

August 24, 2015

Université Pierre et Marie Curie  
À l'attention de Carole Le Nillon  
Commission des thèses et HDR –  
Sciences pour l'Ingénieur  
Couloir 55-65, porte 202  
Boîte courrier 175  
4, place Jussieu  
75252 PARIS Cedex 05

### Evaluation of the HDR thesis by Jérôme Hoepffner.

The HDR thesis by Jérôme Hoepffner is an exposition of key ideas in his recent research. Starting with his recent contribution to the physics of sports (in this case pole vaulting) he moves into examples from fluid mechanics: (1) the flapping flag, (2) peristaltic pumping, (3) contracting/pinching fluid filaments and (4) the Kelvin-Helmholtz instability. Even though all of these examples are classical and have been studied intensely for years, Jérôme Hoepffner and his collaborators have remarkably been able to come up with new ideas and models that put these important phenomena into new perspective.

For the flapping flag, the main idea is to include gravity and the realization that in the presence of gravity the simple flat stationary state, from which perturbation theory can proceed, disappears, and large amplitude waves, stemming from “buckling of the flag” must be considered from the outset. Doing this, they obtain good results from simply estimating the drag from the boundary layers formed on the surface of the flag.

In the case of peristaltic pumping, he discusses a model conceptually much simpler than the classic low amplitude sinusoidal wave propagating along the tube, namely a translating square constriction. In fact this model is often used as an introduction to the subject (e.g., in the review by Jaffrin & Shapiro from 1971), but was apparently not solved before. This reduces the basic streaming problem (in the Stokes' limit) to a back-of-an-envelope calculation with corresponding clear interpretation. This result should go directly into the textbooks!

The third classical problem, the competition between recoiling and pinching of fluid filaments, is treated by a beautifully designed experiment, where a fluid column is ejected carefully from a straw under conditions leading to either pinch or recoil, specified by the length of the column and the so-called *Ohnesorge* number, quantifying the competition between

viscosity and surface tension. The key observation (made with a partially died fluid) is that recoiling (i.e., neck-reopening) is related to the detachment of the jet flowing through the orifice. This is a non-trivial observation, which links this phenomenon to many other “hard” problems related to boundary layer separation (such as the formation of sand-ripples or hydraulic jumps), in this case, separation along a free surface. The design and execution of these experiments are, as documented by the accompanying pictures and movies, quite outstanding.

As a final example, the Kelvin-Helmholtz instability is treated with an emphasis on localized perturbations. This is closer to the original idea of Helmholtz than the subsequent treatment by Kelvin of periodic perturbations, which due to its formal simplicity has become the standard one, setting the stage for virtually all subsequent stability calculations. Hoepffner and his collaborators show that the self-similar waves produced in this way are remarkably robust, seen in many different phenomena, and they demonstrate an interesting scaling of the size of the wave with the square root of the density ratio of the two fluids allowing them to go from the classical mixing layer to wind driven waves.

All these examples have given rise to carefully written papers in the most important and well established journals in the field: *Journal of Fluid Mechanics*, *Physics of Fluids* and *Physical Review Letters* (where he managed the impressive task of getting two letters through in one year (2011)). Several of them are accompanied by very instructive movies of high quality. In these papers Jérôme Hoepffner shows himself in command of theory, simulations and experiments with similar ease.

The last section of the thesis contains a discussion of approaches to science, contrasting the predominant axiomatism and reductionism with the more open notion of creation of “constellations of archetypes”. For me this is a reminder that we probably use too little of our time for more general, non-technical considerations, where we try to put our work into perspective and clarify our goals in a slightly more philosophical framework. Such considerations can be very fruitful, particularly in a pedagogical context, where it can inspire students to original, independent research. And the creation of “archetypical” experiments such as the died fluid falling out of a straw does more than many formulas to achieve the understanding of the phenomena, that all we scientists are striving for.

The thesis is well written, precise and full of humor and perspectives going beyond the concrete scientific work, touching e.g. on paintings as another way of describing nature. It is rather non-technical, and a detailed understanding requires consulting the original papers.

