



Interaction Ondes-Vortex

Claudio Falcón
(LPS-ENS Paris)

Plan

- Motivation
- Ondes Paramétriques
 - Introduction
 - Dispositif Expérimental
- Ecoulement périodique de vortex
- Interaction Ondes/Vortex
 - Données Expérimentales
- Conclusion
- Perspectives

Motivation

- Etudier l'interaction d'un écoulement périodique de tourbillons avec l'écoulement cellulaire que engendre des ondes de surface (**paramétriques**).
- Rechercher le changement du seuil de l'instabilité paramétrique en fonction de l'intensité de l'écoulement tourbillonnaire (**viscosité turbulente**).

Ondes paramétriques

Excitation Paramétrique

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega^2 x = 0$$



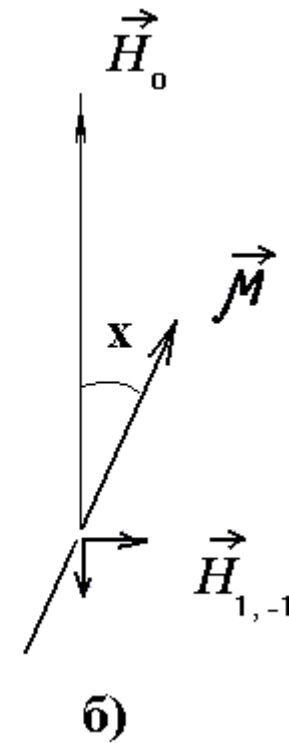
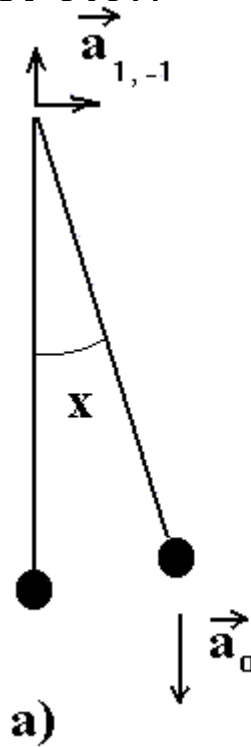
Pendule classique

$$\gamma, \omega > 0,$$

$$x \sim x_0 e^{-\gamma t} \cos(\Omega t), \quad \Omega = \sqrt{\omega^2 - \gamma^2}$$

Dans le cas de modulation des paramètres du système (Faraday 1831, Mathieu 1838, Melde 1856. etc.)

$$\omega(t)^2 = \omega_0^2 + \omega_1^2 \cos(\omega_3 t)$$



Excitation Paramétrique

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega^2 x = 0 \quad \longrightarrow \quad \text{Pendule classique}$$

$$\gamma, \omega > 0, \quad x \sim x_0 e^{-\gamma t} \cos(\Omega t), \quad \Omega = \sqrt{\omega^2 - \gamma^2}$$

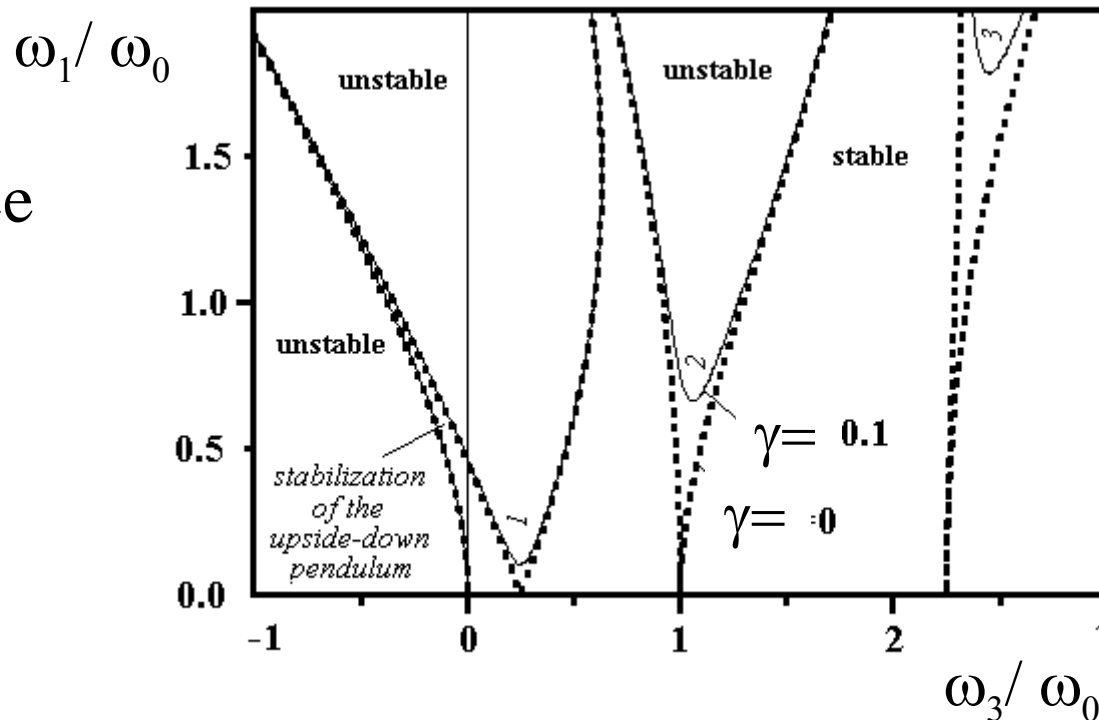
Dans le cas de changer la fréquence au cours du temps

