



HAL
open science

Influence de la salinité de l'eau

Alban Leroyer, Sophie Barré

► **To cite this version:**

| Alban Leroyer, Sophie Barré. Influence de la salinité de l'eau. 2016. hal-04515696

HAL Id: hal-04515696

<https://hal.science/hal-04515696v1>

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.



Influence de la salinité de l'eau

Préambule

Lors d'un précédent article, nous avons présenté l'influence de la température de l'eau sur la résistance à l'avancement. Cette nouvelle étude liée à la salinité s'inscrit dans la même problématique. Nous ne revenons donc pas sur l'ensemble des hypothèses et la démarche globale de modélisation décrite dans la note « Température et résistance à l'avancement » qui a permis d'obtenir les tendances concernant l'influence de la température, mais nous rappelons ici quelques éléments qui permettent de mieux appréhender les phénomènes mis en jeu.

L'analyse physique des paramètres les plus influents sur la résistance à l'avancement R_t d'une coque lisse de forme et d'enfoncement donnés permet d'exprimer ce phénomène physique par la relation suivante :

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

L_b : longueur mouillée de la coque
 V_b : vitesse du bateau
 g : accélération de la pesanteur
 μ : viscosité dynamique de l'eau
 ρ : masse volumique de l'eau

La salinité comme la température de l'eau n'est pas considérée comme un paramètre d'influence directe de la résistance à l'avancement mais comme un facteur agissant sur cette résistance via une modification des caractéristiques physiques de l'eau, à savoir la masse volumique ρ ¹ et la viscosité μ .

La résistance à l'avancement R_t est classiquement décomposée² en une résistance visqueuse R_v et une résistance de vagues R_w de la forme suivante³ :

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

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

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

Contrairement à la température qui affecte principalement la viscosité μ , la salinité affecte aussi la

masse volumique ρ , ce qui modifie la surface mouillée en plus du nombre de Reynolds (Re).

Évolution de la résistance en fonction de la salinité

Cette étude est réalisée pour un skiff (Filippi F14) allant à la vitesse moyenne de 4,8 m/s et la température nominale de l'eau est prise à 15 °C.

Avec la géométrie du bateau et une masse d'embarcation de 94 kg (bateau + rameur), on peut obtenir, à l'aide d'un outil dédié à l'hydrostatique, la surface mouillée pour différentes configurations en utilisant les caractéristiques physiques de l'eau. Toutes ces données sont répertoriées dans le tableau 1.

Température	15 °C	15 °C
Salinité	0	35
Masse volumique ρ	999,1 kg.m ⁻³	1026 kg.m ⁻³
Viscosité dynamique μ	1,138 ^{e-3} Pa.s	1,22 ^{e-3} Pa.s
Surface mouillée	2,069 m ²	2,042 m ²

Tableau 1 : Évolution des caractéristiques physiques de l'eau et de la surface mouillée hydrostatique en fonction de la salinité

On peut alors en déduire le tableau 2 qui établit le pourcentage de la résistance à l'avancement entre une eau non salée et une eau de salinité $S=35$ ⁴ et le tableau 3 qui présente la variation de vitesse à puissance constante en fonction de la salinité. Il est à noter que la salinité s'exprime normalement sans unité comme le pH. Avec cette modélisation simplifiée, on obtient une augmentation de la résistance à l'avancement de 1,99%.

Pour compléter ces résultats, des simulations numériques ont aussi été réalisées sur ces configurations, en utilisant le logiciel de CFD (Computational Fluid Dynamics) ISIS-CFD⁵ développé au LHEEA, qui résout les équations de Navier-Stokes régissant le mouvement des fluides (voir figure ci-après).

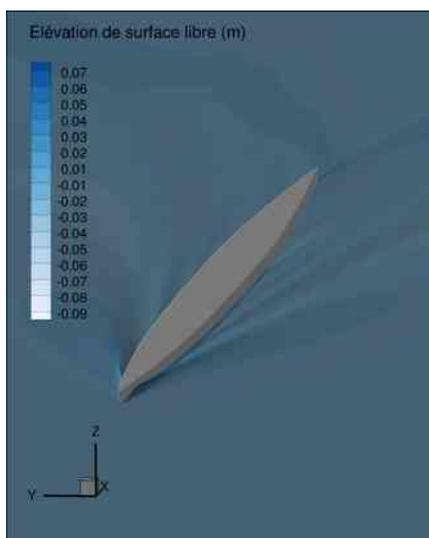
⁴ La salinité moyenne des océans est de 35 et reste généralement comprise entre 30 (Atlantique nord) et 40 (mer Rouge).