Aside from the works treated or mentioned in the present thesis, Jérôme Hoepffner has made other lasting contributions to fluid mechanics, in particular the approximately 8 well-cited papers related to his phd-work in Stockholm on separated flows, boundary layers and

---

turbulence, mostly based on accurate numerical solutions and statistical analysis. In these works he has consistently studied these complicated flows under realistic conditions, and has e.g., given a useful prescription for how to determine the state of a fluid system from a series of noisy measurements, and described the transition to turbulence in a boundary layer exposed to a turbulent free stream. Taking all his scientific work together shows an accomplished, versatile and original scientist, who strives for clarity and simplicity and is willing to take the time needed to achieve it. Through his carrier, he has moved from working mostly with numerical simulations to the present situation, where simulations, theory and experiment are used with similar ease. This is a huge advantage for his research.

The way Jérôme Hoepffner works should be very attractive to students. For our summer school in August of this year, Jérôme attracted many students, partly by his lectures, and partly by the self-made “toys” he brought: an extremely well-designed boomerang and a unique sundial, showing the timing of all lectures, precisely made for the dates and the location (Elsinore, Denmark) of the school. He has so far co-supervised 3 phd-students with fine results, and I believe that the acquisition of the HDR will allow him to become a very successful supervisor.

Jérôme Hoepffner is a well established and original researcher, who has shown the ability to formulate and solve models of non-trivial fluid flows numerically and theoretically, and to design pertinent, well-controlled experiments to elucidate these flows as clearly as possible. He is well-connected internationally, and has shown the ability to collaborate with a wide range of researchers in France as well as foreign countries, in particular Sweden and Japan, where he has had longer stays. Finally, he has shown the ability to guide students in original research.

In conclusion, I find that Jérôme Hoepffner is well qualified for defending his HDR thesis.

Sincerely yours



Tomas Bohr  
Professor of Physics

---



M. Argentina,  
Professeur des Universités  
Tel:+33667192333  
mederic.argentina@unice.fr

**Rapport sur le mémoire de Jérôme Hoepffner  
En vue d'obtenir l'Habilitation à Diriger les Recherches  
Titre du mémoire: Archetypes in mechanics**

Jérôme Hoepffner est un physicien mécanicien de 37 ans. Il est, depuis 2008, Maître de conférences de l'Institut Jean le Rond d'Alembert, qui est rattaché à l'Université Pierre et Marie Curie.

Avant sa nomination, il a effectué deux séjours postdoctoraux à l'IRPHE (Marseille) et à l'Université de KEIO (Tokyo), après avoir défendu sa thèse de doctorat en mécanique des fluides à KTH (Stockholm) sous la direction de Dan Henningson. La production scientifique est importante : auteur de 21 publications (soit 2.3 articles par an depuis l'obtention de sa thèse). Sa recherche est principalement orientée vers la mécanique, et plus particulièrement celle des fluides.

Près de la moitié de sa production (11 articles) a été publié dans la revue Journal of Fluid Mechanics, qui est une revue avec un très haut standard de qualité. En plus de 5 publications dans Physics of Fluids, il est également l'auteur de deux Physical Review Letters.

Le point commun à toutes les études est l'analyse de dynamiques complexes issues de non-linéarités de la mécanique des fluides que Jérôme Hoepffner traite de façon élégante avec toutes les méthodes existantes: expérimentale, théorique et numérique. Cette approche lui confère une solide autonomie.

Jérôme Hoepffner s'est largement investi dans l'enseignement, et il est le fondateur de multiples cours en L2, L3 et M1. Il a, par ailleurs, co-encadré avec Stéphane Zaleski, trois doctorants. Cette passion pour l'enseignement, qui ressort nettement dans son manuscrit d'habilitation, se manifeste également par la participation aux tournages de programmes télévisés de vulgarisation. D'ailleurs, sa page web fourmille de données et programmes disponibles au plus grand nombre.

Il n'est pas superflu de souligner que Jérôme Hoepffner n'a jamais rechigné devant les tâches d'intérêt collectif, en participant à de nombreux groupes d'expert, de comité de sélection ou en s'occupant du site Internet de son laboratoire pendant 3 ans. Les invitations à siéger dans un jury de thèse, ou à occuper des postes de chairman dans des conférences montrent une reconnaissance de son travail scientifique au niveau international.

