

## **Historique des Bassins de carène**

Les tests en bassin de carènes ont été initiés dès la fin du 19ème siècle. L'histoire des bassins de carènes est intimement liée à celle de William Froude (1810-1879).



### **William Froude (1810-1879)**

En 1871, le 'Captain' un bi-hélice en acier, mal conçu coule dans le golfe de Gascogne entraînant vers la mort plus de 500 personnes. Froude est alors déterminé à formuler de manière fiable la résistance de l'eau sur les carènes, ainsi qu'à en prédire leur stabilité. La méthode de test qu'il propose permettra ainsi d'anticiper de telles erreurs de conception.

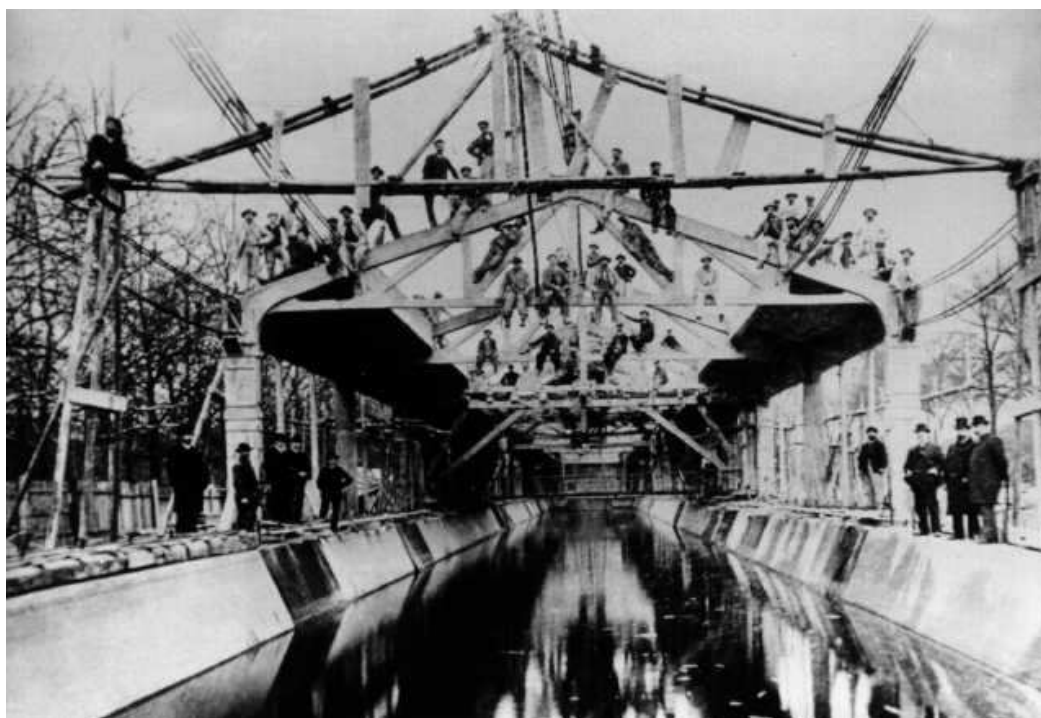
Suite à des expériences de traction de modèles de coques sur la rivière Dart en Angleterre, Un premier bassin des carènes est construit à Torquay.



*Chelston Cross Tank at Torquay Circa 1871*

Le premier essai au monde d'une maquette de bassin est une version miniature du HMS Greyhound en 1871. Le bateau navigua une année plus tard dans le Solent.

En France, le bassin B1, premier bassin des carènes Français a été construit en 1906, Boulevard Victor à Paris. Il mesurait alors 160 m de long, et était bien sur utilisé pour des applications civiles et militaires de gros navires.

