



**HAL**  
open science

## Température et résistance à l'avancement

Alban Leroyer, Sophie Barré

► **To cite this version:**

| Alban Leroyer, Sophie Barré. Température et résistance à l'avancement. 2015. hal-04515689

**HAL Id: hal-04515689**

**<https://hal.science/hal-04515689>**

Submitted on 10 Apr 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

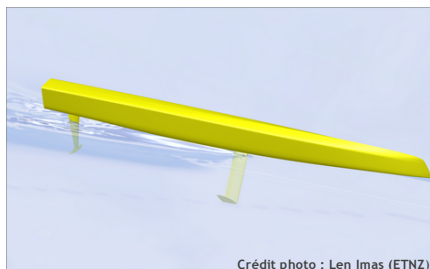
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Température et résistance à l'avancement

## Particularités de l'aviron

La résistance à l'avancement des bateaux d'aviron se distingue des autres navires par des caractéristiques géométriques spécifiques, mais aussi par un fonctionnement singulier, conséquence du mode de propulsion.

En effet, les carènes d'aviron possèdent un très grand élanement (rapport longueur/largeur) comparé aux navires classiques. On retrouve des géométries un peu similaires (avec un élanement toutefois moins prononcé) sur des flotteurs de catamarans et trimarans. Mais ces derniers ont actuellement tendance à ne plus rester dans l'eau, car soutenus par des foils. Voici par exemple la simulation d'un flotteur avec foil lors de la 34<sup>ème</sup> Coupe de l'America !



Crédit photo : Len Imas (ETNZ)

Cette caractéristique est très favorable au travail de modélisation, car l'écoulement à proximité immédiate de la paroi de la coque (appelé couche limite) va finalement être similaire à celui observé sur une plaque plane. Cependant, cela est sans compter sur le fonctionnement singulier de la propulsion par aviron dans lequel le rameur propulse de manière périodique son embarcation en se déplaçant par rapport à celle-ci, engendrant un fort mouvement de cavalemt (mouvement de translation dans le sens d'avance du bateau) et aussi des mouvements secondaires de tangage et de pilonnement.

Cette vitesse d'avance fluctuante autour d'une vitesse moyenne et ces mouvements secondaires sont des caractéristiques uniques dans le monde de l'hydrodynamique navale (que l'on retrouve dans une moindre mesure en canoë-kayak), et qui n'a pas fait l'objet de recherches scientifiques très poussées jusqu'à présent. En effet, celles-ci se sont essentiellement concentrées sur l'hydrodynamique des navires marchands et des voiliers de compétition.

Chercher à estimer l'influence de la température de l'eau sur les bateaux d'aviron est tout même envisageable. Pour cause, si la température agit sur les paramètres physiques de l'eau (essentiellement la viscosité), nous pouvons supposer que la cinématique ne

sera pas (ou très peu) affectée par une variation de température, de sorte que l'on va pouvoir par la suite ne s'intéresser qu'au mouvement moyen, caractérisé par une vitesse d'avance moyenne notée  $V_b$ .

## Principes généraux

L'analyse physique<sup>1</sup> des paramètres les plus influents sur la résistance à l'avancement  $R_t$  d'une coque lisse de forme et d'enfoncement donné permet d'écrire ce phénomène physique comme :

$$R_t = f(L_b, V_b, g, \mu, \rho)$$

$L_b$  : longueur mouillée de la coque

$V_b$  : vitesse du bateau

$g$  : accélération de la pesanteur

$\mu$  : viscosité dynamique

$\rho$  : masse volumique

Notez ici que la température ne fait pas partie des paramètres influents, car son action est indirecte via des variations de  $\rho$  (très faible donc négligeable) et de  $\mu$  (à prendre en considération).

L'analyse dimensionnelle<sup>2</sup> permet alors d'écrire sans hypothèse supplémentaire que :

$$R_t = C_t(Re, Fr) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_w \cdot V_b^2$$

avec  $Re = \frac{\rho V_b L_b}{\mu}$  et  $Fr = \frac{V_b}{\sqrt{g \cdot L_b}}$   $S_w$  : surface mouillée du bateau

Les nombres de Reynolds (Re) et Froude (Fr) sont les deux paramètres de similitude adimensionnels qui caractérisent complètement la physique de l'écoulement autour d'une carène avançant à vitesse constante : à même Re et même Fr, même topologie d'écoulement (quelle que soit la taille de la coque considérée). En faisant varier la température, on fait varier la viscosité  $\mu$ , le nombre de Reynolds et ainsi la résistance à l'avancement.

