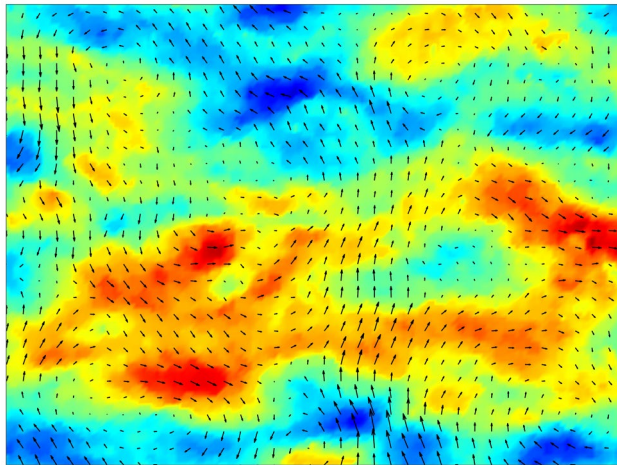


Turbulence d'ondes dans un fluide stratifié avec et sans mode de cavité



Nicolas Lanchon

Daniel Andres Odens Mora

Eduardo Monsalve

Pierre-Philippe Cortet

Laboratoire FAST, CNRS & Université Paris-Saclay

Turbulence dans les fluides stratifiés en densité

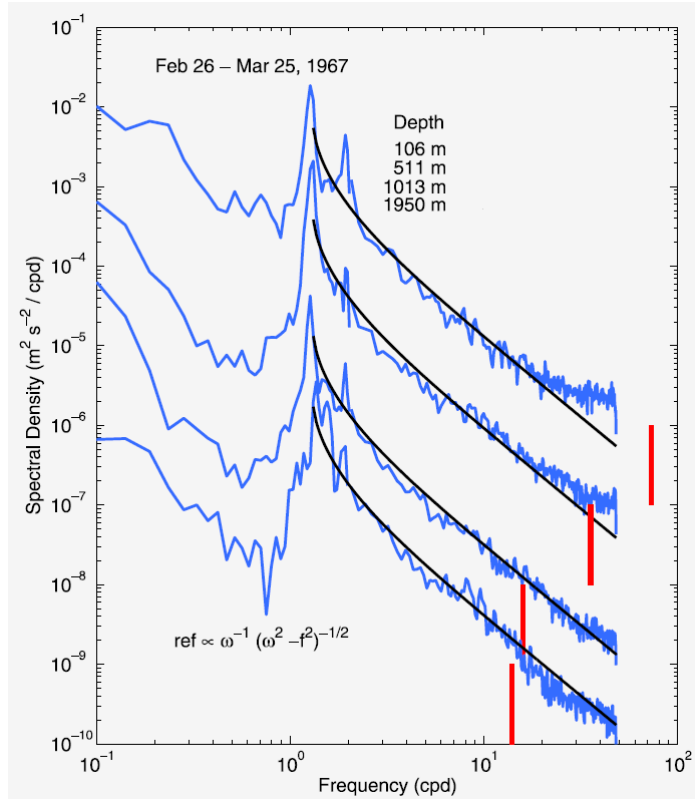
L'influence **de la stratification en densité** est cruciale pour la dynamique de l'**atmosphère et des océans**.



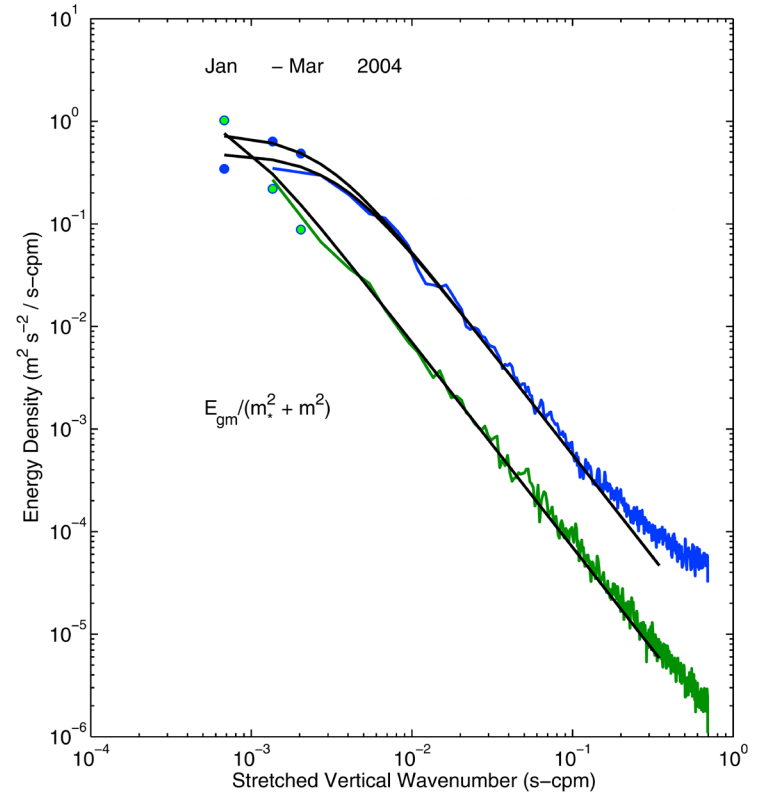
Les **prédictions météorologiques et climatologiques** nécessitent des simulations numériques. Aux **échelles trop petites** pour être simulée ont lieu des processus **dominés par la stratification**.