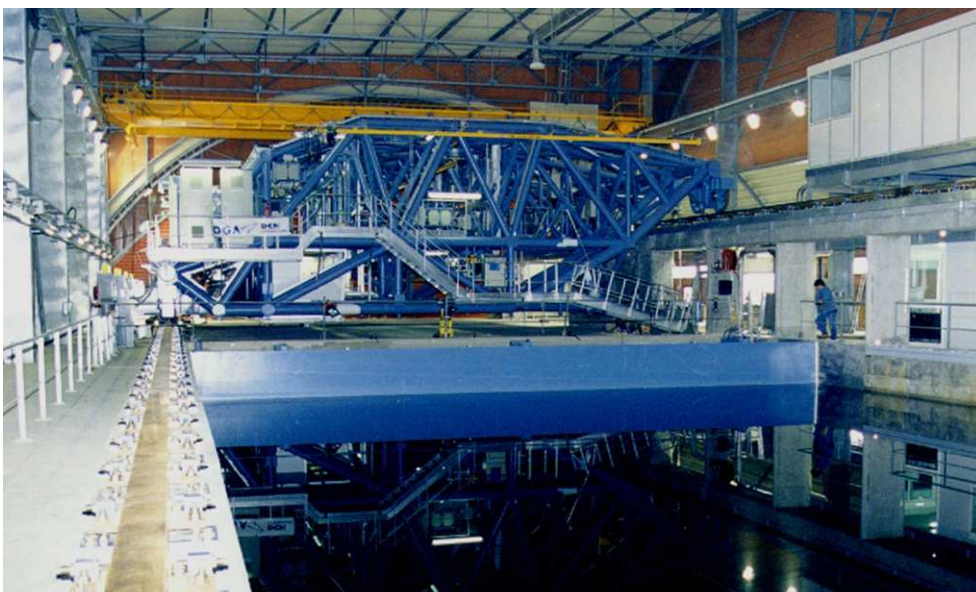


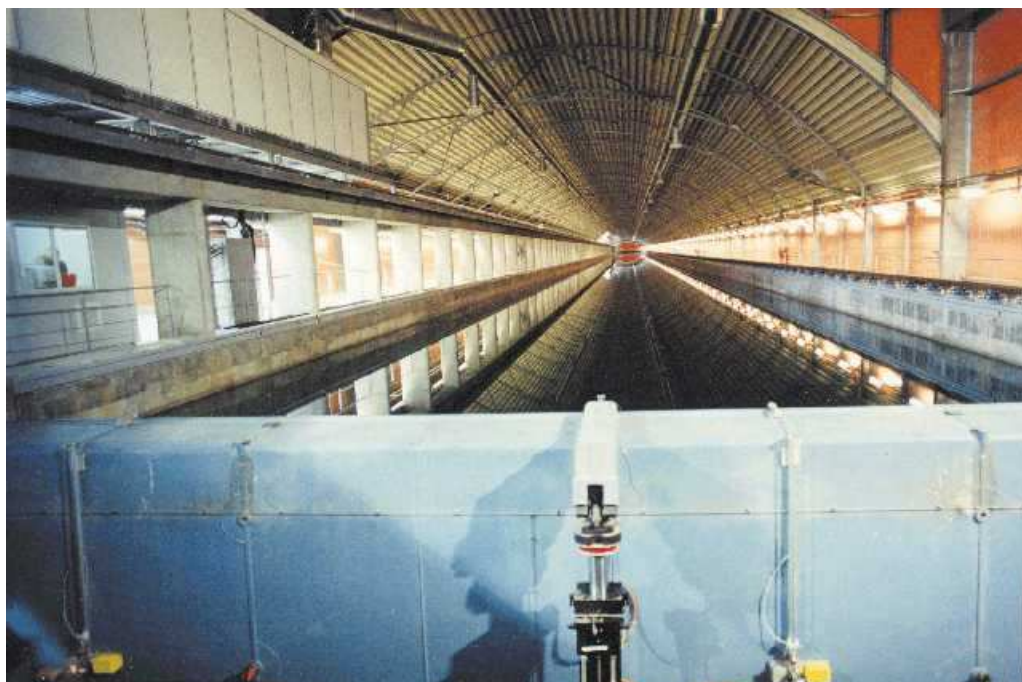


**Premier Bassin Français d'essais des carènes (DGA) construit en 1906 à Paris, boulevard Victor.**

En 1980, le Bassin d'essais des carènes du val de Reuil commence sa construction. C'est aujourd'hui le plus grand bassin Européen avec ses 545 m de long, 15m de large et 7m de fond et près de 60 000 m<sup>3</sup> d'eau. (Près d'un milliard de francs d'investissements depuis 1986). Une plate-forme de 120 tonnes circulant sur rails est capable de traîner des modèles jusqu'à 12m/s ! De plus on peut y générer une houle de plus de 1m.

