

## Annnonce de thèse

# Monitoring de l'érosion de cavitation : prévision d'endommagement à partir de mesure à ultrasons et jumeau numérique

## Contexte

La cavitation survient dans un écoulement initialement liquide lorsque la pression statique atteint la pression de vapeur du liquide, en raison d'une dépressurisation ou d'une élévation locale de la vitesse d'écoulement. Ce phénomène provoque alors un changement de phase : une partie de l'eau liquide se transforme en vapeur. Les structures de vapeur ainsi formées sont entraînées par l'écoulement vers des zones de pression plus élevée où elles implosent violemment. Ces implosions génèrent des fluctuations de pression, du bruit, ainsi que des vibrations. Lorsqu'elles se produisent à proximité des parois et avec une intensité suffisante, elles peuvent endommager les matériaux, entraînant une perte de matière progressive appelée **érosion de cavitation**.

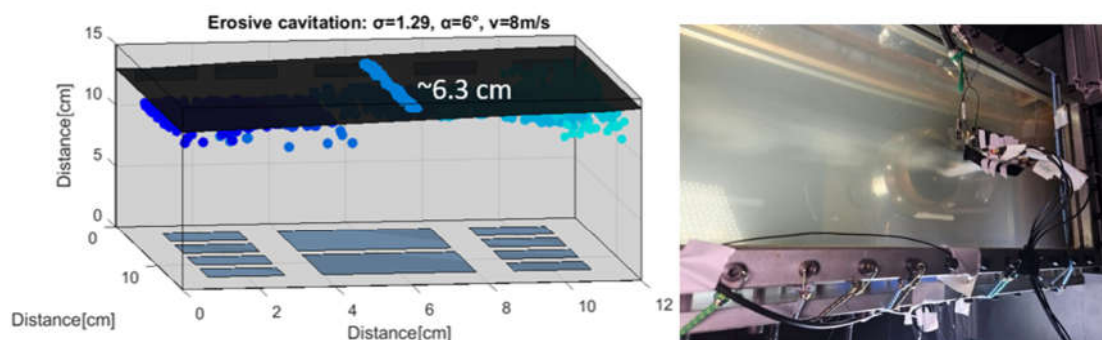
À ce jour, aucune méthode complètement validée ne permet de prédire ce phénomène ou de mesurer, avec précision, la vitesse d'usure induite par la cavitation. Les verrous scientifiques à lever sont encore nombreux pour bien comprendre et caractériser les mécanismes physiques associés en vue de garantir une maîtrise durable des outils de production.

Le groupe EDF, de par son parc important de composants hydrauliques (pompes, turbines hydrauliques, vannes, diaphragmes) reste donc fortement concerné par ce mécanisme d'usure, à la fois pour le domaine de la conception et pour le domaine de l'exploitation et de la maintenance.

L'**objectif industriel** est de développer une technique de surveillance à base de mesures *in-situ* et Jumeaux Numériques, permettant :

- d'identifier la présence d'écoulements cavitants,
- d'estimer l'agressivité de l'écoulement et l'usure de la machine,
- de définir une stratégie de fonctionnement adaptée,
- de simuler des scénarii d'endommagement par cavitation (en contexte de production hydroélectrique notamment).

La méthodologie s'appuiera sur une **méthode ultrasonore non intrusive** pour la détection de la cavitation basée sur le traitement du signal acoustique (Figure 1) [1-3]. Les résultats expérimentaux obtenus seront couplés à un **modèle théorique permettant la prévision d'endommagement et de durée de vie des équipements** (sous forme de **Jumeau Numérique**), en vue d'optimiser leur exploitation et leur maintenance [4-5].