$$\omega(t)^2 = \omega_0^2 + \omega_1^2 \cos(\omega_3 t)$$

Condition de resonance

$$\omega_0 / \omega_3 = n / 2,$$

$$(\gamma = 0)$$



Excitation Paramétrique

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega^2 x = 0 \quad \longrightarrow \quad \text{Pendule classique}$$

$$\gamma, \omega > 0, \quad x \sim x_0 e^{-\gamma t} \cos(\Omega t), \quad \Omega = \sqrt{\omega^2 - \gamma^2}$$

Dans le cas de changer la fréquence au cours du temps

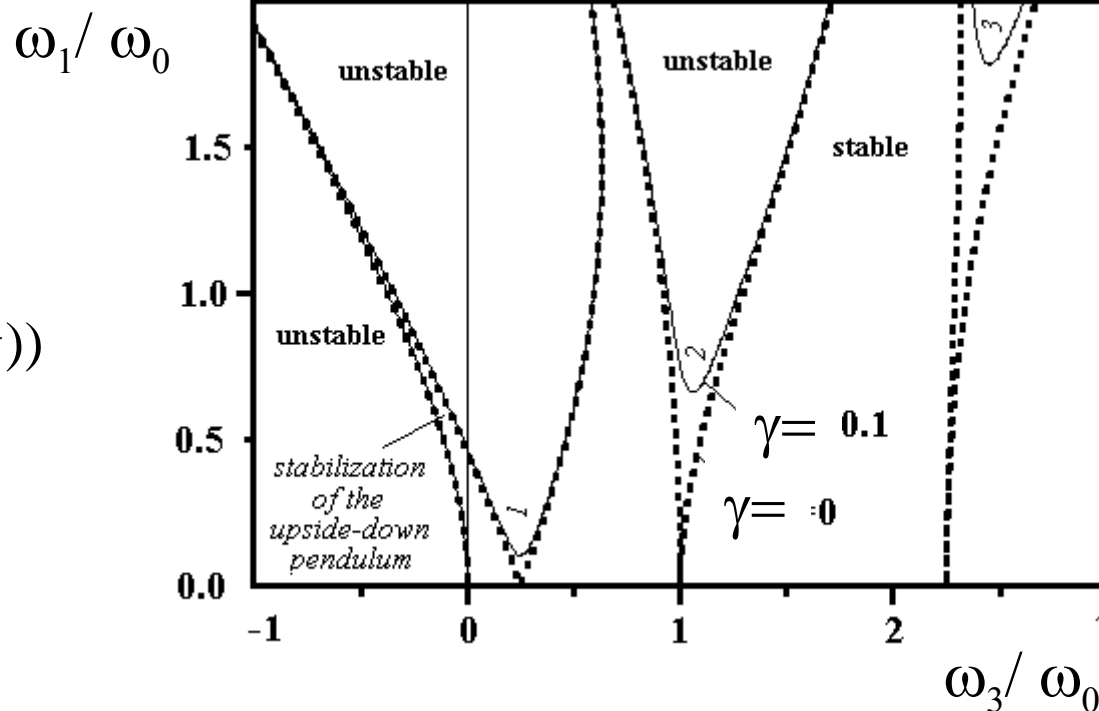
$$\omega(t)^2 = \omega_0^2 + \omega_1^2 \cos(\omega_3 t)$$