**Bassin d'essais des carènes-B600-Val de Reuil**





### Bassin d'essais des carènes-B600-Val de Reuil

Le bassin de carène est donc une solution relativement peu coûteuse permettant de prédire la performance d'un bateau et ainsi d'éviter des erreurs architecturales irréversibles.

#### Prédire la performance.

La prédiction de vitesse d'un navire passe par l'étude du « **moteur** » (les voiles sur un voilier) qui s'équilibre parfaitement avec celle du « **frein** » constitué par la carène. L'architecte naval travaille donc principalement afin d'optimiser chacun de ces 2 paramètres.

Sur un voilier le lien entre le frein et le moteur est engendré par le couple de redressement du bateau. Ce couple de redressement permet au voilier de résister au couple de gîte induit par le gréement. Ce couple de redressement est donc dépendant de 3 facteurs principaux :

**La masse** du bateau avec la position de son centre de gravité, **la forme** de la carène (une carène large permet un plus grand couple de redressement), et le **couple dynamique** induit par la carène en avancement (une coque planant à la gîte produit un couple de redressement dynamique).

On comprend ainsi que la forme de coque ne peut être étudiée qu'en fonction d'une minimisation de sa traînée, car il faut aussi qu'elle soit capable de porter la voile (et donc avoir une certaine largeur, et un certain poids). On essaye donc de juger du prix à payer en traînée pour pouvoir porter la voile.

Evaluer la performance du bateau passe donc par l'étude complète de chacun de ces paramètres.

#### De quoi la résistance est elle composée ?

La résistance à l'avancement du bateau se scinde en **résistance de friction** due à la surface mouillée du bateau, celle des vagues, la résistance des vortex, celle des appendices et enfin la résistance aérodynamique. Chacun de ces composants varie de manière individuelle, et la résistance totale du bateau est donc la somme de ces entités séparées.

La somme des résistances de vague, de vortex et des appendices est plus généralement appelée **résistance résiduelle**.

La résistance de friction est assez facilement calculable (sauf pour les bateaux qui déjaugent au planning) et l'on se concentre donc à essayer de mesurer en bassin la résistance résiduelle. La méthode proposée par Froude permet de séparer chacune de ces entités afin de pouvoir les extrapoler sous forme de coefficients non dimensionnels.

**Plus précisément :**

La résistance de friction est due à l'adhérence d'une fine pellicule d'eau qui adhère à la surface de la coque et qui avance à la même vitesse que le bateau. Cependant à une certaine distance de la surface de coque l'eau est stationnaire. Entre ces deux extrêmes, un comportement complexe de mouvement de particules d'eau génère des forces dues à la différence de vitesse au sein même de cette zone. L'épaisseur de cette couche limite varie le long du bateau jusqu'à se casser en un point de séparation. Se forme ensuite une zone transitoire dans laquelle les particules d'eau prennent plus d'espace pour bouger, jusqu'à finalement devenir totalement décrochées et donc turbulent. Les molécules d'eau y sont excitées et agitées en tous sens. Des tourbillons (vortex) se forment donc en arrière du point de séparation.

