

Développement et Optimisation d'un Modèle CFD Hybride Multiphasique avec Maillage Dynamique

Superviseur
Mathieu ORZALES

Présentateur
Obéd SABA

Université de Strasbourg
August 29, 2024

Table of Contents

- ① Introduction
- ② Equations de Navier-Stokes
- ③ Modèles Hybrides
- ④ Implémentation du Modèle SBES
 - Résultats
- ⑤ Implémentation de l'AMR 2D
 - Résultats
- ⑥ Conclusion et Perspectives

Contexte et Objectifs



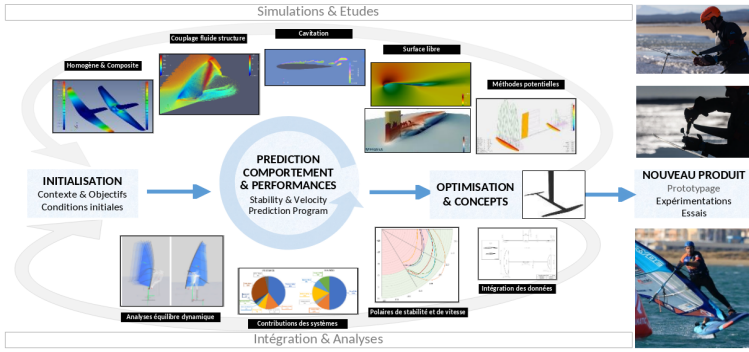
AMÉLIORATION DES PERFORMANCES NAUTIQUES

- Compréhension des phénomènes naturels et optimisation pour le transport maritime.
- Le projet HYDROVOL : jumeaux numériques pour optimiser propulsion vélique et hydrofoils.
- Modélisation simultanée des écoulements aéro et hydrodynamiques.
- Résultats : forte amélioration des performances, optimisation dès le premier prototype.

Projet HYDROVOL

HYDROVOL : De l'Idée au Produit

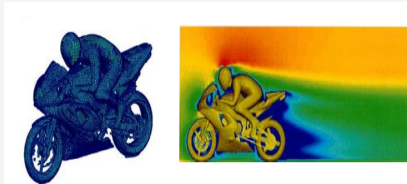
Une approche novatrice, exhaustive et efficiente



Projet HYDROVOL

CFD

CFD ??



Simulation CFD.



C. Navier, 1823.



G. Stokes, 1845.



O. Reynolds, 1883.



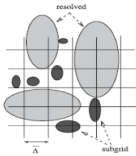
L. Prandtl, 1904.

Quelques points importants :

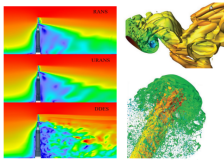
- La CFD est cruciale pour la modélisation des écoulements fluides.
- Utilisation dans la prévision des comportements aérodynamiques.
- Outil essentiel pour l'optimisation des designs industriels.

Turbulence en CFD

(a) Espace physique (domaine de calcul)



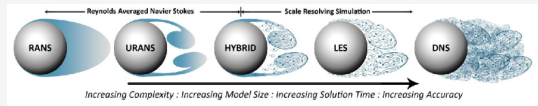
Echelle de Turbulence



Simulation avec différentes méthodes

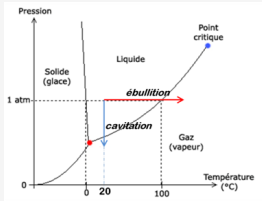
Stratégie	Empirisme	Instationnaire	Maillage	Pas de temps	Disponibilité
RANS	Fort	Non	10^7	10^3	1990
Hybride	Fort	Oui	10^8	10^4	2000
LES	Faible	Oui	$10^{11.5}$	$10^{6.7}$	2045
DNS	Aucun	Oui	10^{16}	$10^{7.7}$	2080