Ondes de surface

$$\ddot{\xi}_k + 2\nu k^2 \dot{\xi}_k + \omega_k(t)^2 \xi_k = 0,$$

$$\omega_k(t)^2 = \omega_k^2 \left(1 + \frac{\Gamma}{\omega_k^2} \cos(\Omega t)\right)$$

$$\omega_k^2 = \left(gk + \frac{\sigma}{\rho} k^3\right) \tanh(hk)$$



Excitation Paramétrique

- Proche de la resonance, $\nu = (2\omega_k - \Omega) / 2\omega_k$, $\lambda = (\gamma_c - \gamma) / \gamma$, $\mu = (\Gamma - \Gamma_c) / \Gamma$

$$\partial_t A = (-\lambda + i\nu)A + \mu\bar{A} - \beta_r |A|^2 A - i\beta_i |A|^2 A + \partial_{xx} A$$

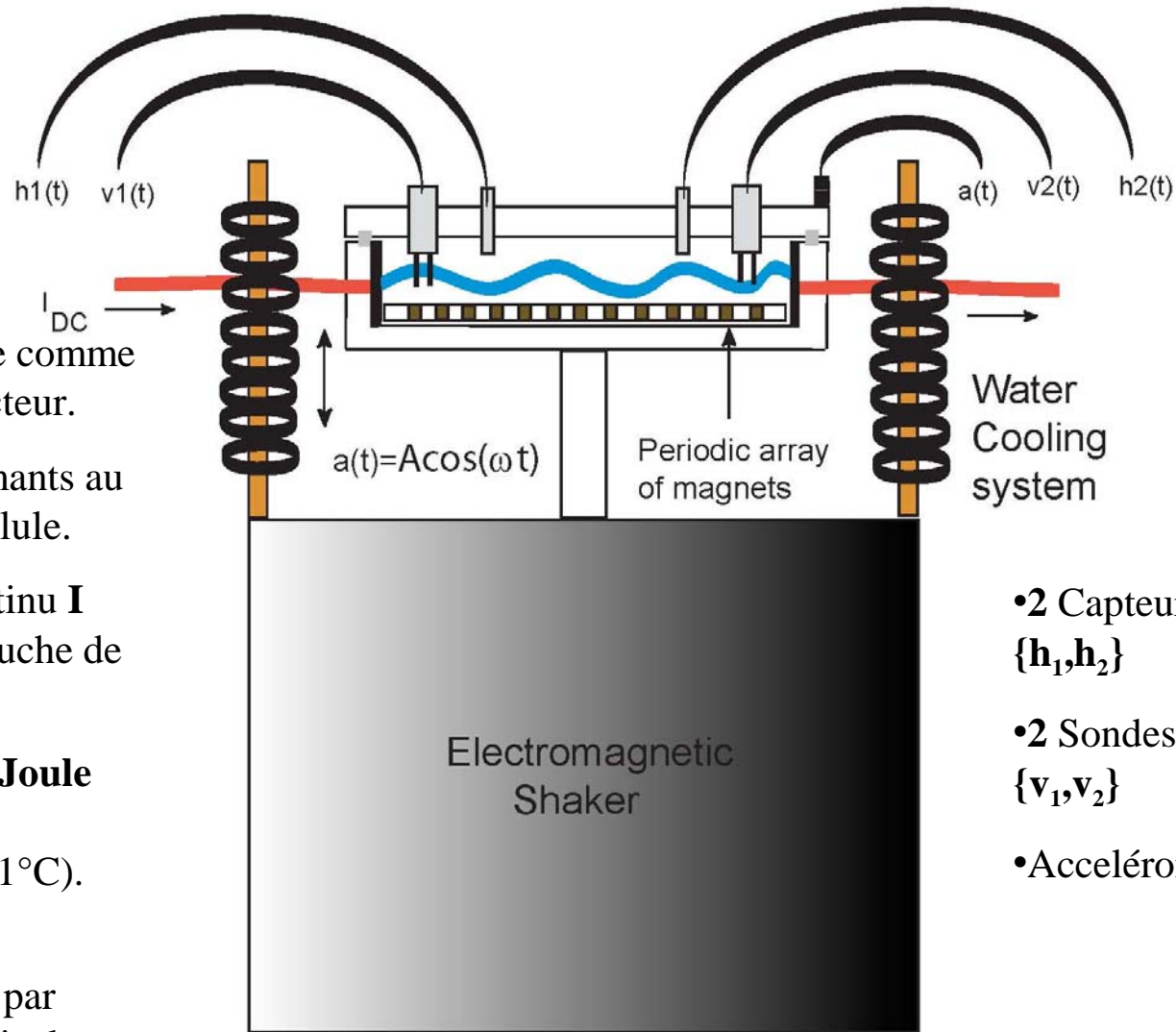
Diagram illustrating the physical processes associated with the terms in the amplitude equation:

- $-\lambda$: dissipation
- $i\nu$: detuning
- $\mu\bar{A}$: forçage
- $-\beta_r |A|^2 A$ and $-i\beta_i |A|^2 A$: Saturation y renormalisation de la fréquence
- $\partial_{xx} A$: diffusion

une equation d'amplitude pour la variable complexe $\mathbf{A}(\mathbf{x}, \mathbf{t})$ peut décrire la croissance du mode "le plus instable".

- Comment le bruit joue sur l'instabilité?
- Comment change la dynamique globale?
- **Est-ce que l'écoulement (fluctuations spatio-temporelles) peut changer le seuil d'instabilité?**

Dispositif Expérimental



- **Hg**: Mercure comme fluide conducteur.

- Réseau d'aimants au fond de la cellule.

- Courant continu I traverse la couche de mercure.

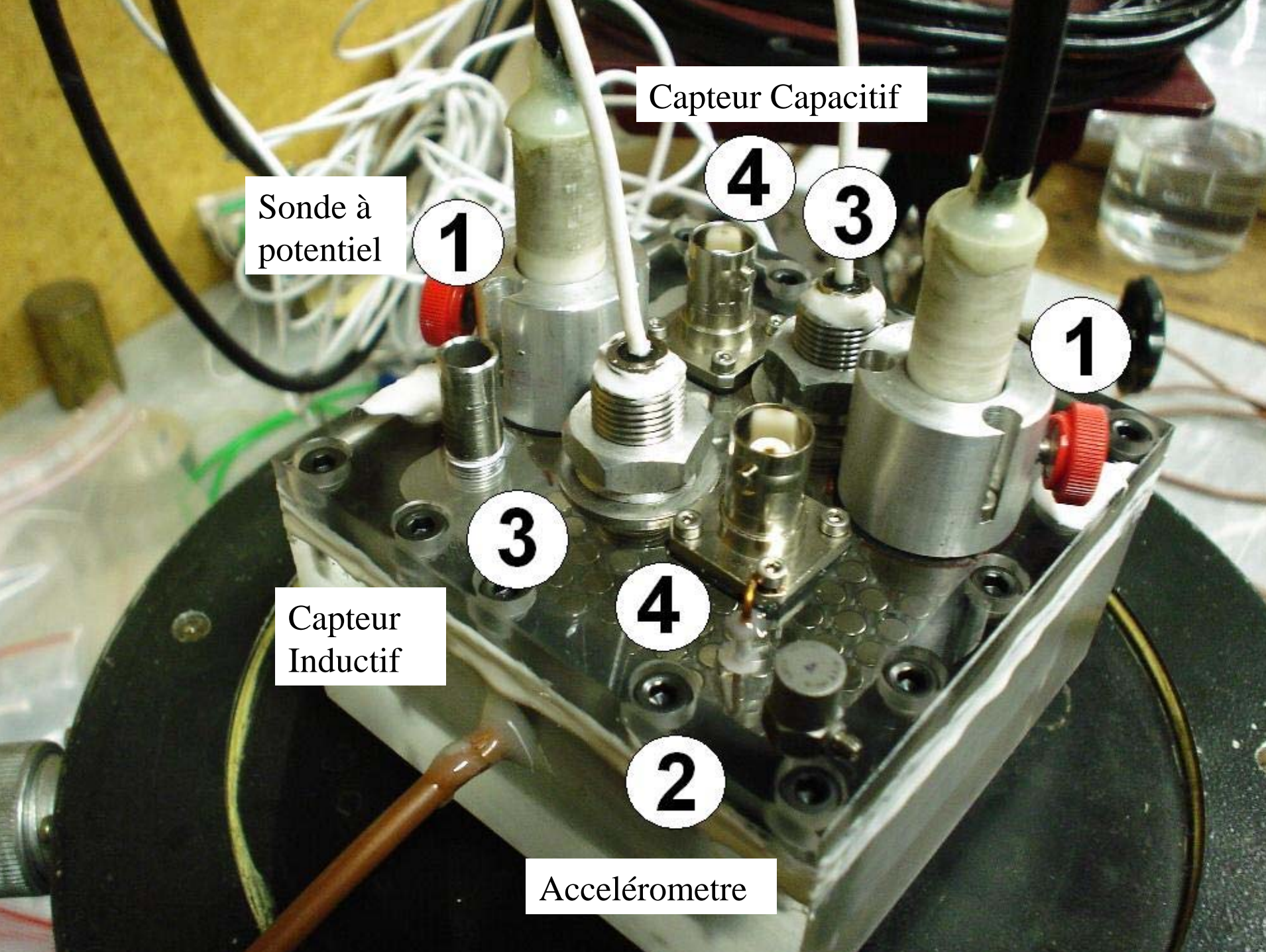
- **Dissipation Joule** contrôlée en température (1°C).