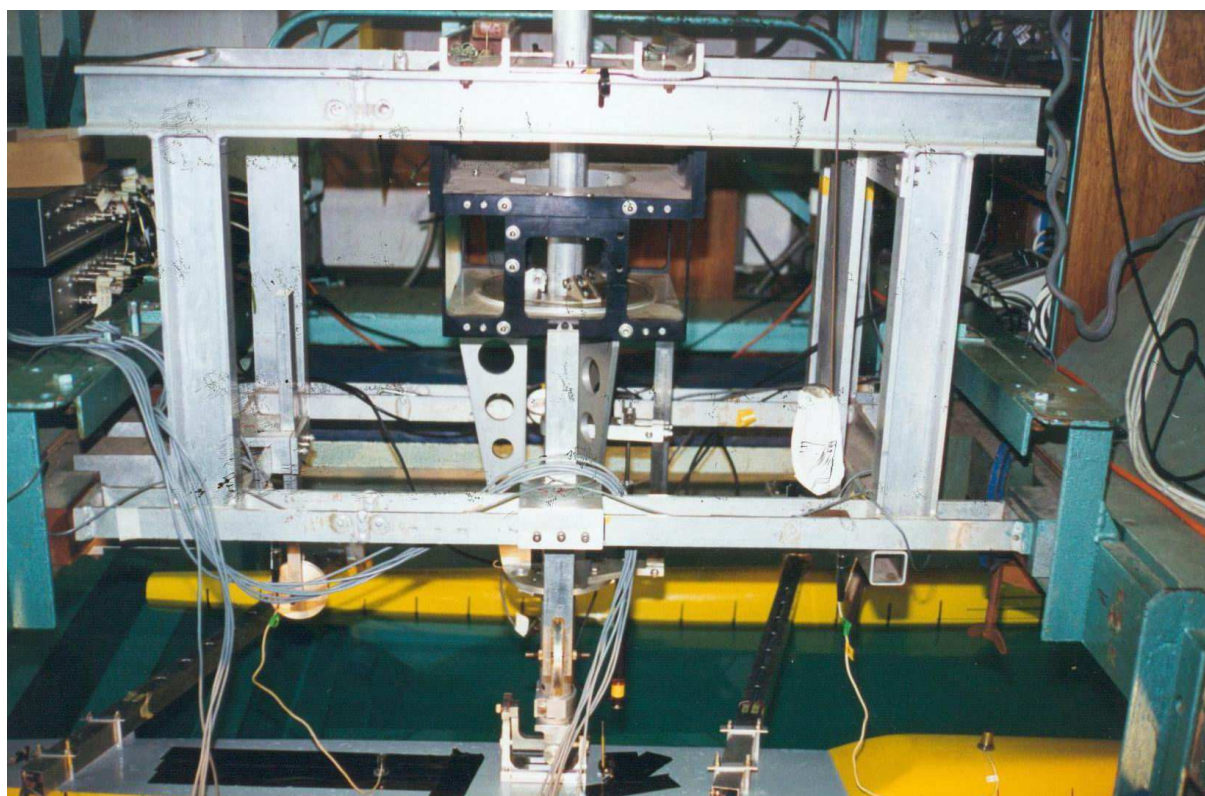
Aussi, lors de l'avancement du bateau dans l'eau, l'écoulement à l'étrave est ralenti, formant une haute pression, et donc une vague d'étrave. Puis en continuant vers l'arrière, l'écoulement s'accélère. Le flux associé crée une dépression de l'eau. Plus loin, l'eau est à nouveau ralentie formant une nouvelle vague. Similairement des vagues de tableau sont générées. Toutes ces vagues se déplacent à la vitesse du bateau et créent ainsi la résistance de vague.

Or l'énergie absorbée par la vague est proportionnelle au carré de sa hauteur, et généralement sa hauteur augmente avec la longueur des vagues (bien qu'il n'y ait pas de lien direct). Donc l'énergie causée par les vagues (et donc la résistance) accroît rapidement, et devient le facteur dominant à haute vitesse, surtout pour les monocoques.

D'autres facteurs de résistance s'ajoutent telle que la résistance induite par la portance de la coque, la résistance due à la gîte du bateau, et enfin celle des appendices.

**Comment procéder aux tests?**

Une maquette exacte à l'échelle est construite. On essaye de faire des maquettes suffisamment grandes pour minimiser les erreurs de mesure, et donc d'extrapolation à l'échelle réelle. La maquette est connectée à un tube de traction, lui-même attaché à la plate forme circulant sur rail, tout comme un train électrique. Ce tube de traction est connecté à une balance tridimensionnelle capable de mesurer les efforts dans chaque direction.