Table: Comparaison des Méthodes de Turbulence

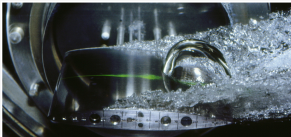


Comparaison des Méthodes de Simulation de la Turbulence

Cavitation en CFD



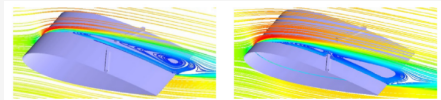
Echelle de Phases



Cavitation

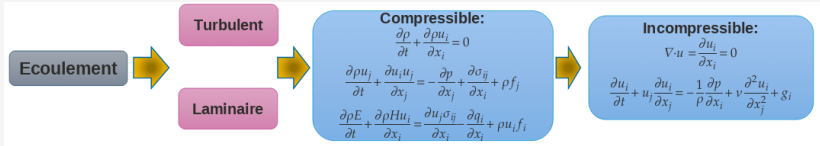
Quelques points à savoir

- La cavitation nuit aux performances des engins nautiques.
- Elle endommage les profils portant
- Perte de décrochage
- La simulation CFD est essentielle pour la prédire.
- L'optimisation des designs via CFD peut l'éviter.



Cavitation sur un profil

Equations de Navier-Stokes

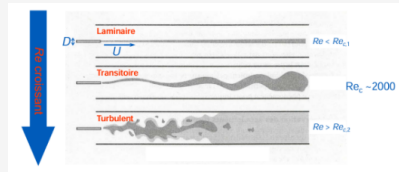


Equations de Navier-Stokes

Nombre de Reynolds

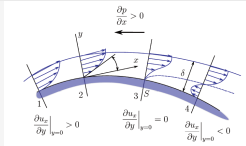
$$Re = \frac{UD}{\nu}$$

- U : Vitesse caractéristique.
- D : Longueur caractéristique.
- ν : Viscosité cinématique.

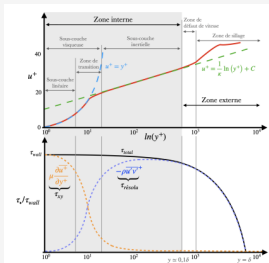


Nombre de Reynolds

Couches Limites



Echelle de Phases.



Couche Limite.

$$y^+ = \frac{u_\tau \times y}{\nu}$$

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_\omega}{\rho}}$$

$$u^+ = \frac{u}{u_\tau}$$

- y^+ : Distance adimensionnelle.
- u_τ : Vitesse de frottement.
- u^+ : Vitesse adimensionnelle.
- τ_ω : Contrainte de frottement.
- y : Distance de la paroi.

Modèles Hybrides

Modèle	Description
DDES	Compatible avec tous les modèles RANS basés sur la viscosité turbulente.
IDDES	S'adapte automatiquement entre DDES et WMLES, sans réglage manuel.
SBES	Permet un changement fluide entre RANS et LES.
HTLES	Utilise une approche dynamique pour passer entre RANS et LES.
DES	Combine RANS pour les grandes échelles et LES pour les petites, mais sensible à la grille.

Quelle méthode Choisir ???

RANS	Hybride
+ Bonne prédiction des forces moyennes sur le corps - Les fluctuations temporelles sont perdues + Coût de calcul faible	+ Bonne prédiction des forces moyennes et instantanées sur le corps + Les fluctuations temporelles sont conservées - Coût de calcul élevé

Implémentation du Modèle SBES

Modèle basé sur la viscosité

$$\nu_t = f_s \nu^{RANS} + (1 - f_s) \nu^{LES}$$

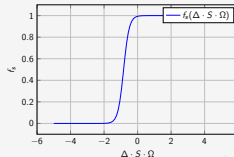
Principes de f_s

- Blindage asymptotique.
- Transition douce et rapide entre RANS et LES.
- Fonctionnement en mode WMLES (Wall-Modeled LES).
- Combinaison de tous les modèles RANS et LES.
- Robustesse et stabilité.

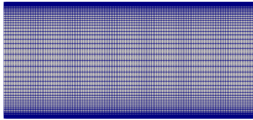
Fonction de blending

$$f_s = \frac{1}{1 + e^{A(\Delta \cdot S \cdot \Omega) - BQ - C}}$$

- Δ : Distance de la paroi.
- S : Taux de déformation.
- Ω : Vorticité.
- A, B et C : Constantes.