Observations dans l'océan

Polzin & Lvov, Reviews of Geophysics (2011)



Spectre temporel en : σ^{-2}



Spectre vertical en : k_z^{-2}

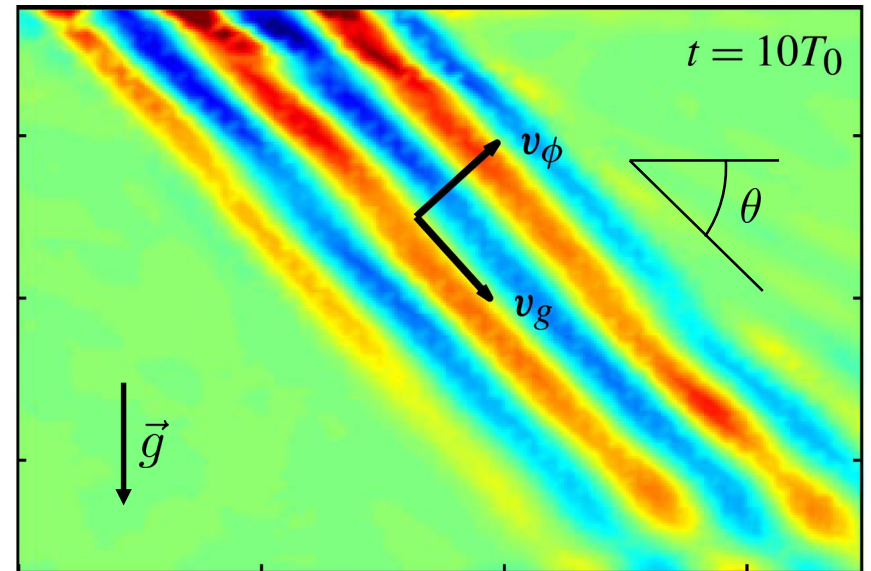
Ondes internes de gravité

Rappel dû à la
force de flottabilité

$$\sigma^* = \frac{\sigma}{N} = \pm \sin \theta$$

Fréquence de **flottabilité**

$$N = \sqrt{-\frac{g}{\rho_0} \frac{d\rho}{dz}}$$



Bourget, J. Fluid Mech. (2013)

Turbulence dans les fluides stratifiés

La turbulence est **modifiée par la stratification**.

L'énergie peut être portée par des tourbillons et par des ondes !



Turbulence forte

Turbulence faible ou d'ondes

$$E(k_{\perp}) \sim \varepsilon^{2/3} k_{\perp}^{-5/3}$$

$$E(k_z) \sim N^2 k_z^{-3}$$

Décrit les petites
échelles de
l'atmosphère

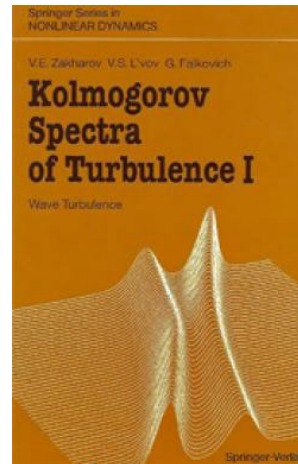
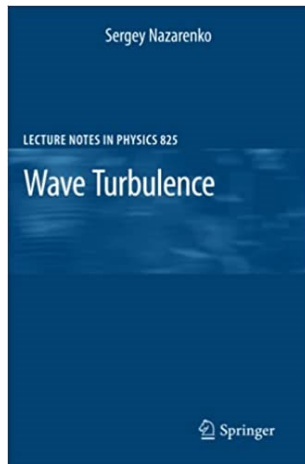
Un problème
encore ouvert

Pourrait décrire les
petites échelles
des **océans**

Théorie de la Turbulence d'ondes

La **théorie de la turbulence d'ondes** décrit un ensemble d'ondes en interaction **faiblement non-linéaire**.

Son formalisme **s'applique à des systèmes très variés**.



Kinetic equations and stationary energy spectra of weakly nonlinear internal gravity waves

P. Caillol, V. Zeitlin*

Laboratoire de Météorologie Dynamique, BP 99, Université P. et M. Curie, 4, pl. Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France

Received 14 January 1999; received in revised form 27 August 1999; accepted 30 August 1999

VOLUME 92, NUMBER 12

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
26 MARCH 2004

Energy Spectra of the Ocean's Internal Wave Field: Theory and Observations

Yuri V. Lvov,¹ Kurt L. Polzin,² and Esteban G. Tabak³

¹*Department of Mathematical Sciences, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York 12180, USA*

²*Woods Hole Oceanographic Institution, MS#21, Woods Hole, Massachusetts 02543, USA*

³*Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, New York, New York 10012, USA*

(Received 9 July 2003; published 24 March 2004)