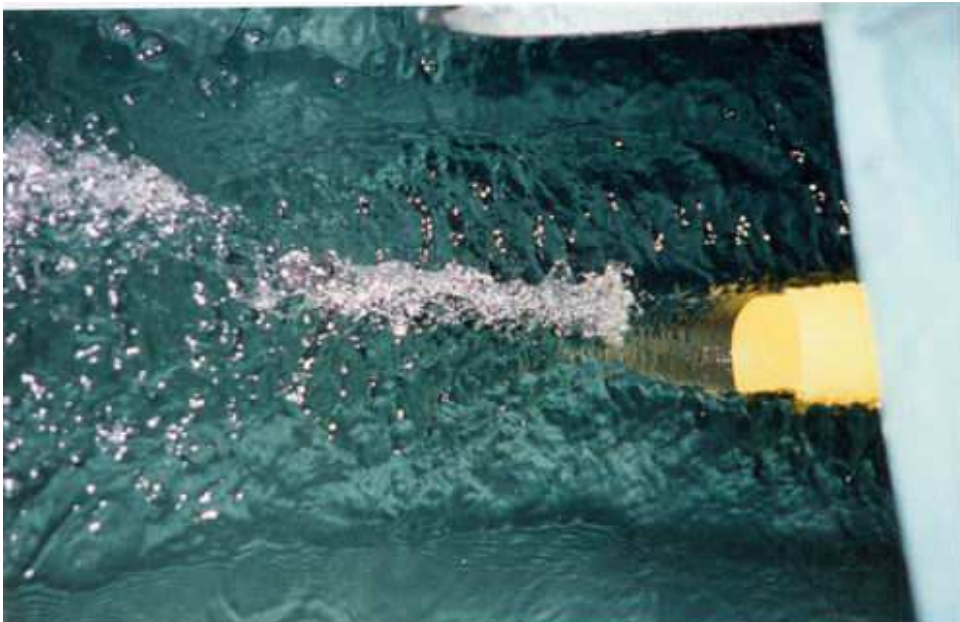


**Balance du Bassin de Southampton, tenant le tube de traction, permettant des mesures de forces, donc de trainée et portance.**

**Tests effectués par l'auteur mesurant la résistance et les efforts dynamiques subis par les bras du trimaran « Primagaz - design MVPVLP » dans un Spectrum de vague typique de l'atlantique nord. Bassin des carènes de Southampton.**



**2ème photo : On observe la trace laissée par le tableau arrière avec une traînée de vague successive.**



**3ème photo : Cas critique due à une période d'oscillation naturelle en tangage s'opposant à la fréquence des vagues. On a un enfournement sévère pour une période de vague de 4sec et une vitesse de 19nds.**



Avant chaque Run, on définit la vitesse d'avancement de cette plate forme. Un balance de mesure est alors capable de mesurer la traînée, les efforts latéraux (provoquée par la force anti dérive), ainsi que les mouvements verticaux (par exemple dus à un bateau qui déjauge au planning). La taille des bassins est un paramètre important puisque les mesures doivent s'établir à vitesse constante. Il faut donc exclure les mesures lors des phases d'accélération et de ralentissement de la plate forme.

La maquette est traînée à une vitesse précise permettant une extrapolation à l'échelle réelle des mesures enregistrées. A cette vitesse dite de correspondance, le système de vagues produit par la maquette est exactement le même que celui produit par le bateau réel.

**Typiquement, la procédure de test est la suivante:**

- Pesée de la maquette
- Positionnement du bateau sous la plate-forme à 0 degrés de gîte.
- Premiers Run de calage à basse vitesse permettant d'étalonner les jauges de contraintes (qui mesurent la résistance) et vérifier que les efforts sont symétriques (bâbord/tribord).
- Les Runs suivants se déroulent à très basse vitesse (donc sans vagues de carène) et permettent d'extraire un coefficient de traînée frictionnelle.
- Puis, dans un quatrième temps, on fixe une gîte et un angle de dérive au bateau. Cet angle de dérive (typiquement 2 à 3 degrés) va produire une force anti dérive qui doit correspondre parfaitement à la force de gîte due au gréement (donc au couple de redressement). C'est donc par itération que l'on tente d'établir un tableau représentant l'angle de dérive à donner à la maquette pour chaque vitesse et chaque angle de gîte choisi.

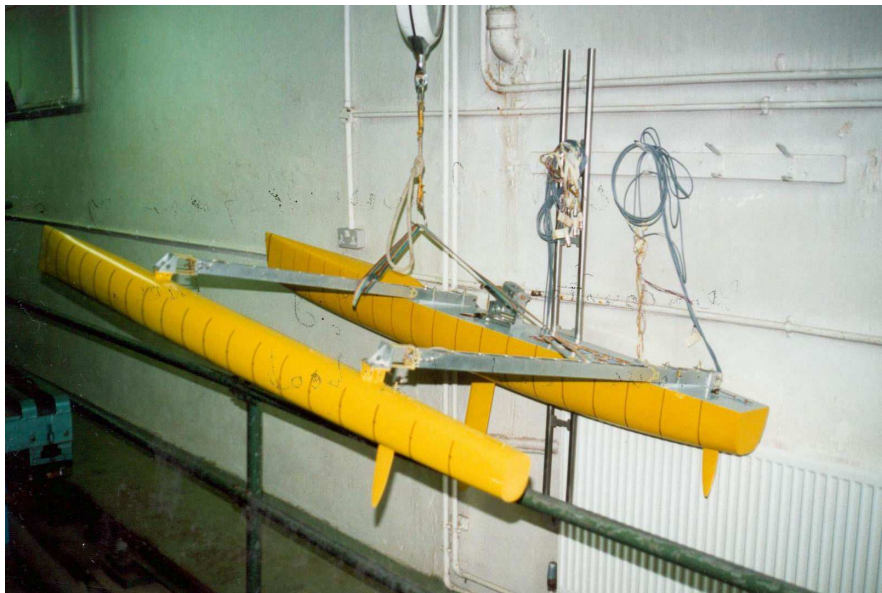
Bien sur, à chaque vitesse testée il nous faut en plus caler le bateau en assiette longitudinale afin de simuler l'effet de la poussée vélique qui tend à mettre le bateau sur le nez.