Résultats d'imagerie ultrasonore (à gauche) indiquant la géométrie et la dynamique du nuage de cavitation ainsi que son impact (effet érosif) sur un hydrofoil cavitant (à droite)

**Figure 1** : Illustration du principe de l'imagerie ultrasonore pour la caractérisation des phénomènes de cavitation. Résultats obtenus dans le cadre d'une collaboration LEGI-EDF-GIPSA-lab. [1]

## Objectif et résultats attendus

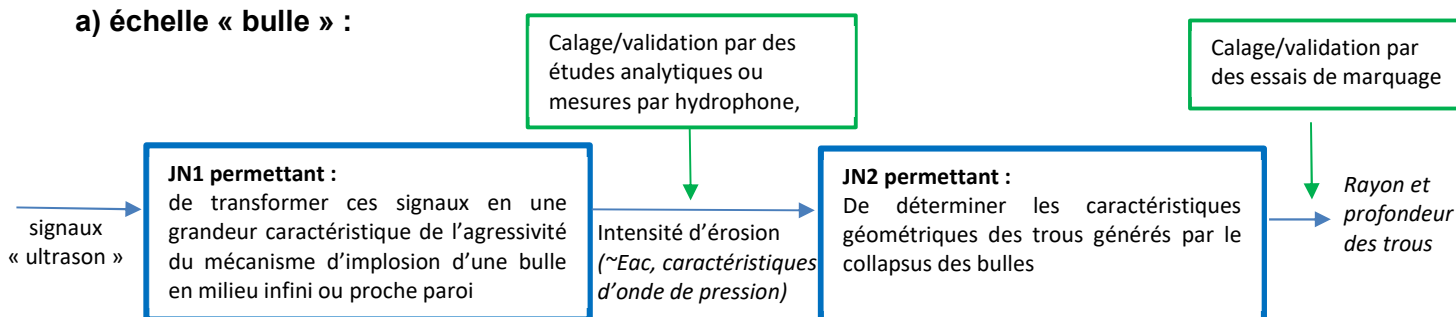
Le premier objectif de la thèse est de proposer une méthode pour détecter la présence de la cavitation et donner une grandeur caractéristique de l'« intensité de cavitation » (i.e., de l'agressivité) de l'écoulement cavitant à partir des signaux mesurés par ultrasons.

L'étude expérimentale se fera en deux étapes :

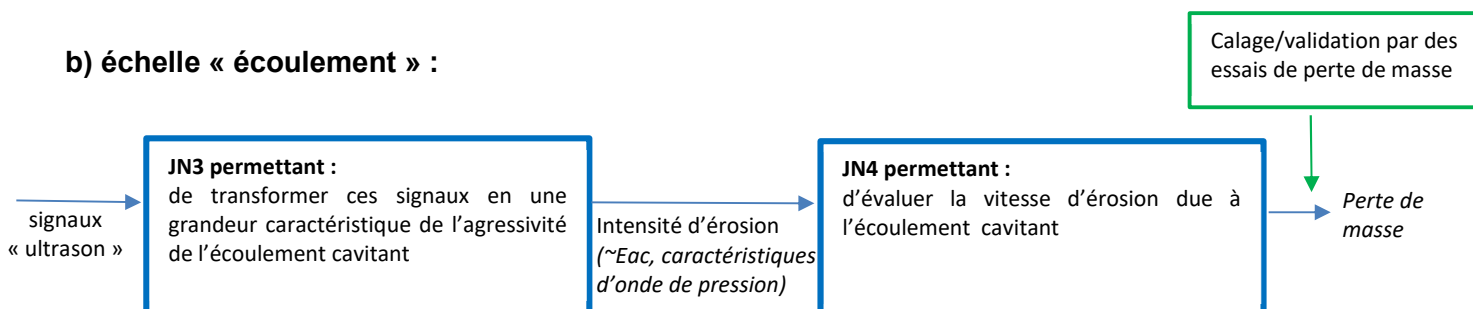
- Dans un premier temps, on s'intéressera à l'**échelle d'une bulle de vapeur** implosant à proximité d'une paroi solide. Des campagnes d'essais pour analyser l'implosion d'une bulle générée par laser dans une cuve pressurisable seront menés en collaboration avec différents partenaires. On pourra ainsi associer aux mesures par ultrasons, des analyses de marquage sur des échantillons de différents matériaux, des mesures par hydrophone, par capteur de pression et/ou des visualisations.
- On appliquera la méthode également pour caractériser **des écoulements cavitants** au sein de différentes boucles d'essais (en géométrie fixe et en machines tournantes) et lors d'essais in-situ.

