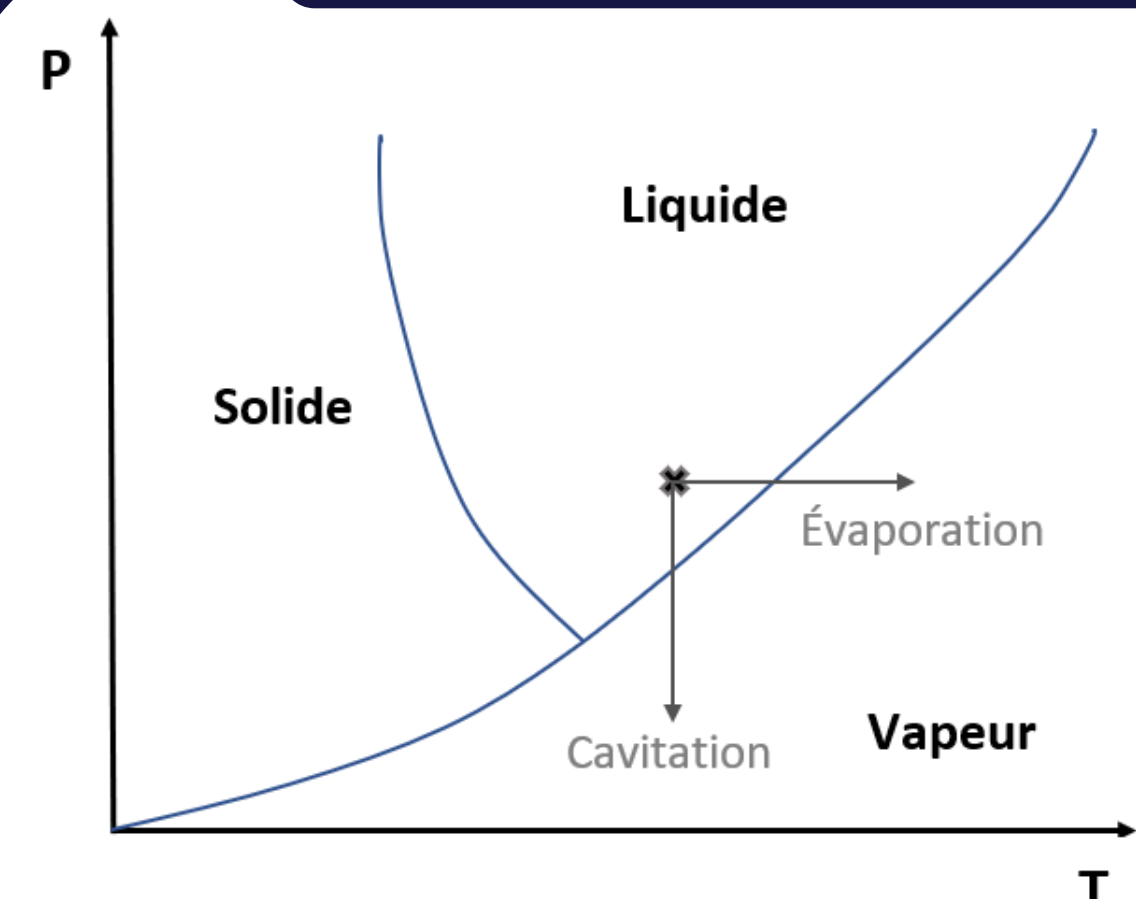


MISE EN CONTEXTE



La cavitation apparaît lors d'un **changement de phase** de l'eau causé par une chute de pression, sans changement de température. Lorsque la pression passe sous la pression de vapeur saturante, l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux.

Les **poches** formées par les **bulles de cavitation** ont un **pouvoir érosif** lié à leur implosion. Le phénomène remet en cause le bon fonctionnement des **machines hydrauliques** par exemple. Mieux l'appréhender permettrait donc des **avancées techniques, écologiques et économiques**.