- Excitation paramétrique par vibration verticale $f(t)$.

- 2 Capteurs Inductifs $\{h_1, h_2\}$

- 2 Sondes de Potentiel $\{v_1, v_2\}$

- Accéléromètre $a(t)$



Capteur Capacitif

Sonde à potentiel

1

4

3

1

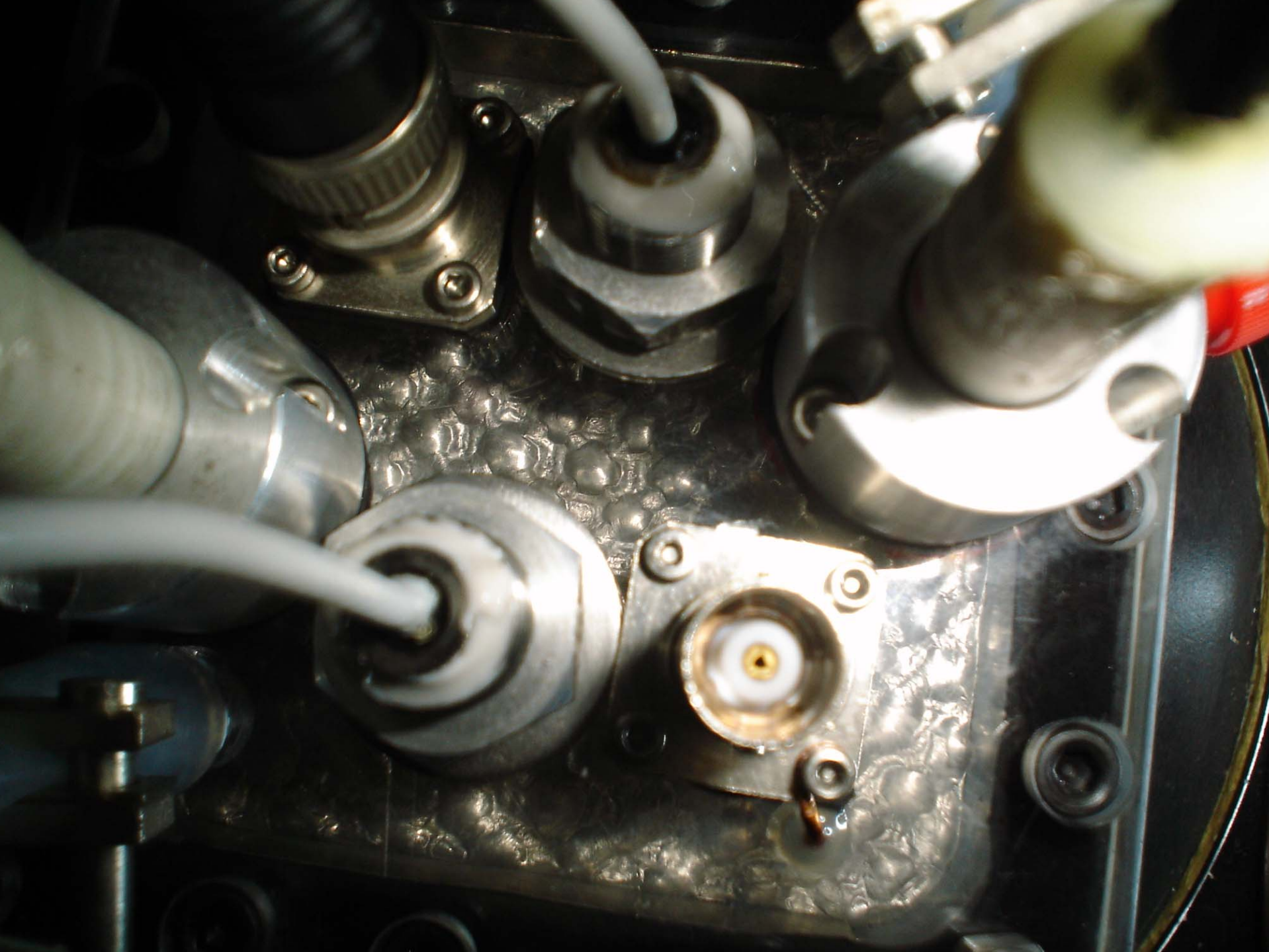
3

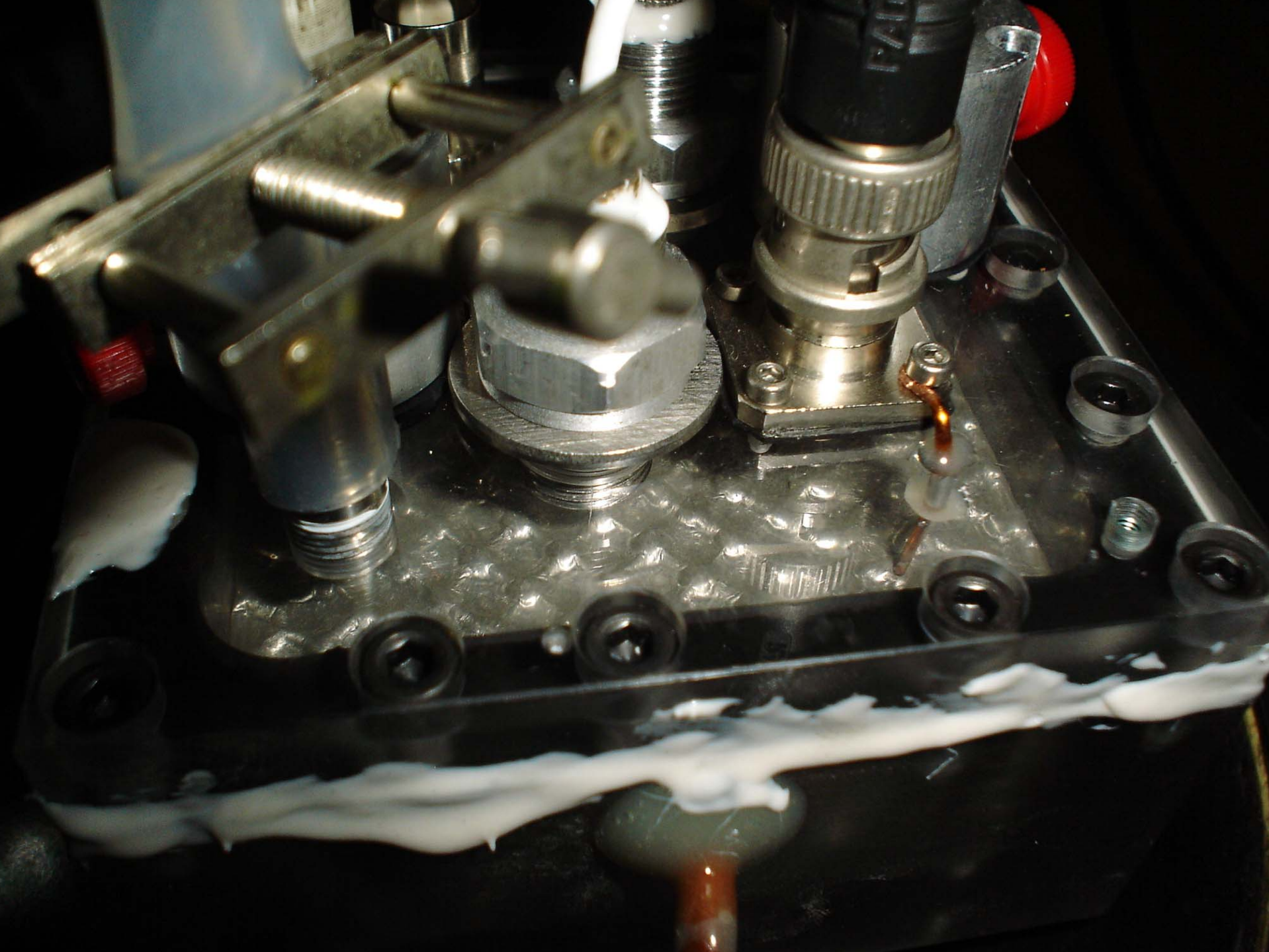
Capteur Inductif

4

2

Accéléromètre





Ecoulement Périodique de Vortex

