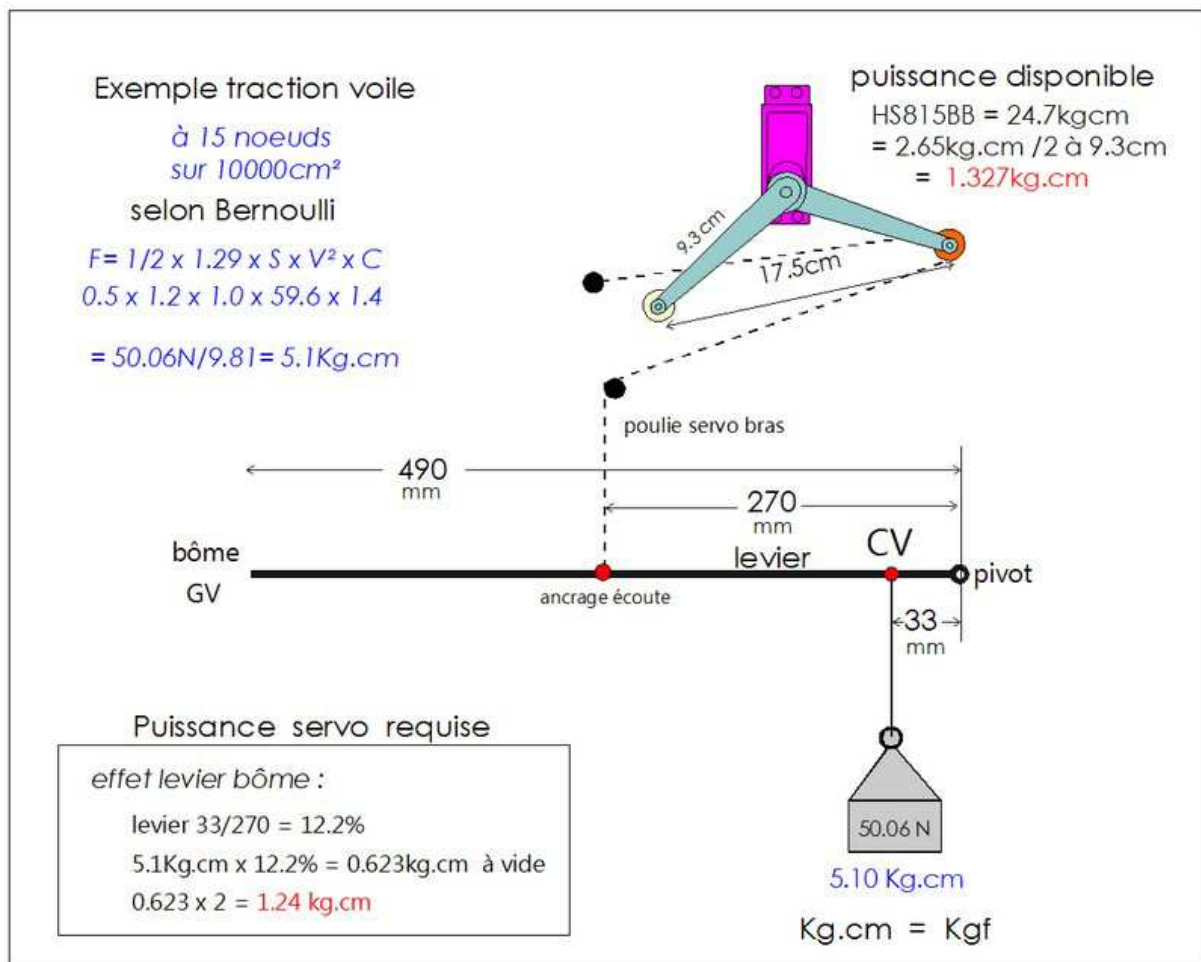
La puissance à vide sera donc de $24.7\text{kg.cm} / 8\text{cm} = 3.08\text{kg.cm}$

Comme on peut le noter on a déjà divisé par 8 la puissance initiale et cela n'est pas encore fini.

La puissance utilisable pour faire bouger le poids avec le Joystick il faudra la diviser encore par 2 :