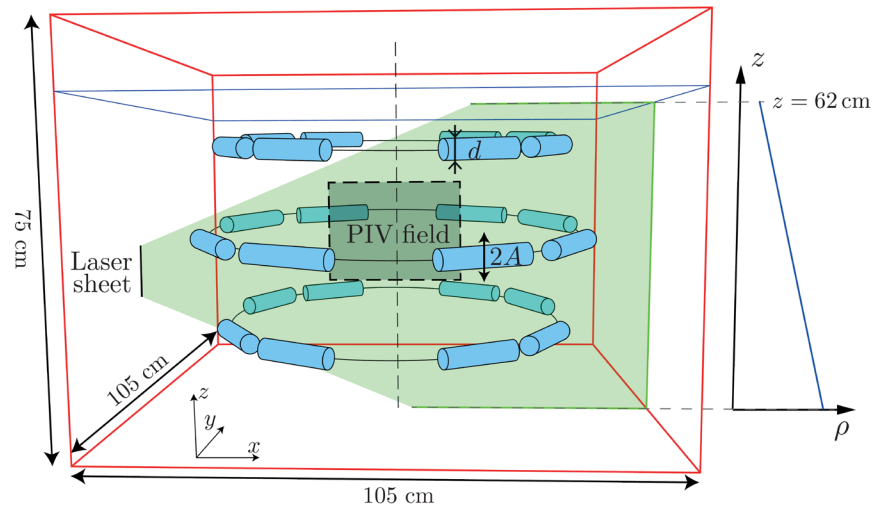
The high-frequency limit of the Garrett and Munk spectrum of internal waves in the ocean and the observed deviations from it are shown to form a pattern consistent with the predictions of wave turbulence theory. In particular, the high-frequency limit of the Garrett and Munk spectrum constitutes an *exact* steady-state solution of the corresponding kinetic equation.