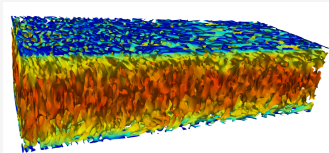


Résultats

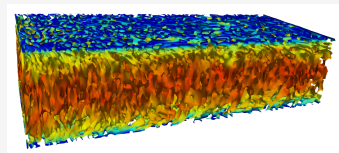


Maillage Initial.

- Nombre de Reynolds: $Re = 395$.
- Modèle de turbulence: SBES et IDDES.
- Maillage : 600 000 cellules.

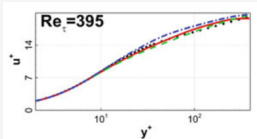


SBES Q-Criterion



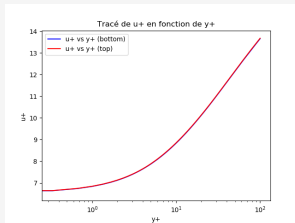
IDDES Q-Criterion

Post-Traitement

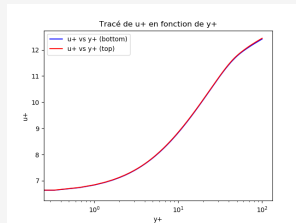


- Nombre de Reynolds: $Re = 395$.
- Modèle de turbulence: SBES et IDDES.
- Maillage : 600 000 cellules.

Profil de vitesse moyenne



Pour SBES



Pour IDDES

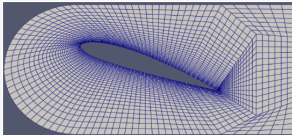
Implémentation de l'AMR 2D

● Raffinement

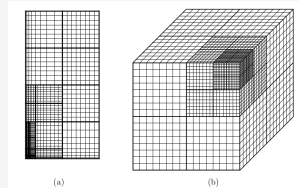
- Division initiale du maillage en cellules.
- Évaluation des cellules selon des critères prédéfinis.
- Subdivision des cellules pour affiner localement.

● Déraffinement

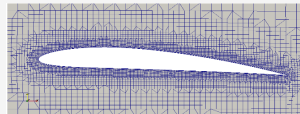
- Fusion des cellules où le raffinement n'est plus nécessaire.



Structure AMR.



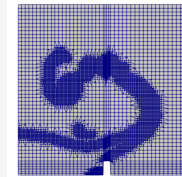
Adaptative Mesh Refinement.



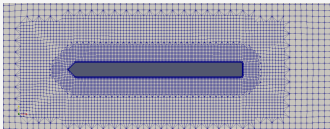
Non-Structure AMR.

Résultats

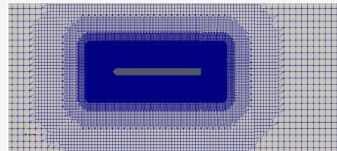
- Maillage initial AMR: 14 771
- Maillage sans AMR : 227 893



Test sur barrage

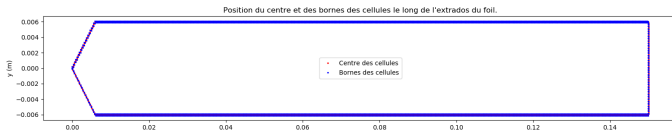


Avec AMR

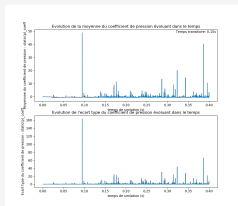


Sans AMR

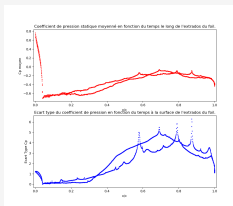
Post-Traitement



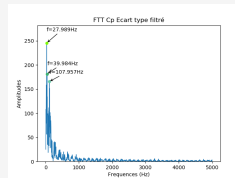
Foil



Evolution Coefficient de pression



Coefficient de pression



Frequence

Conclusion et Perspectives

- Développer la fonction de Blendage



Question ???