OBJECTIFS

Implémenter, dans **CFX**, un **modèle de prédiction de l'érosion de cavitation** qui permettra de :

- **localiser** les zones les plus atteintes par le phénomène
- **quantifier** l'intensité de l'érosion

NOMENCLATURE

URANS : Unsteady Reynolds Averaged Navier Stokes

p : pression
 p_{sat} : pression de saturation
 C_p : coefficient de pression
 u : vitesse de l'écoulement
 u_i : vitesse de l'interface liquide-vapeur
 n_i : normale à l'interface
 ρ_v : masse volumique phase vapeur
 ρ_g : masse volumique phase gazeuse
 ρ_m : masse volumique du mélange
 α : taux de vide (fraction de vapeur)
 σ : nombre de Thoma
 e : énergie interne

T : température
 k : conductivité thermique
 q : terme source
 g : accélération de la pesanteur
 c : corde du profil
 X : abscisse du point de mesure de pression
 $\Delta(\frac{x}{c})$: distance adimensionnelle entre deux X
 i : fait référence à une cellule fluide
 j : fait référence à une cellule solide
 t : temps
 Δt : pas de temps
 ψ : puissance volumique de cavitation
 χ : fraction de ψ qui atteindra la surface solide

MÉTHODE PROPOSÉE

- Simulations URANS pour écoulement cavitant : $\sigma = 1$**
Monophasique stationnaire, puis diphasique stationnaire puis diphasique instationnaire
- Calcul de $\psi(i,t)$, puissance volumique de cavitation dans le modèle de Leclercq**
Grandeur dépendante du modèle d'érosion choisi
- Calcul de $\chi(j,t)$, fraction de $\psi(i,t)$ qui atteindra la surface solide**
Calculé grâce à la méthode de l'angle solide
- Accumulation de χ sur tous les pas de temps et pour chaque point solide**
- Calcul du coefficient caractérisant l'intensité de l'érosion**
Coefficient dépendant de χ

ÉQUATIONS DE NAVIER STOKES EN DIPHASIQUE

Les équations de conservation à résoudre s'expriment comme :

$$\frac{\partial \varphi_k}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \varphi_k \vec{u}_k + \vec{\nabla} \cdot \vec{J}_{\varphi_k} = \dot{S}_{\varphi_k}$$

$$\sum_{k=1,2} (\varphi_k (\vec{u}_k - \vec{u}_i) \cdot \vec{n}_{ki} + \vec{J}_{\varphi_k} \cdot \vec{n}_{ki}) = 0 \text{ (condition à l'interface liquide-vapeur)}$$

- pour la conservation de la masse :

$$\varphi_k = \rho_k, \vec{J}_{\varphi_k} = \vec{0} \text{ et } \dot{S}_{\varphi_k} = \dot{0}$$

- pour la conservation de la quantité de mouvement :