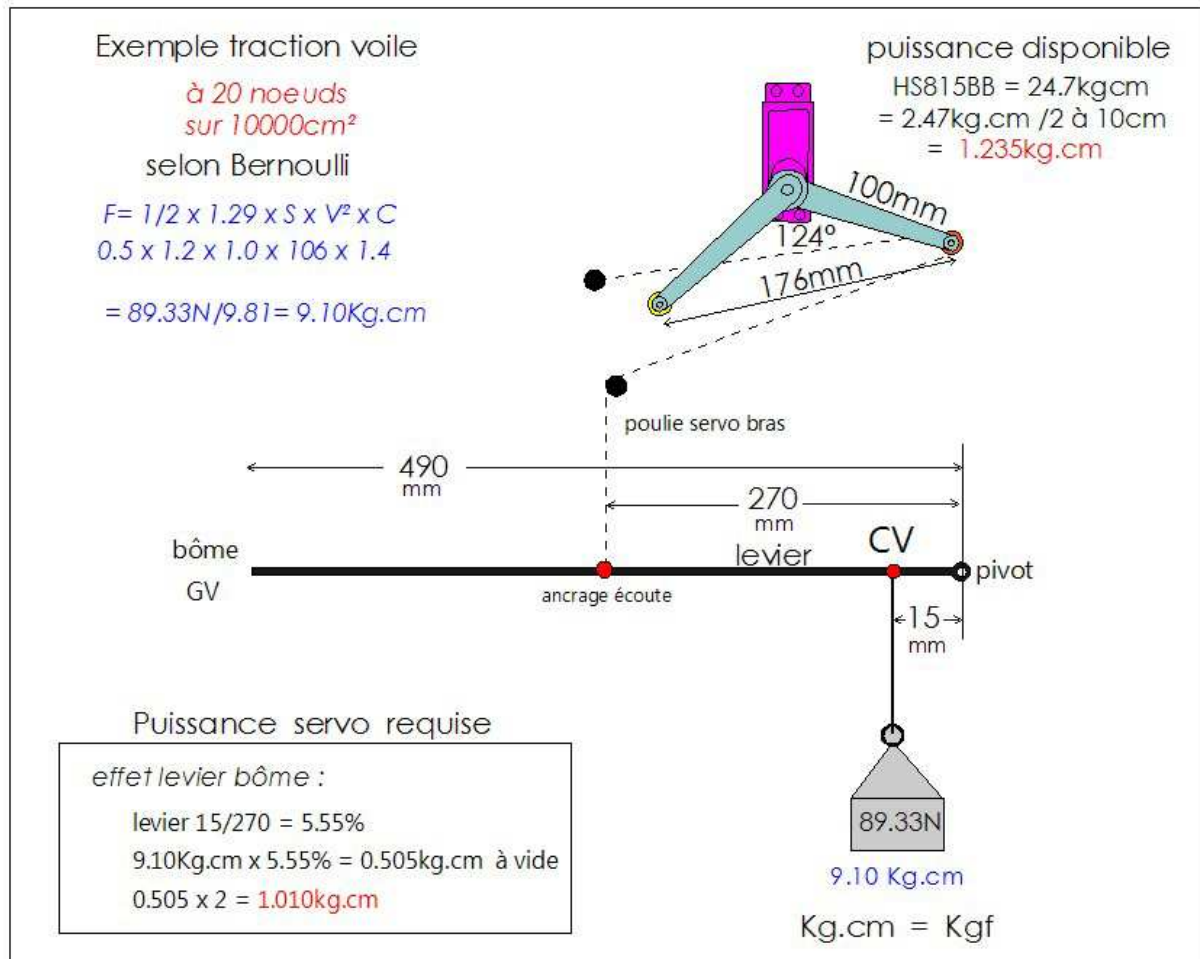
- $3.08\text{Kg.m} / 2 = 1.54\text{kg.cm}$ - ceci est la vraie puissance utilisable.
- De 24.7kg.cm de la spécification initiale ont est descendu à 1.54kg.cm

Une application pratique :



D'après les calculs simples du tableau on peut déduire que le Servo HS-815BB est juste pour 15noeuds, mais il ne sera pas assez puissant pour 18noeuds, sauf si on modifie le point d'accrochage de l'écoute ou/et on modifie la position du CV en modifiant le rapport GV -Foc.

Pour vérifier l'hypothèse précédente j'ai repris le même schéma. J'ai changé la longueur du bras de 93mm à 100mm et déplacé le CV de 33mm à 15mm à partir de la face arrière du mât. Le déplacement du CV est obtenu en changeant le rapport du Foc de 38% à 42%. La vitesse du vent considéré est maintenant de 20noeuds.



La force de traction de la superficie de voile de 1m² est de 9.10kgf.
Le rapport du levier avec le point d'accrochage et la position du CV et le pivot requiert une force bien plus faible de 1.010kg.cm
La puissance disponible réelle du servo avec 100mm de bras et un angle de 124° pour une longueur d'écoute de 176mm est de 1.235kg.cm

En résumé, pour une voile de 1m² et 20 Nd de vent :

- puissance requise 1.010kg.cm
- puissance disponible 1.235kg.cm

Le servo HS-815BB peut avoir un angle de travail de 140°, cela signifie que on a encore des petites marges pour modifier les paramètres décrits.

Je termine cette description en montrant des exemples de la force exercée par les voiles en fonction de la vitesse du vent et direction. La formule est toujours la même :

$$F = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^2 \times C$$

Exemple 1 : Près serré

Surface voile (GV + Foc) = 1m²

Vitesse du vent = 18 Nd ou 33.3 km/h ou 9.2m/s

$$0.5 \times 1.204 \times 1 \times 85.56 \times 1.4 = 72.10 \text{ Newtons} / 9.81 = 7.35 \text{ kgf}$$

Exemple 2 : Vent Arrière

Surface voile (GV + Foc) = 1m²

Vitesse du vent = 18 Nd ou 33.3 km/h ou 9.2m/s

$$0.5 \times 1.204 \times 1 \times 85.56 \times 0.9 = 46.35 \text{ Newtons} / 9.81 = 4.72 \text{ kgf}$$

On note donc que la force de traction produite par les Voiles GV+Foc avec 1 m² de surface et 18 nœuds de vent, passé de 7.35 kgf au Près Serré à 4.72 kgf au vent Arrière.

Avec 0.62m² de voiles (voir IOM) on aurait pour les mêmes conditions :

$$0.5 \times 1.204 \times 0.62 \times 85.56 \times 1.4 = 44.70 \text{ Newton} / 9.81 = 4.55 \text{ kgf} \text{ au Près Serré}$$

$$0.5 \times 1.204 \times 0.62 \times 85.56 \times 0.9 = 28.74 \text{ Newton} / 9.81 = 2.92 \text{ kgf} \text{ au Vent arrière}$$