Certains bassins de carènes tels que le DMI (Danemark) tirent pour cette raison le bateau par le centre de poussée vélique.

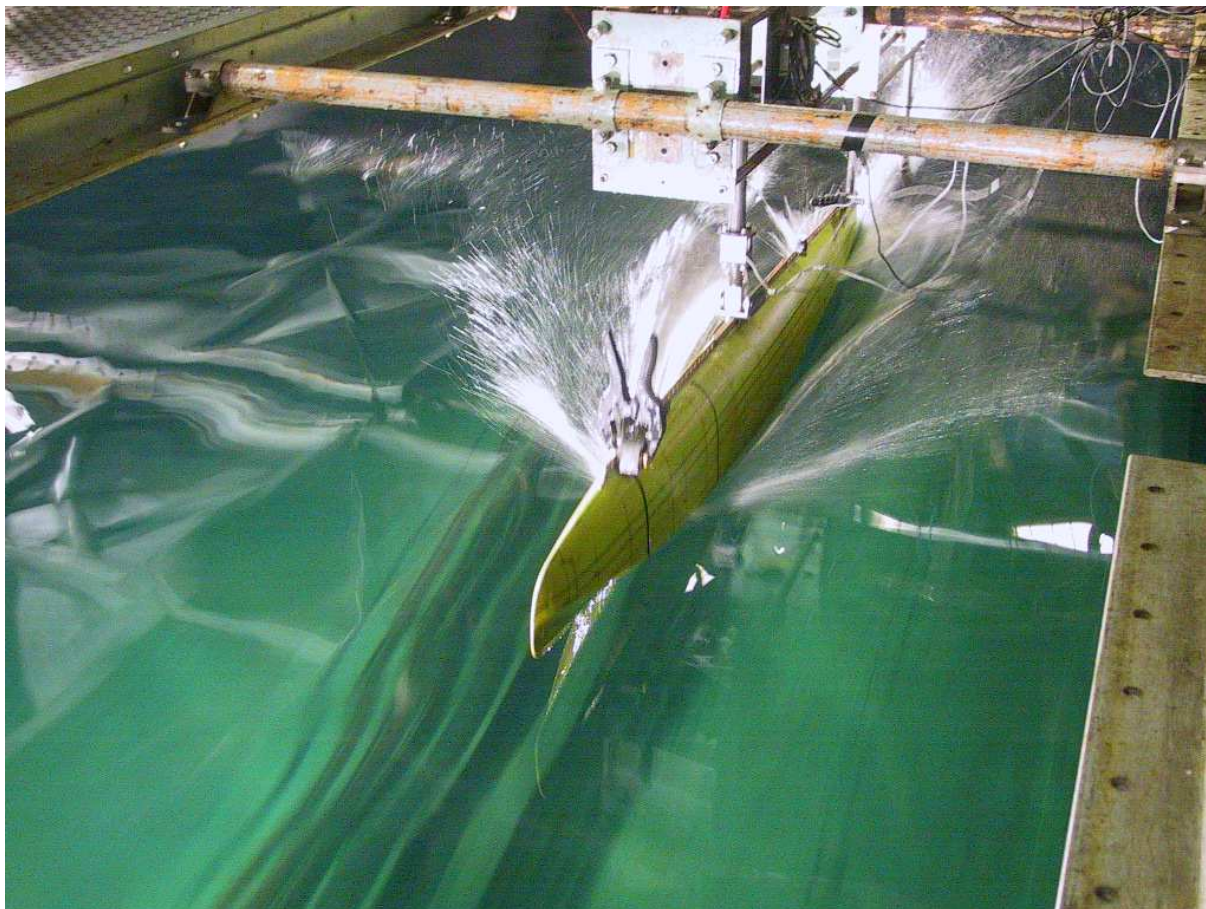
Ayant établi cette procédure, les tests peuvent commencer.