DOI: 10.1103/PhysRevLett.92.128501

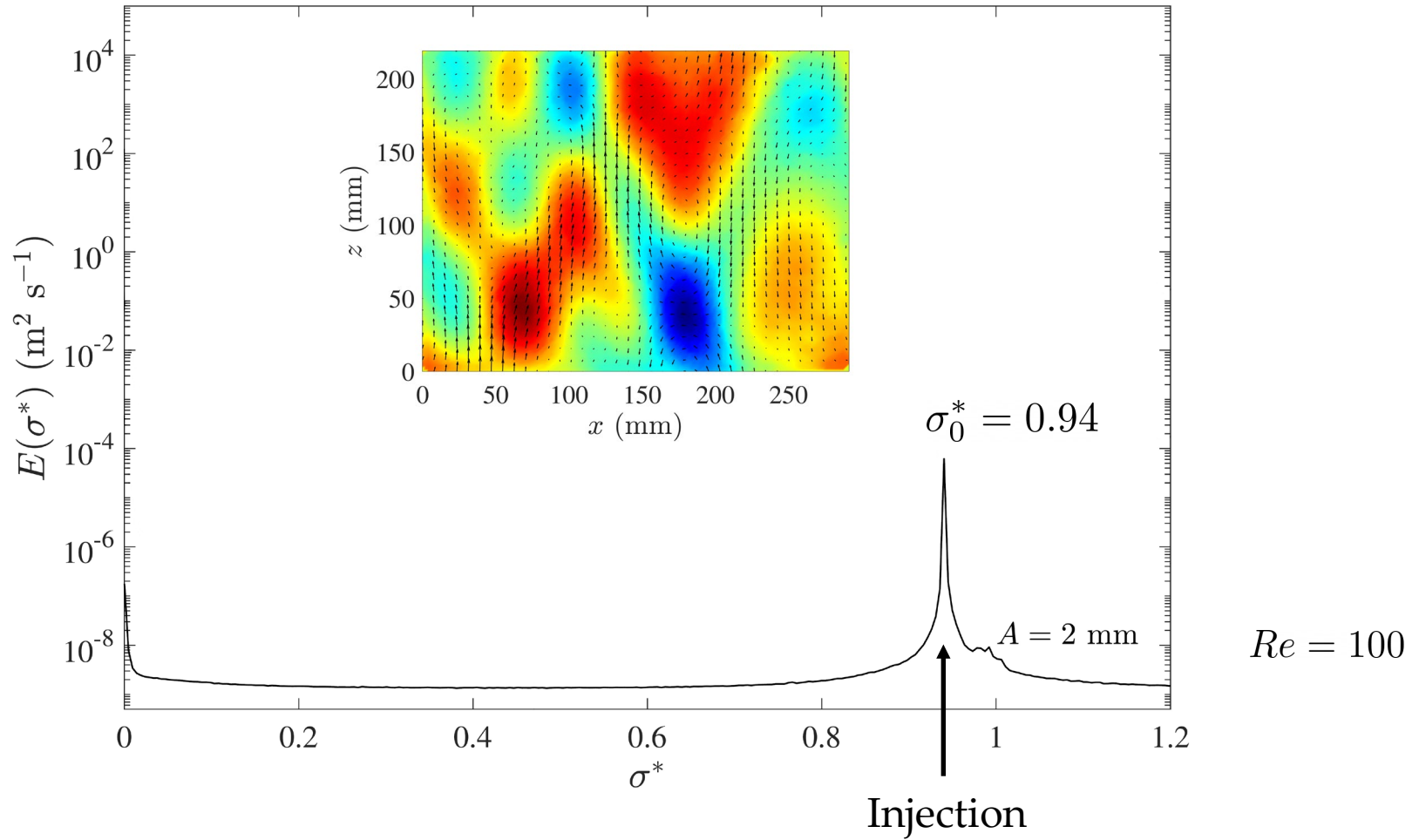
PACS numbers: 92.10.-c, 04.30.Nk

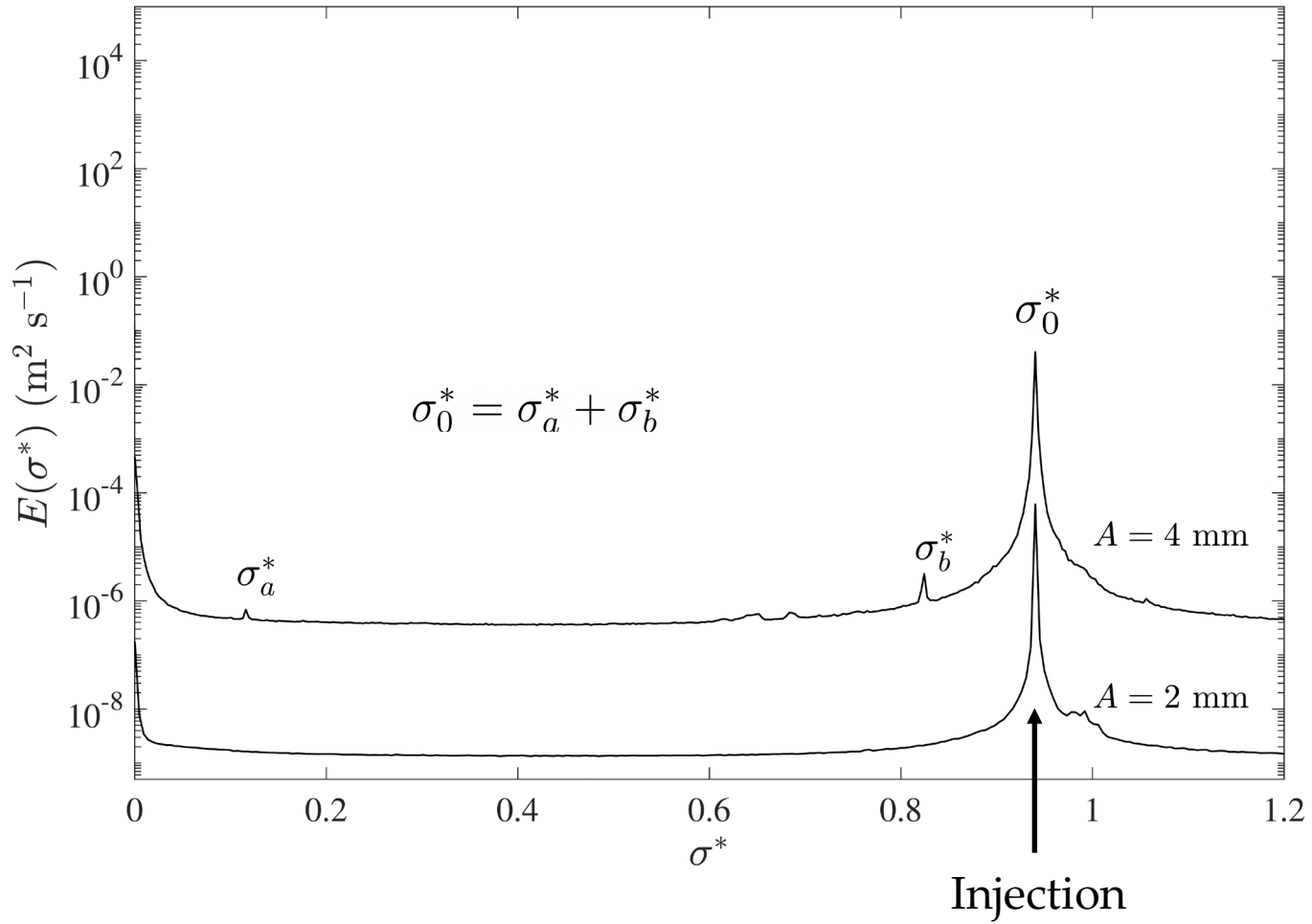
$$E_{PR} \propto k_{\perp}^{-\frac{3}{2}} k_z^{-\frac{3}{2}}$$

