

Proposition de thèse 2025-2028

Instabilités dans un tube de Ranque-Hilsch

Lieu : [IRPHE](#)

49, rue F. Joliot-Curie
13013 Marseille

Directeur de thèse : [S. Le Dizès](#)

Co-directeurs : L. Pietri, D. Mazzoni

Type de sujet : Fondamental vers une application industrielle concrète

Type d'étude : Expérimental, Numérique et Théorique

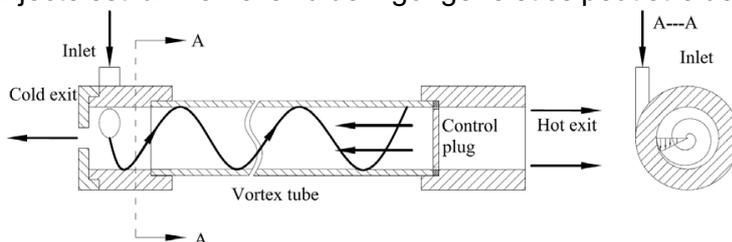
Financement recherché : Region Sud + Berthier ou CIFRE Berthier

Cadre général de l'étude

Le tube de Ranque-Hilsch [1,2] est un équipement qui sans mécanisme interne en mouvement, permet à partir d'un gaz sous pression (le plus souvent de l'air), introduit tangentiellement, de produire du gaz chaud d'un côté et du gaz froid de l'autre. Il est aujourd'hui utilisé pour quelques applications industrielles marginales telles que :

- refroidissement des outils de coupe en usinage.
- refroidissement de gilets de soudure dans des atmosphères chaudes.
- etc...

A chaque fois, les tubes de Ranque-Hilsch utilisent le circuit d'air comprimé présent dans les ateliers. Il n'y a aucun mécanisme à l'intérieur du tube de Ranque-Hilsch, donc pas d'usure, pas de casse ou de panne possible. Il n'y a pas non plus de fluide frigorigène fluoré, le fluide injecté est lui-même le fluide frigorigène et ce peut être de l'air ou tout autre fluide compressible.

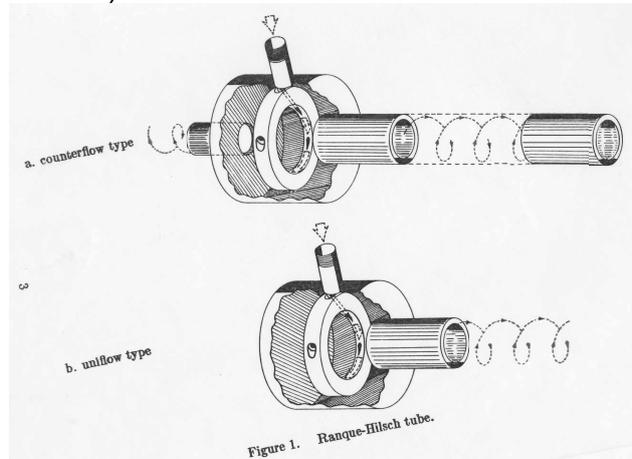


Malgré ces avantages, le tube de Ranque-Hilsch est peu utilisé dans l'industrie car il a un rendement faible, et génère beaucoup de bruits. Plusieurs pistes ont été explorées dans le passé pour améliorer le dispositif et son rendement, notamment en modifiant la géométrie [3]. Mais les véritables avancées attendent toujours une meilleure compréhension du phénomène proprement dit.

L'objectif de cette thèse est justement de proposer et d'étudier un mécanisme physique qui pourrait être responsable de la séparation des températures dans le tube de Ranque.

Descriptif

Le tube de Ranque-Hilsch existe dans une configuration plus simple avec une seule sortie (voir figure ci-dessous).



Sous cette forme, le dispositif produit également de forts gradients de température entre l'axe et la périphérie du tube ; le phénomène est donc toujours présent [4,5].

Le tube à une seule sortie présente une autre caractéristique remarquable, qui est celle de produire un son, avec une fréquence bien identifiée, proportionnelle au taux de rotation du fluide dans le tube [6,7,8]. Cette proportionnalité démontre que ce son est de nature hydrodynamique, et non acoustique. Il pourrait résulter d'une instabilité dont on cherchera à déterminer le mécanisme et les caractéristiques.