<sup>1</sup> Cette analyse nécessite de bien maîtriser le phénomène physique pour ne pas oublier de paramètres influents. On pourrait ajouter à cela l'âge du capitaine par exemple, mais on s'apercevrait au fil des expériences que ce paramètre n'a pas d'effet sur  $R_t$  !

<sup>2</sup> L'analyse dimensionnelle est très utile pour réduire une équation physique à un nombre minimal de paramètres adimensionnels formés à partir des paramètres initiaux. Les paramètres adimensionnels sont des nombres caractéristiques sans unités qui décrivent le phénomène physique.

Cette résistance à l'avancement  $R_t$  est classiquement décomposée en une résistance visqueuse  $R_v$  et une résistance de vagues  $R_w$  de la forme suivante<sup>3</sup> :

$$R_v = C_v(Re) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_w \cdot V_b^2$$

$$R_w = C_w(Fr) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_w \cdot V_b^2$$

## Évolution de la résistance en fonction de la température

Pour un skiff allant à une vitesse moyenne de 4.8 m/s à une température de 15°C, la résistance à l'avancement estimée est de 71 N. Les caractéristiques du bateau (longueur et surface mouillées, coefficient de forme, etc.) nécessaires au calcul de la résistance sont issues pour cet exemple de calculs numériques et d'essais en bassin des carènes.

Le tableau ci-dessous représente l'évolution en pourcentage de la résistance en fonction de la température par rapport à la configuration à 15°C :

T (°C)	% Résistance
5	+ 4.4
10	+ 2.2
15	+0
20	-2
25	-3.6
30	-5

Nous constatons par le calcul une diminution de la résistance à l'avancement avec l'augmentation de la température, ce qui corrobore les différences chronométriques mesurées et observées sur le terrain. Plus l'eau est froide et plus la résistance est élevée !

## Évolution de la vitesse en fonction de la température pour une puissance donnée

À partir de l'exemple précédent, nous pouvons estimer une puissance que nous considérons comme la puissance de référence (à 15°C).

À puissance constante, nous calculons l'influence de la température sur la vitesse du bateau.

Il est à noter que ce calcul n'est qu'une estimation et ne prend en compte aucun autre facteur, comme par exemple l'influence des conditions météorologiques sur les aspects physiologiques, etc.

Tout étant égal par ailleurs, et à puissance constante, nous avons calculé la vitesse obtenue quand la température varie. Dans le tableau suivant, nous présentons, l'évolution de la vitesse exprimée en pourcentage, la variation de distance en mètres par rapport au temps calculé pour une eau à 15°C et le temps au 500 m obtenu avec la variation de température.

Nous constatons que la distance varie de 10 à 14 m pour une variation de température de 5°C.

T (°C)	% Vitesse	Distance (en mètres)	Temps au 500 (en s)
5	-1.4	-28	01:45.6
10	-0.7	-14	01:44.8
15	0.0	0	01:44.1
20	0.6	13	01:43.5
25	1.2	24	01:42.9
30	1.7	34	01:42.4

## Pour conclure

Nous avons voulu mettre en évidence un phénomène bien connu du terrain qui est l'influence de la température de l'eau sur les temps de course.

Néanmoins cette analyse ne porte que sur la résistance à l'avancement des bateaux sans tenir compte des autres paramètres de la performance qui pourraient être modifiés par la température. Par exemple, on peut supposer qu'il y ait une corrélation entre la température de l'eau et celle de l'air, etc.

Toutefois, l'entraîneur d'aviron a tout intérêt à mesurer systématiquement la température de l'eau lorsqu'il souhaite comparer la performance d'équipages lors de séquences d'entraînement standardisées notamment dans la préparation des compétitions (B3, B4, B5, Handicap). La profondeur de la mesure est importante : il convient de placer la sonde ou le thermomètre au 2/3 du tirant d'eau.



Certains appareils sophistiqués mesurent le vent mais aussi la température de l'air et de l'eau (pour peu qu'on les immerge). Il est aussi parfaitement possible et beaucoup moins onéreux d'utiliser un thermomètre classique d'eau de bain.

<sup>3</sup> Cette décomposition connue sous le nom d'hypothèse de Froude, est très bien validée pour les bateaux classiques à déplacement, comme c'est le cas pour les bateaux d'aviron