Le manuscrit écrit en anglais, que j'ai pris beaucoup de plaisir à lire, est des plus original. Les différents points de vue de Jérôme Hoepffner sur la science depuis sa conception, sa pratique, son utilité et ses implications sociétales sont présentés de manière captivante en se basant sur des réflexions de différents savants contemporains. Le mémoire d'habilitation est partagé en cinq parties.

- La première partie, l'introduction, est un questionnement sur une approche impressionniste de la science; impressionniste, dans le sens où, pour les sciences physiques, la simulation numérique est devenue l'équivalent de la photographie à la peinture. Dans ce cadre, deux systèmes physiques sont étudiés : le battement du drapeau dans le vent et le saut à la perche. L'angle que font les plis dans un drapeau ondulant sont prédits une loi d'échelle, qui est comparée, avec un accord remarquable à des simulations numériques et des expériences. Par la suite est présenté un modèle ultra simplifié pour prédire la hauteur maximale que peut atteindre un athlète perchiste. L'élégante approche qui présente l'avantage d'être simple, permet de proposer des pistes sur la meilleure stratégie à suivre pour aller au plus haut.

- La deuxième partie, intitulée “Propose a theory or suggest a new experiment”, débute sur un questionnement sur la stratégie de modélisation d’un problème scientifique donné : simplicité du modèle versus sa capacité prédictive. En s’appuyant sur anecdote de Pierre-Gilles de Gennes, Jérôme Hoepffner suggère une sortie de ce dilemme, en mettant en place un nouveau dispositif expérimental (sensiblement différent à celui qui est utilisé initialement) ou une autre théorie. Dans ce cadre, il a proposé une nouvelle géométrie, et un nouveau modèle pour le pompage péristaltique : l’accord avec les simulations numériques est excellent. Le problème de fragmentation de jet de liquide est également discuté avec notamment l’étude de la dynamique d’une colonne de liquide, libre de se déformer en chute libre. Il met en évidence un nouveau phénomène qui évite le pincement caractéristique des colonnes de fluides : la preuve expérimentale est ingénieuse. Cette expérience conduit d’ailleurs à la création du nouveau concept d’effet Venturi capillaire, dans lequel les effets de tension de surface se trouvent en compétition avec les chutes de pression induite par mouvement de fluide confiné dans un pont capillaire. L’instabilité observée dans ce système est comprise de façon astucieuse. Ce chapitre s’achève sur une discussion sur les archétypes dans la modélisation.
- Le troisième chapitre, “Qualitative is nothing but low quality quantitative” traite de la brisure du pont capillaire statique, avec des modèles ultras simplifiés (les modèles “dégénérés”), mais qui finalement capturent assez bien la zone de cassure. Ces modèles servent, par la suite, à une discussion épistémologique sur l’apport scientifique de modèles « dégénérés » dans la construction du savoir, tant du point de vue méthodologique que du point de vue de la compréhension et de la qualité prédictive de la modélisation.
- “Be content with the knowledge of some special cases” est le titre de la quatrième partie du mémoire. Après avoir rappelé les liens entre le phénomène d’atomisation et la dynamique de nappes de vorticité, Jérôme Hoepffner montre que la connaissance de solutions autosimilaires est extrêmement profitable pour comprendre la dynamique d’un jet d’un fluide impulsé en interaction avec un autre fluide/gaz. Dans ce cadre, il propose un modèle très simple qui capture relativement bien la physique qui entre en jeu dans la perturbation d’une nappe de vorticité. L’implication de l’accélération gravitationnelle sur la création de gouttes à la surface de liquide forcé par l’air est par la suite discutée. Un mécanisme général de catapultage de gouttes, à la surface d’une nappe liquide, est établi sur la base d’observations expérimentales et numériques. Ce chapitre est conclu avec la présentation d’un diagramme d’existence de solutions auto similaires, qui met en valeur les multiples contributions de Jérôme Hoepffner dans ce domaine.
- Le manuscrit se termine par le chapitre “Mentalities trudge along but technologies gallop”. Jérôme Hoepffner discute, dans un premier temps, de la dissonance cognitive, induite entre la confrontation d’une description complètement intellectualisée d’un phénomène avec sa réalisation concrète, dans la vie réelle. De cette analogie découle une discussion sur l’existence d’une stratégie de création de connaissances et/ou de compréhension de notre environnement. Enfin, une dissertation sur les mélancolies des scientifiques contemporains débouche sur le poétique concept de constellation, qui combinerait à la fois découverte et création.