Dispositif expérimental

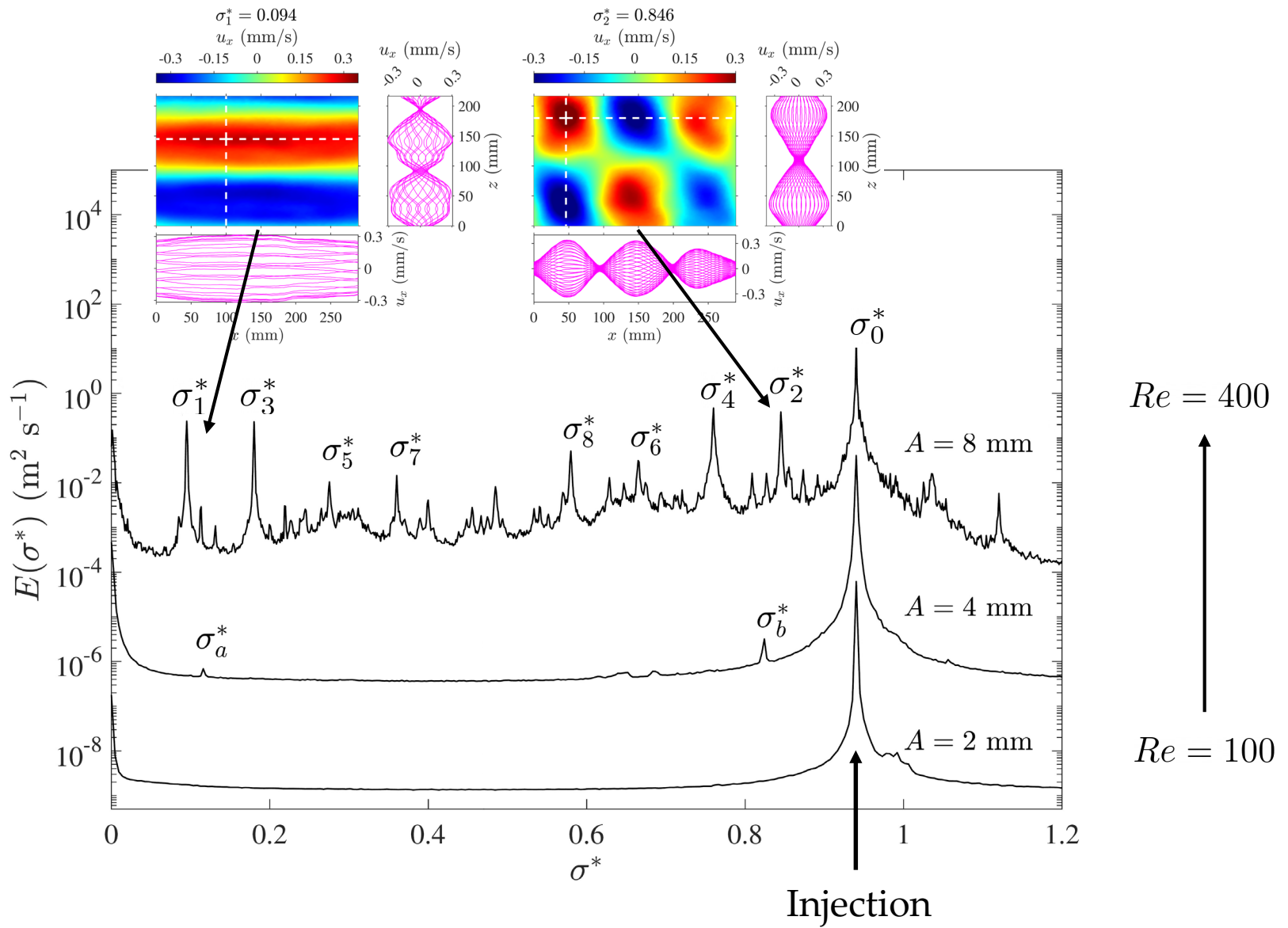


- **24 cylindres** effectuant un mouvement sinusoïdal.
- Injection de l'énergie **uniquement dans des ondes**.
- **Axisymétrie statistique**.





$Re = 200$
 \uparrow
 $Re = 100$



Résultats des autres équipes

PHYSICAL REVIEW FLUIDS 5, 073801 (2020)

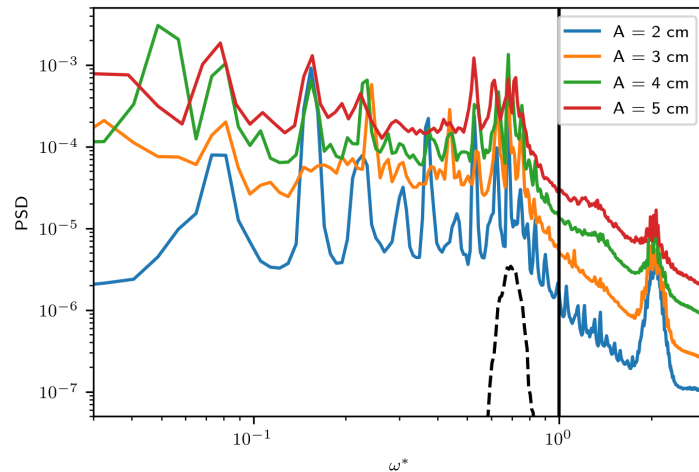
PHYSICAL REVIEW LETTERS 124, 204502 (2020)

Editors' Suggestion

Generation of weakly nonlinear turbulence of internal gravity waves in the Coriolis facility

Clément Savaro[✉], Antoine Campagne[✉], Miguel Calpe Linares, Pierre Augier, Joël Sommeri, Thomas Valran, Samuel Viboud[✉], and Nicolas Mordant^{✉*}
Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels, Université Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble-INP, F-38000 Grenoble, France

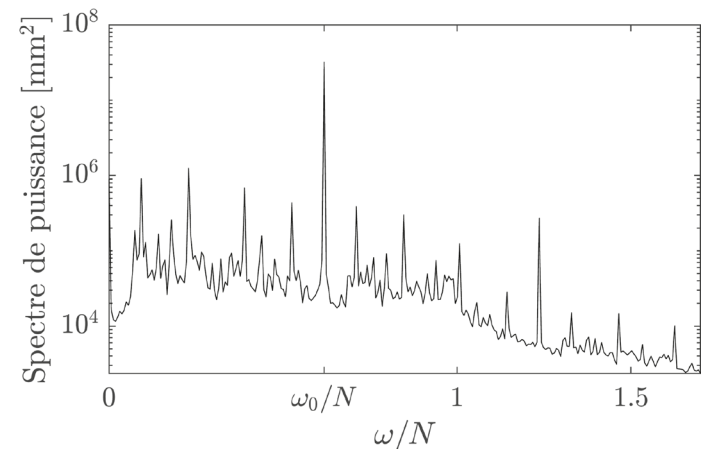
[✉] (Received 13 February 2020; accepted 11 June 2020; published 20 July 2020)