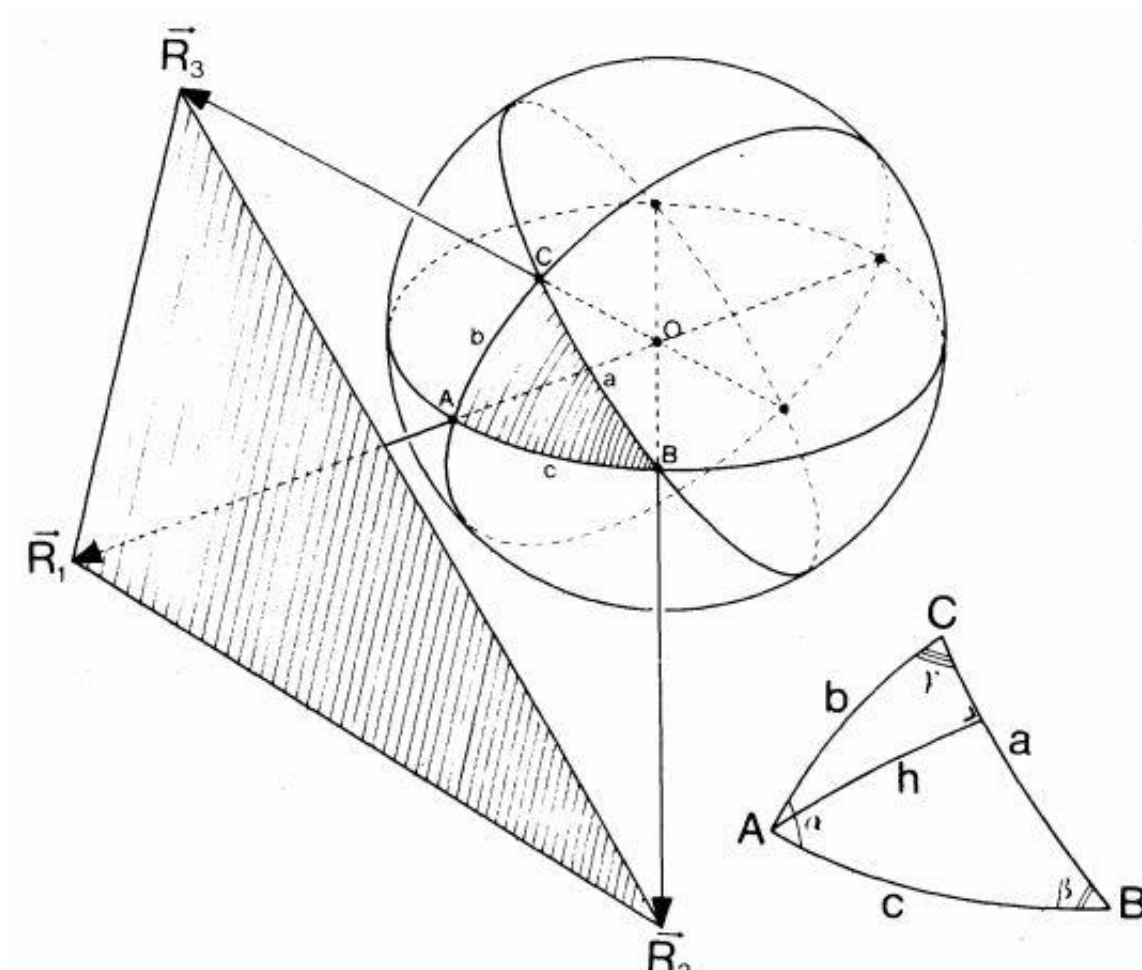
$$\vec{\varphi}_k = \rho_k \vec{u}_k, \vec{J}_{\varphi_k} = p_k \vec{I} - \vec{\sigma} \text{ et } \dot{S}_{\varphi_k} = \rho_k \vec{g}$$

- pour la conservation de l'énergie :

$$\varphi_k = \rho_k (\frac{1}{2} \vec{u}_k \cdot \vec{u}_k + e_k), \vec{J}_{\varphi_k} = p_k \vec{I} \cdot \vec{u}_k - \vec{\sigma} \cdot \vec{u}_k - \vec{\nabla} \cdot (k_k \vec{\nabla} T_k) \text{ et } \dot{S}_{\varphi_k} = \rho_k \vec{g} \cdot \vec{u}_k + q'''$$

Note : l'indice « k » fait référence à la phase considérée (liquide ou vapeur).