⁵ Depuis une dizaine d'années, ce code de calcul, intégré dans la suite logiciel FINE™/Marine est valorisé à travers le monde par la société Numéca Int. Il comporte actuellement plus d'une centaine d'utilisateurs, parmi lesquelles des équipes de la Coupe de l'Amérique.

¹ Négligeable dans le cas de la température

² Cf note « Température et résistance à l'avancement »

³ 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



Ces simulations donnent une augmentation de la résistance à l'avancement de 1,86 % ce qui confirme la tendance obtenue par la modélisation simplifiée utilisée précédemment.

Température	15 °C	15 °C
Salinité	0	35
Variation de résistance (modèle)	0	1,99 %
Variation de résistance (calculs CFD)	0	1,86 %

Tableau 2 : Variation de résistance en fonction de la salinité à vitesse imposée

Température	15 °C	15 °C
Salinité	0	35
Variation de vitesse (modèle)	0	- 0,69 %
Variation du temps au 500 m	0	0,72 s

Tableau 3 : Variation de la vitesse à puissance constante en fonction de la salinité

Pour conclure

L'influence de la salinité de l'eau est un phénomène moins connu du terrain que l'influence de la température de l'eau.

Dans la perspective des Jeux Olympiques de Rio (en hiver pour l'hémisphère Sud), les températures de l'eau ne seront a priori pas très différentes de celles rencontrées sur les bassins en Europe en période de compétition. Par contre, l'effet de la salinité, qui a tendance à augmenter la résistance, ne permettra certainement pas, toutes choses égales par ailleurs, d'affoler les chronomètres. Mais il est probable que les rameurs ressentent des appuis un peu plus lourds au niveau des palettes, dus à la densité supérieure de l'eau.

Une petite phase d'adaptation pourrait être nécessaire, mais une modification des réglages semble difficilement justifiable.

À noter également que dans l'eau salée, le bateau sera moins enfoncé dans l'eau du fait de l'augmentation de la densité de l'eau. L'utilisation de l'outil numérique dédié à l'hydrostatique montre que le décalage vertical noté Δe sera de l'ordre de 1,6 mm pour le cas étudié ici.

En terme de modification de position verticale, cela reviendrait à alléger le bateau de 2,4 kg dans de l'eau non salée, ce qui revient grosso modo en termes de comparaison à enlever une tenue d'hiver et une bouteille d'eau. Cette équivalence est peut-être plus parlante. Dans tous les cas, cette variation limitée de position sera sans grande conséquence au niveau des rameurs.

Remarque : généralisation à l'ensemble des embarcations

Si on note M la masse totale de l'embarcation et V_{3} le volume immergé, on a l'équilibre hydrostatique :

$$M \cdot g = \rho \cdot V_{\text{3}}$$

En différenciant, on peut montrer que la modification d'enfoncement Δe (positive pour un déplacement du bateau vers le haut par rapport à la surface libre) engendrée par une modification de densité :

$$\Delta \rho = \rho - \rho_{\text{initial}}$$

se traduit par la relation suivante :

$$\Delta e = \frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot \frac{V_{\text{3}}}{S_f}$$

où V_{3} est le volume immergé et S_f la surface de flottaison (water plane area).

En supposant une similitude totale (forme et enfoncement) des différentes embarcations en aviron, le ratio V_{3}/S_f est alors simplement proportionnel à la longueur du bateau ($V_{\text{3}}/S_f = K \cdot L_b$ avec K constant et L_b longueur mouillée du bateau).

On en déduit que plus l'embarcation est longue, plus la variation d'enfoncement sera importante. Ainsi, pour un quatre environ 1,5 plus long qu'un skiff, la variation d'enfoncement serait de 2,4 mm entre une eau non salée et salée.

Sur cette dernière illustration, la tendance est plus à retenir que la valeur en elle-même, car l'hypothèse de similitude totale revient à supposer quel que soit le bateau considéré (skiff, double, quatre, huit), les coques sont homothétiques et le ratio M/L_b^3 reste constant, ce qui reste des approximations assez grossières en pratique.