Succession of Resonances to Achieve Internal Wave Turbulence

Géraldine Davis,¹ Timothée Jamin[✉], Julie Deleuze,¹ Sylvain Joubaud^{✉,1,2} and Thierry Dauxois[✉]
¹Univ Lyon, ENS de Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, Laboratoire de Physique, 69367 Lyon Cedex 07, France
²Institut Universitaire de France (IUF), 1 rue Descartes 75005 Paris, France

[✉] (Received 4 December 2019; revised manuscript received 30 March 2020; accepted 23 April 2020; published 21 May 2020)

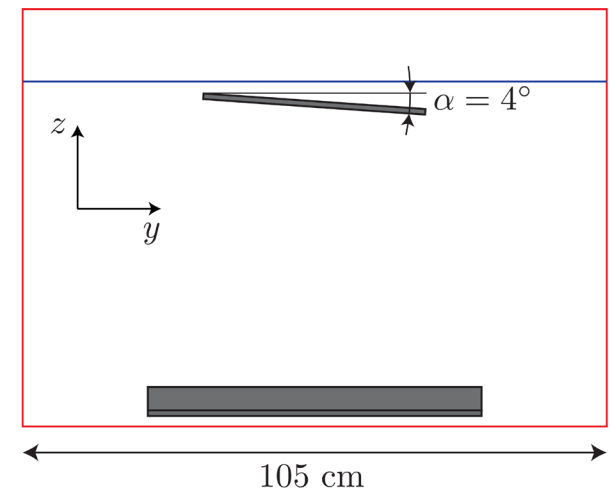
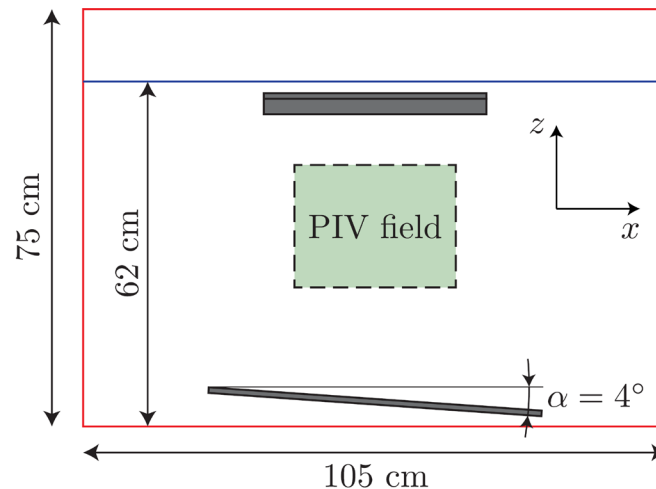


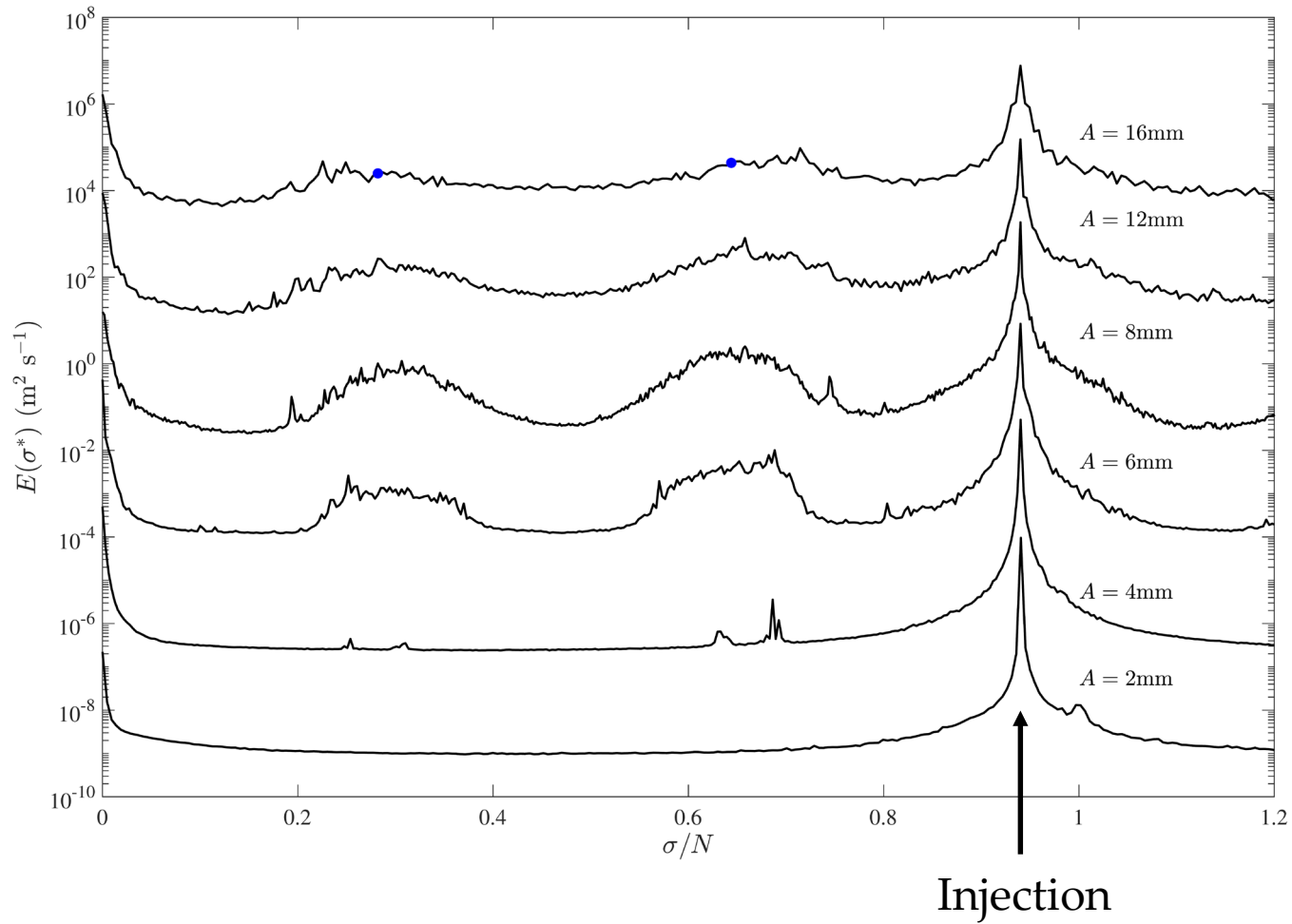
➔ Tous ont des modes de cavité !