MÉTHODE DE L'ANGLE SOLIDE

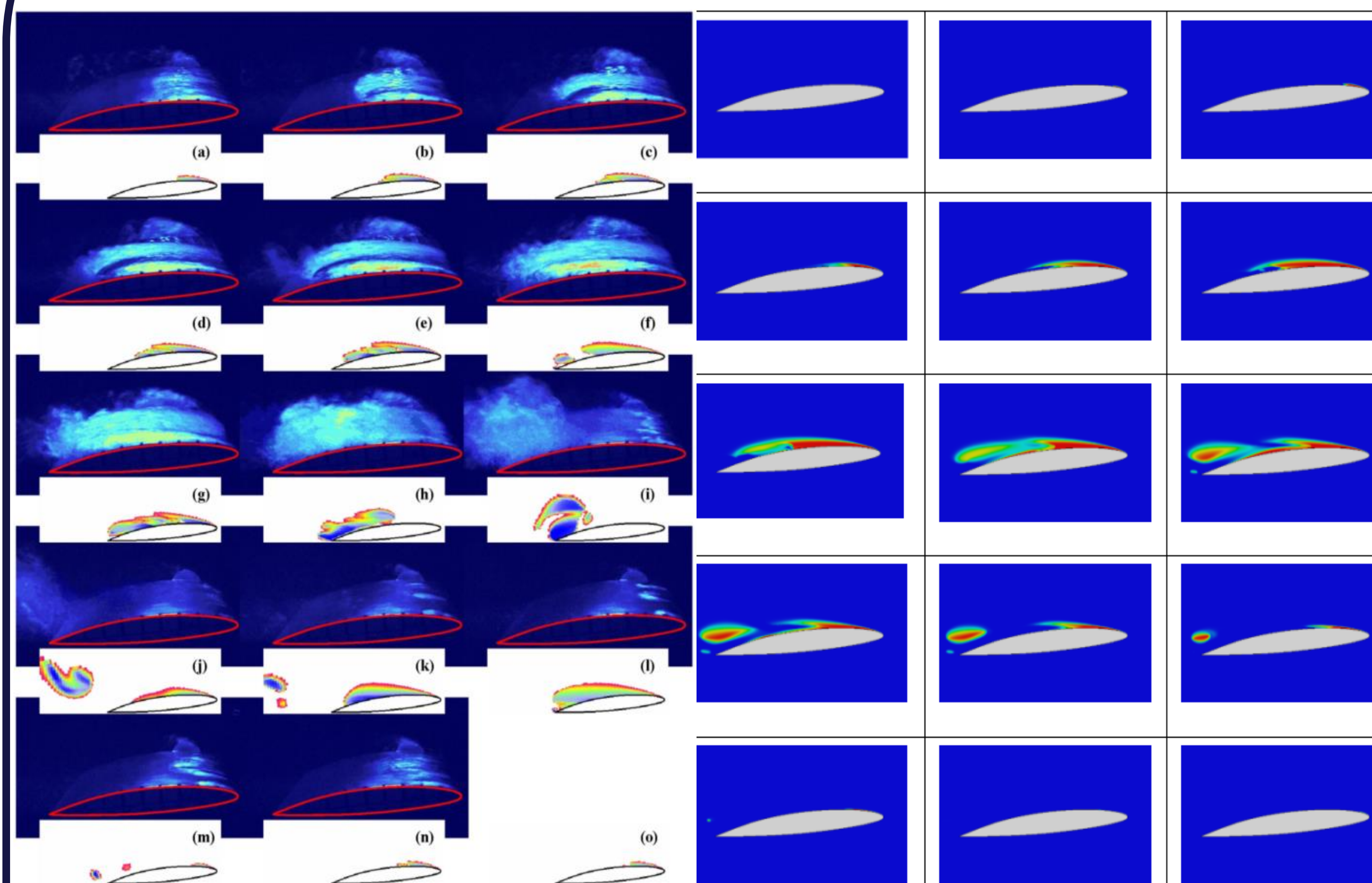


La méthode de l'angle solide permet de **projeter une grandeur sur une certaine surface**.

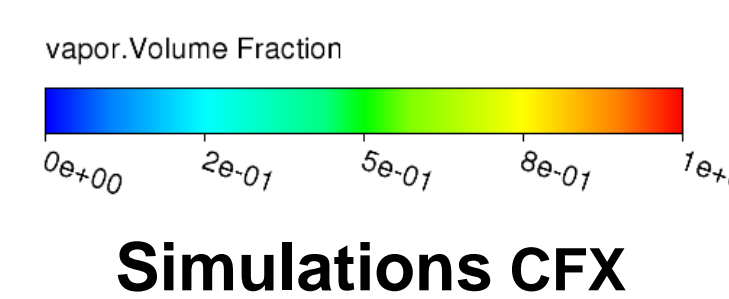
Elle servira à déterminer quelle fraction de la puissance volumique de cavitation va impacter le matériau, suivant l'**angle** considéré et la **distance à la surface**.

VALIDATION FORMATION DE LA POCHE

Comparaison de la **formation de la poche de cavitation**, $\Delta t = 0,2s$: observation du **taux de vide**.