Le schéma ci-dessous illustre la démarche scientifique visée, à base de combinaison de Jumeaux Numériques (JN) :

### a) échelle « bulle » :



### b) échelle « écoulement » :



La méthodologie d'essais, de post-traitement et de modélisation mise en place pendant la thèse sera ainsi associée au développement et à l'exploitation d'un Jumeau Numérique. Ce type d'approche permet de simuler une réplique virtuelle d'un comportement donné [6].

## Partenaires académiques, organisation et moyens

La thèse s'inscrit dans le cadre de la **Chaire d'excellence TwinHy** (<https://fondation-grenoble-inp.fr/nos-actions/chaire-twinhy/>) avec la Fondation Grenoble INP et EDF, portée par le Prof. Gildas BESANÇON du laboratoire GIPSA Lab (Grenoble Images Parole Signal Automatique).

Les partenaires universitaires sont le LEGI (Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels de Grenoble INP, équipe Energétique), avec la Prof. Regiane FORTES-PATELLA, et le GIPSA Lab, avec le Dr. Cornel IOANA (HDR) et le Prof. Gildas BESANÇON. Ces laboratoires travaillent de longue date sur la cavitation, l'érosion de cavitation et les machines hydrauliques (LEGI) et ont une grande maîtrise sur les méthodes des mesures à ultrasons et sur le couplage données/modèles (GIPSA Lab). Les encadrants industriels côté EDF sont Carmen BADINA et Antoine ARCHER.

Les études seront menées en partenariat avec Vattenfall et HydroQuebec, via une thèse au Canada.

Le doctorant sera embauché sur contrat pour une durée de 3 ans.

Le lieu de travail du doctorant sera au GIPSA et au LEGI, avec missions à EDF DTG et R&D Chatou.

## Profil du candidat et compétences souhaitées

Le-la candidat-e doctorant-e sera étudiant-e de Grande école ou Master2, spécialité Traitement du Signal, Automatique ou Mécanique des Fluides.

Les compétences souhaitées sont de solides bases en modélisation physique, traitement des données, systèmes, acoustique...

### Pour plus d'information :

[cornel.ioana@grenoble-inp.fr](mailto:cornel.ioana@grenoble-inp.fr)

[regiane.fortes@grenoble-inp.fr](mailto:regiane.fortes@grenoble-inp.fr)

[gildas.besancon@grenoble-inp.fr](mailto:gildas.besancon@grenoble-inp.fr)

## Références

[1] Nati M., Digulescu A., Ioana C., Badina C., Fortes Patella R., Maruzwski P., 2025, Ultrasonic detection of erosive cavitation in hydraulic turbines, *Proc. IAHR WG 2025 conference*, Brno, October 1-3, 2025

[2] Badina C., Ernst O., Maruzewski P., Ioana C., Fortes-Patella R., 2024, Non-intrusive monitoring of erosive cavitation, *Proc. Conference Hydro 2024*, 8-20 November 2024 Messe Congress Graz (MCG), Austria

[3] Digulescu A., Ioana C., Serbanescu A. 2019, Phase diagram-based sensing with adaptive waveform design and recurrent states quantification for the instantaneous frequency law tracking. *Sensors* (Basel). 2019 May 28;19(11):2434. doi: 10.3390/s19112434. PMID: 31141950; PMCID: PMC6603687

[4] Fortes Patella R., Challier G., Reboud J.L., Archer A., 2013, Energy balance in cavitation erosion: from bubble collapse to indentation of material surface, *Journal of Fluids Engineering - Transactions of ASME*, Vol. 135 / 011303-1 to 11

[5] Fortes Patella R., Choffat T., Reboud J.L., Archer A., 2013, Mass loss simulation in cavitation erosion: fatigue criterion approach, *Wear*, Reference: WEA100623, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2013.01.118>.

[6] A. Alonso, G. Robert et G. Besançon, A physics-based multi-regime approach for estimation of head losses in operating hydropower plants, *Journal of Process Control*, August 2025