Comment inhiber ces modes ?

La **présence d'ondes stationnaires** portant beaucoup d'énergie est peu compatible avec l'idée qu'on se fait d'un **régime de turbulence d'ondes**.

→ Ajout de plans inclinés





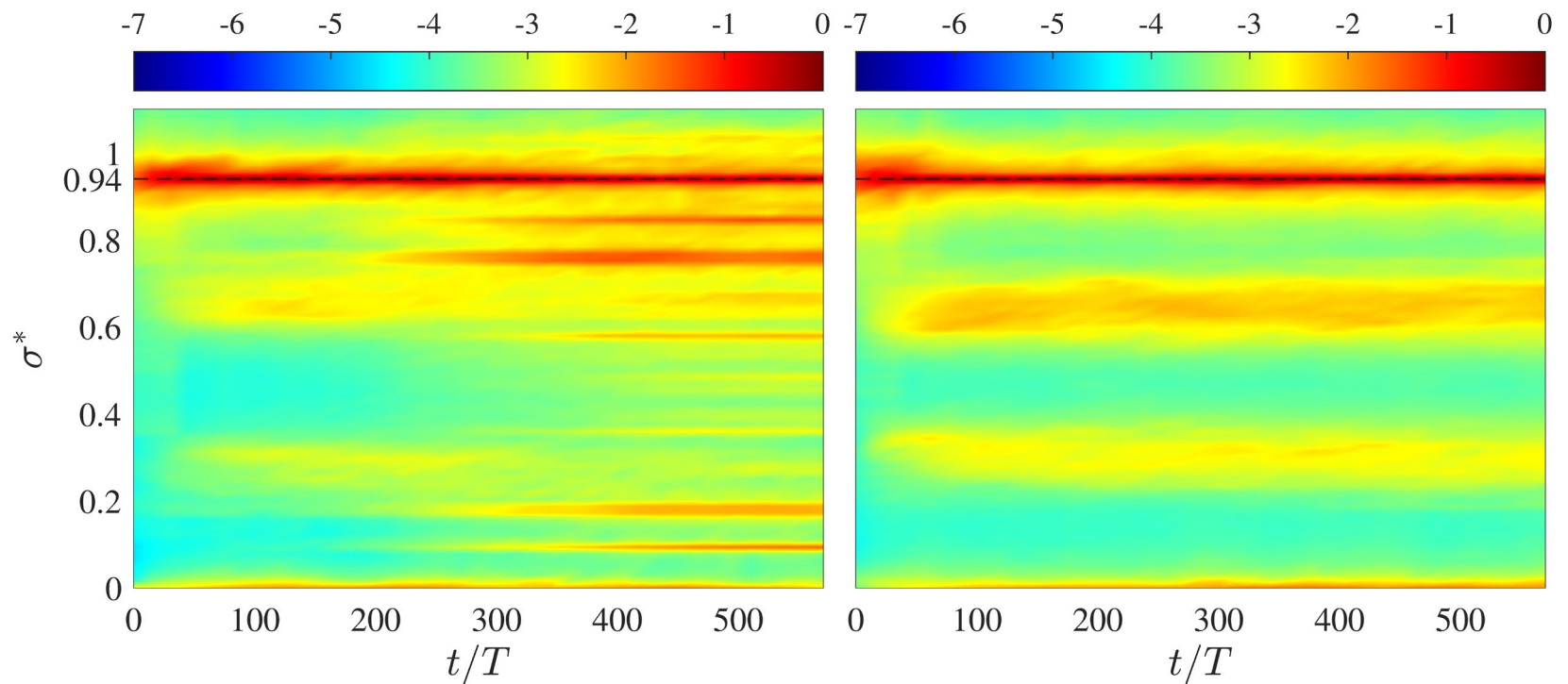
$Re = 700$

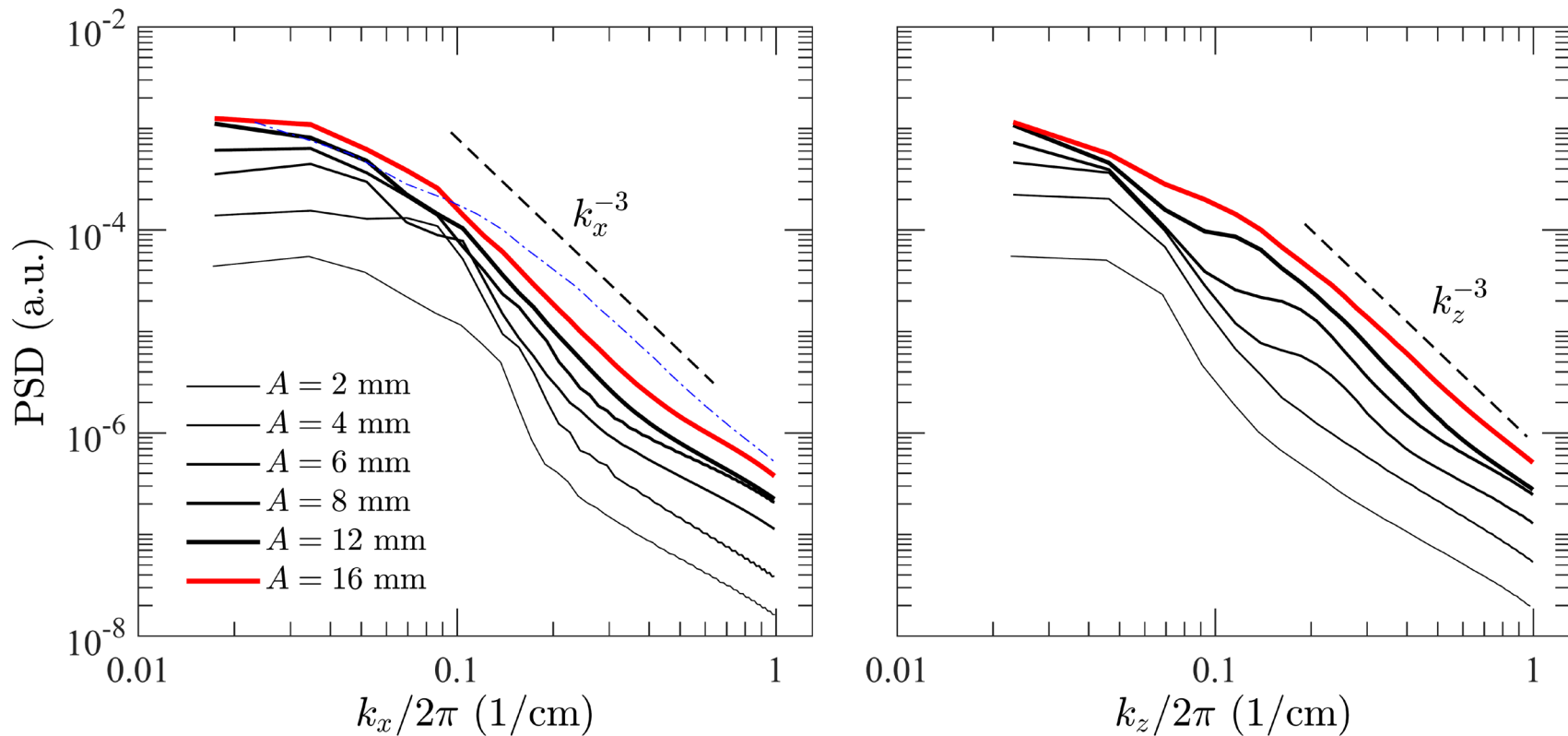
$Re = 100$

Dynamique temporelle

Sans plan incliné

Avec plans inclinés





Nos résultats sont **différents** des prédictions théoriques