Expérience et simulations de Leroux

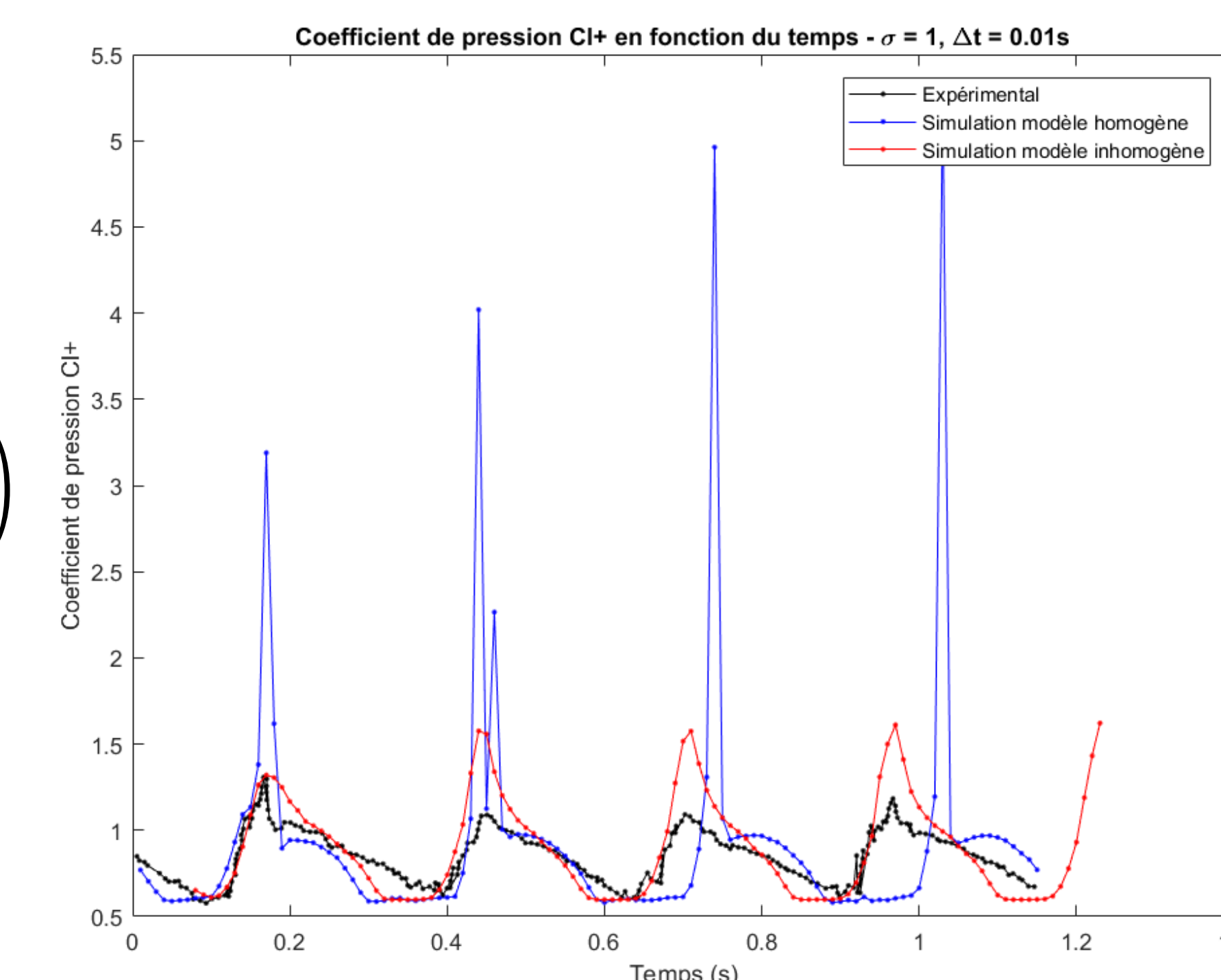


Simulations CFX

CHOIX DU MODÈLE DIPHASIQUE

Comparaison entre les **modèles homogène et inhomogène** de CFX : comparaison de la fréquence de détachement de la poche de cavitation.

$$C_l^+ = \sum_{k=1}^{10} C_p \left(\frac{X_k}{c}, \Delta t \right) \Delta \left(\frac{X_k}{c} \right)$$