Jérôme Hoepffner a réalisé au cours de ces dernières années de très beaux travaux de recherche d’une grande qualité. Ses multiples questionnements épistémologiques prouvent un recul évident sur ses activités professionnelles. Il a démontré une très forte passion dans son activité d’enseignant avec une incroyable appétence dans le développement de travaux élégants de recherche. Pour conclure ce rapport, Jérôme Hoepffner est un physicien de grand talent. Je soutiens sans la moindre réserve son habilitation à diriger les recherches.

Nice, le 27 aout 2015  
Mederic Argentina



H. Kellay,

Professeur

Université de Bordeaux

## Rapport sur l'habilitation à diriger les recherches de Jérôme Hoepffner

Jérôme Hoepffner a été nommé Maître de conférences à l'Université Pierre et Marie Curie en 2008 et affecté au Laboratoire Jean le Rond d'Alembert. Il a effectué sa thèse de Doctorat au KTH en Suède et deux Postdocs à Marseille (IRPHE) et à Tokyo (U. KEIO). Sa formation et ses recherches sont en mécanique et en mécanique des fluides. Il est auteur ou co-auteur de 20 articles dont la grande majorité est publiée dans Journal of Fluid Mechanics, une référence incontournable dans ce domaine. Jérôme a participé à l'encadrement d'un Postdoctorant et de deux Doctorants ; ces encadrements ont donné lieu à des publications. Il a, à son compte, différentes activités d'intérêt collectif comme referee pour plusieurs journaux et membre du comité scientifiques des rencontres du non linéaire.

Le manuscrit soumis par Jérôme pour cette habilitation détaille les grandes lignes de sa recherche ces dernières années et se focalise sur quelques exemples illustrant les sujets qui l'intéressent. Ce manuscrit est un récit à la fois de la recherche menée ainsi que de la vision du candidat sur son activité de recherche et notamment sur la pertinence et l'utilité de modèles pour comprendre des expériences ou en inciter d'autres. L'organisation du manuscrit est dans ce sens assez originale et inhabituelle (dans le domaine) mais très plaisante à lire.

La recherche qui y est exposée est très riche, s'attaque à des problèmes difficiles, et se base à la fois sur l'élaboration de modèles simples mais pertinents (pour expliquer l'optimisation d'un saut à la perche ou la formation de rides inclinées sur un drapeau suspendu à une perche verticale et soumis au vent) et sur de la simulation numérique combinée à de la modélisation (pour comprendre la fragmentation ou non de colonnes liquides en chute libre, la déstabilisation d'interfaces soumises à des cisaillements et l'émission de gouttelettes).

L'originalité du travail du candidat réside à la fois dans le choix des méthodes à utiliser ainsi que dans le choix des sujets traités. Plusieurs résultats sont remarquables. Citons parmi cela la retardation de la brisure d'un pont liquide lors de la chute d'une colonne liquide. Cet effet subtil mais relativement commun a été élucidé à la fois numériquement, mis en évidence expérimentalement, et compris avec des arguments simples poursuivis dans une étude reliée sur le Venturi capillaire.

Cet exemple n'en est qu'un parmi d'autres car la compréhension du rôle du poids sur les plis d'un drapeau et leur inclinaison, de la self similarité des surfaces cisailées et le rôle des paires de vortex, ainsi que des mécanismes derrière les écoulements induits par des mouvements de surface sont tout aussi riches de renseignements. Bref, la recherche développée par Jérôme Hoepffner est originale, très variée, et de grande valeur dans un domaine difficile où il réussit à combiner élaboration de modèles et simulation numérique avec beaucoup de succès.

Jérôme, à travers ce manuscrit, ses publications, et son activité d'encadrement montre clairement qu'il est digne d'une habilitation à diriger les recherches et je donne donc un avis très favorable à la soutenance de cette habilitation.

Talence 01/09/2015,

Hamid Kellay