et des observations océaniques

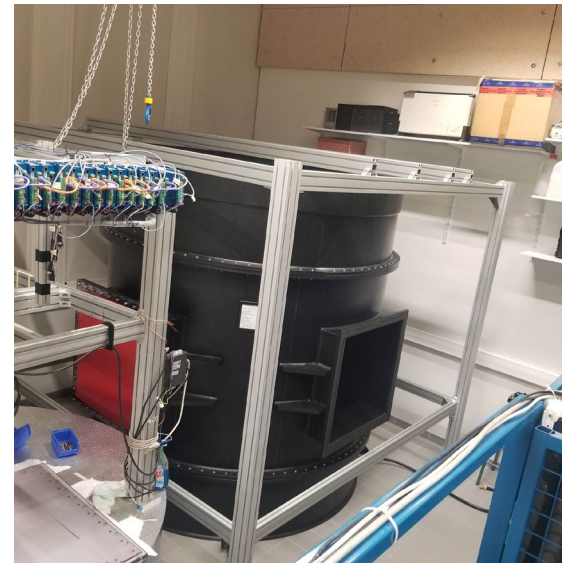
Conclusion et Perspectives

Nous avons réussi à **inhiber l'apparition** de **mode propre de cavité** dans notre écoulement.

Nous avons pu observer un **début de régime de turbulence d'ondes**.

Cependant, nos **nombre de Reynolds sont encore trop faibles** et nous craignons de **ne plus être faiblement non-linéaire**.

Notre solution :
Le **Stratodon** !



Merci de votre attention !