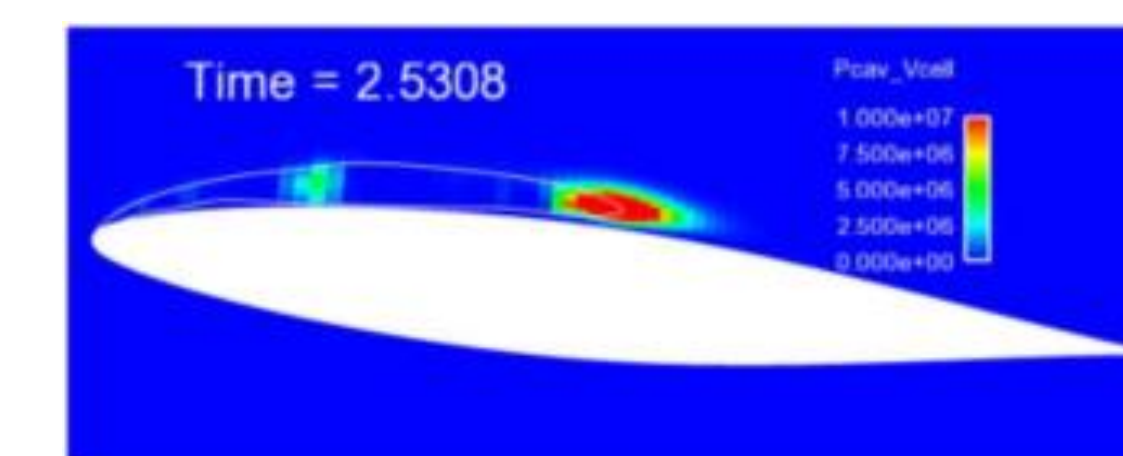


Modèle inhomogène plus en accord avec les résultats expérimentaux.

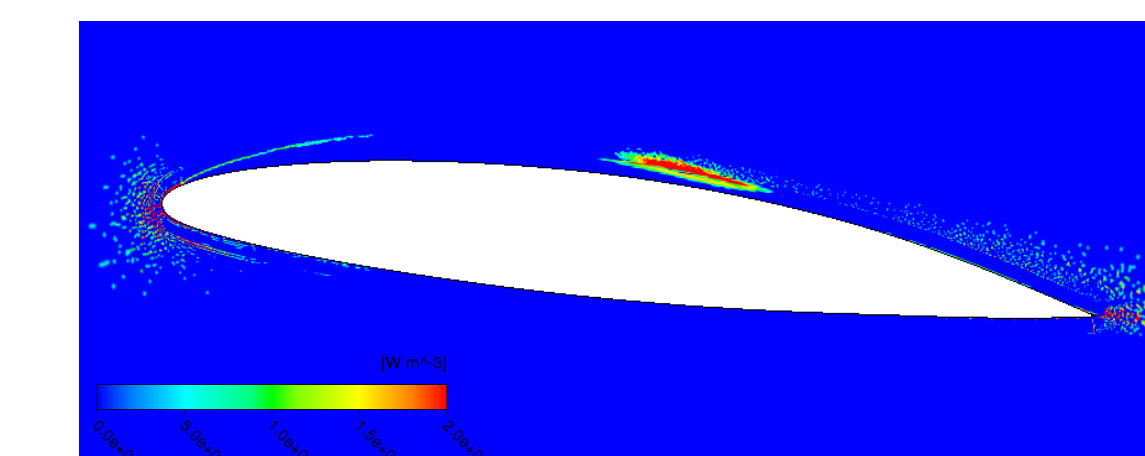
RÉSULTATS

Calcul de la **puissance volumique de cavitation ψ** , choisie comme grandeur responsable de l'érosion dans le modèle de Leclercq.

$$\frac{P_{cav}}{V_{cet}} = -(p - p_{sat}) \frac{\rho}{\rho_l - \rho_v} \text{div}(u), \text{ où } \rho = \alpha \rho_v + (1 - \alpha) \rho_l$$



Simulation de Leclercq



Implémentation CFX

Note : les profils ne sont pas identiques. On a conservé le profil qui a été utile à la validation du modèle inhomogène.

CONCLUSIONS

- Les simulations sous CFX, à l'aide du modèle inhomogène, permettent une **bonne prédiction de la formation de la poche de cavitation et de sa fréquence de détachement**.
- Le **post-traitement** sous CFX pour le modèle de Leclercq donne des résultats **prometteurs**.
- Ce modèle sera comparé, à l'aide des mêmes outils, à d'autres modèles existants.

RÉFÉRENCES

- J.-B. Leroux, J. A. Astolfi, et J. Y. Billard, "An experimental study of unsteady partial cavitation", *Journal of fluids engineering*, vol. 126, no. 1, pp. 94-101, 2004.
 C. Leclercq, A. Archer, et R. Fortes-Patella, "Numerical investigations on cavitation intensity for 3d homogeneous unsteady viscous flows", dans *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 49, no. 9. IOP Publishing, 2016, p. 092007

REMERCIEMENTS