Une importante émission de bruit est également présente dans le tube de Ranque-Hilsch classique à 2 sorties. De plus, l'amplitude de ce son semble être corrélée à l'efficacité du dispositif [4,5]. Le phénomène de Ranque-Hilsch pourrait donc être directement relié à la présence de ce son, et donc à l'instabilité qui l'a généré. C'est cette piste que nous souhaitons explorer dans cette thèse

Plan de l'étude

(1) Analyse expérimentale et numérique des perturbations dans le tube à vortex (tube de Ranque-Hilsch à une seule sortie).

- Expériences dans l'eau et dans l'air. Caractérisation de l'écoulement moyen et de sa partie instationnaire (Vélocimétrie par PIV, pression, fluctuations de pression (son), température). On adaptera pour cela les dispositifs expérimentaux existants et on utilisera l'ensemble des diagnostics présents au laboratoire. Ils seront complétés par des dispositifs de thermométrie.
- Simulation avec Comsol¹ du dispositif simplifié (axisymétrique, puis 3D).
- Etude de stabilité de l'écoulement mesuré/calculé.

L'objectif de cette première étude est de comprendre le mécanisme responsable de l'apparition d'une fréquence propre dans l'écoulement et de caractériser la structure spatiale du mode propre associé.

(2) Caractériser les modifications non-linéaires induites par les perturbations.

- Calcul théorique de l'écoulement moyen généré par l'interaction non-linéaire d'un mode propre avec lui-même. (Analyse faiblement non-linéaire).
- Comparaison avec les résultats obtenus avec Comsol.

¹ **COMSOL Multiphysics** est un logiciel de simulation numérique basé sur la méthode des éléments finis. Ce logiciel permet de simuler de nombreuses physiques et applications en ingénierie, et tout particulièrement les phénomènes couplés ou simulation multi-physiques. Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/COMSOL_Multiphysics

L'objectif de cette étape est de montrer que les perturbations peuvent avoir un rôle constructif, qui pourrait être d'augmenter la rotation moyenne du fluide dans le tube, ou le gradient de pression radial.

(3) Analyse des effets thermiques. Les études (1) et (2) seront réalisées dans un premier temps avec un fluide isotherme et incompressible, puis avec un fluide compressible (avec ou sans effet de température). L'objectif est d'identifier le véritable rôle des effets compressibles, puis thermiques dans le phénomène observé.

(4) Proposition de pistes pour améliorer le rendement du tube de Ranque-Hilsch.

Références :

[1] Ranque, G. J. 1933. Experiments on expansion in a vortex with simultaneous exhaust of hot air and cold air. *J Phys Radium (Paris)* **4**, 112S-115S.

[2] Hilsch, R. 1947. The use of expansion of gases in a centrifugal field as a cooling process. *Rev Sci Instrum* **18**(2), 108-113.

[3] Assemien, F. 2023. Étude et développement des performances du tube de Ranque-Hilsch et analyse des perspectives d'industrialisation. Thèse de doctorat, Université PSL.

[4] Kurosaka, M. 1982. Acoustic streaming in swirling flow and the Ranque-Hilsch (vortex-tube) effect. *J. Fluid Mech.* **124**, 139-172.

[5] Chu, J. Q. 1982. Acoustic Streaming as a Mechanism of the Ranque-Hilsch Effect. PhD Thesis, University of Tennessee.

[6] Vonnegut, B. 1954. A Vortex Whistle. *J. Acoust. Soc. Am.* **26**, 18-20.

[7] Chanaud, R. C. 1963. Experiments concerning the vortex whistle. *J. Acoust. Soc. Am.* **37**, 953–960.

[8] Kristiansen, U., Amielh, M., Mazzoni, D., 2020. On the sound production in vortex whistles. E-Forum Acusticum – 9eme Edition, Dec 2020, Lyon, France, 1527-1534.

Contact : S. Le Dizès (stephane.ledizes@univ-amu.fr; 04 13 55 20 71)