De la résistance calculée dans chaque condition on extrait des coefficients non dimensionnels.

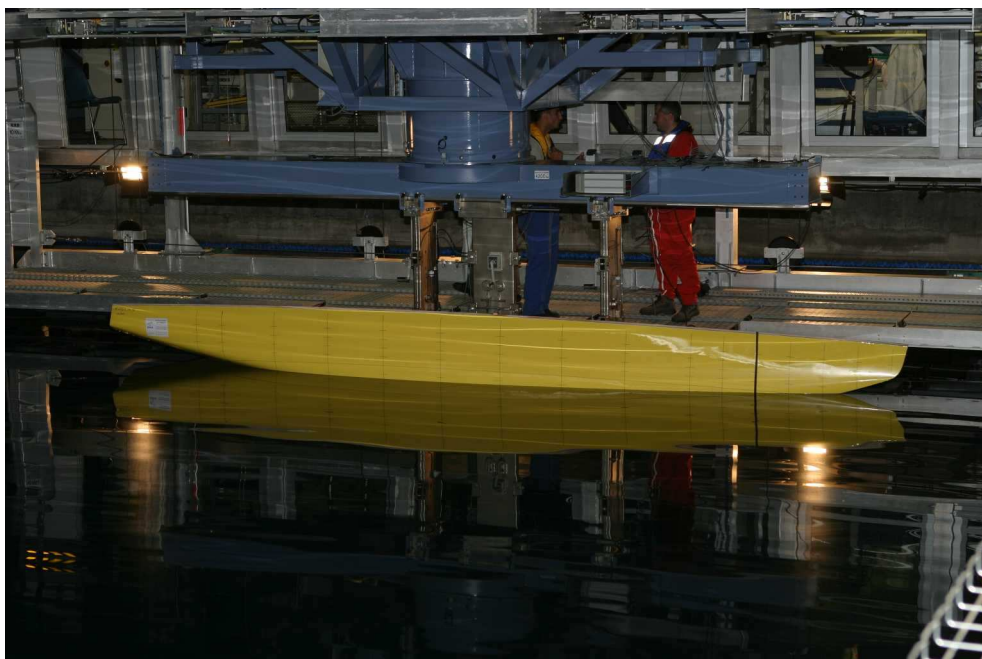
**Pesée de la maquette avant la mise à l'eau (photo de l'auteur)**







**Photo DGA- Test au planning de l'hydraplaneur « Médiatis Région Aquitaine » au bassin d'essai des carènes de la DGA, boulevard Victor. Une masse à l'étrave simule le moment piqueur induis par le gréement. Les tests de coques planantes exigent un calcul complexe de la surface mouillée dynamique.**



**Photo DGA : IACC**

Les tests en bassins des carènes offrent donc un outil formidable à l'architecte naval, lui permettant de peser les critères de résistances formant le frein du bateau. Ils permettent aussi de simuler les efforts en houle, et donc d'estimer les efforts de structure. Ces bassins sont aujourd'hui concurrencés par des bassins de carène numériques avec des codes de CFD (computational fluid dynamics) tels que ICARE (DGA) permettant de résoudre la fameuse mais non moins complexe équation de Navier Stokes en fluide réel, et d'y intégrer les effets d'interface eau-air avec la surface libre.

L'architecte doit finalement opérer à un assemblage de ces données grâce à un logiciel (Vélocity prédiction program) calculant un équilibre des forces et des moments entre le « frein » de la carène, et le « moteur » du gréement, en fonction des différents angles et forces de vent . On obtient finalement nos fameuses polaires théoriques de performance du bateau.

Nous travaillons ainsi au sein du design team de **K-Challenge** afin de faire corrélérer un modèle théorique avec des valeurs réelles enregistrées sur les bateaux existants. Cette juste corrélation permet d'utiliser ensuite un outil théorique précis permettant de développer une nouvelle géométrie de carène et d'appendices.

**Guillaume Verdier.**