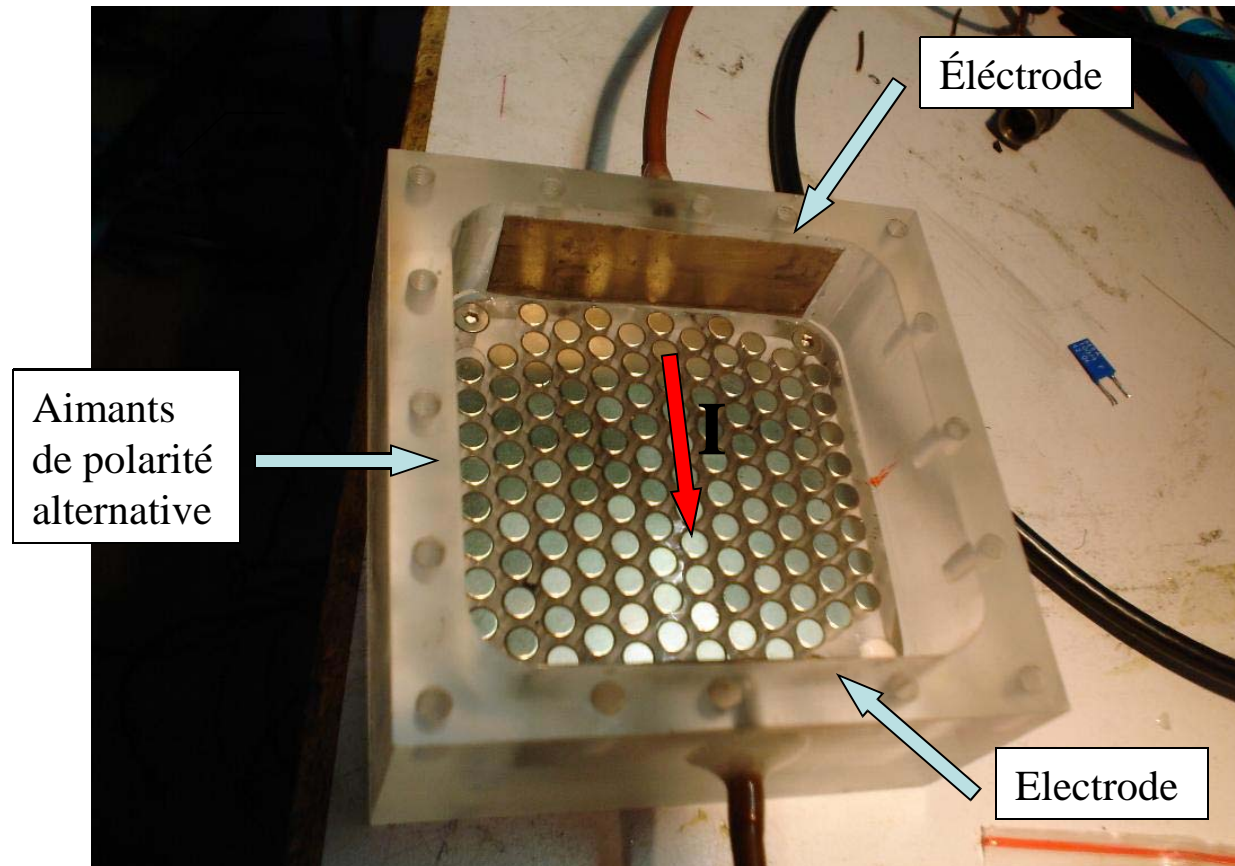
- Conducteur en présence d'un champ magnétique \mathbf{B} y un courant \mathbf{j} présente une force de Lorentz par unité de volume:

$$\mathbf{F}_L = \mathbf{j} \times \mathbf{B}$$

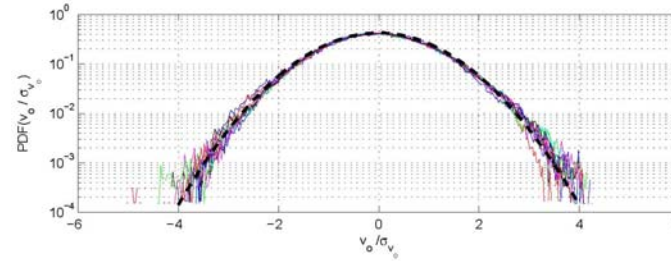
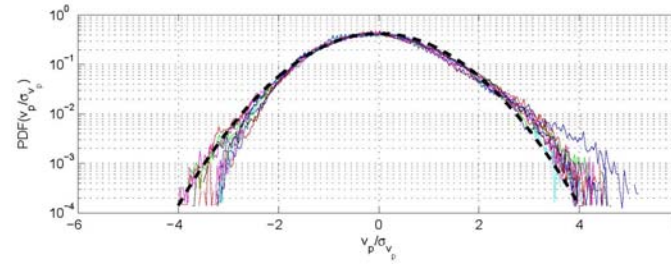
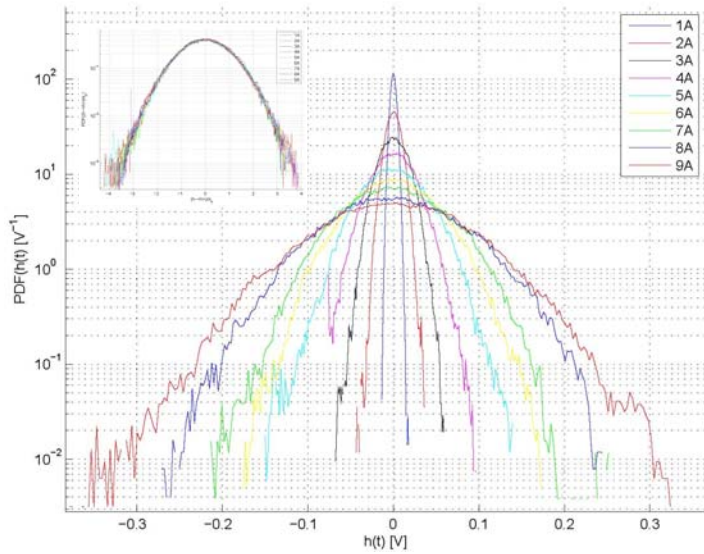
- En présence de un réseau périodique d'aimants avec \mathbf{j} constante, on engendre une force de Lorentz périodique ($\lambda = 5 \text{ mm}$)

- Cette force de Lorentz engendre un réseau hexagonal de tourbillons.

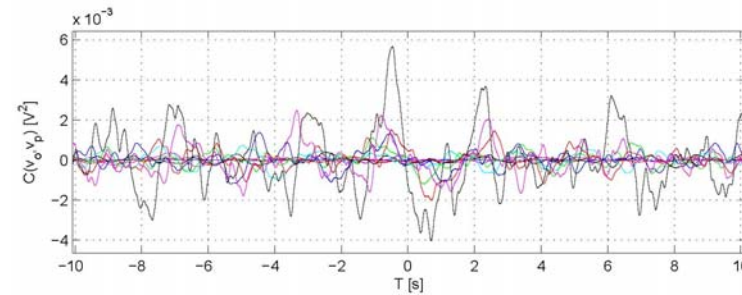
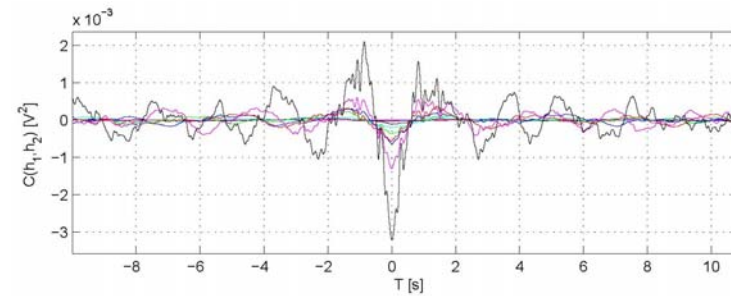
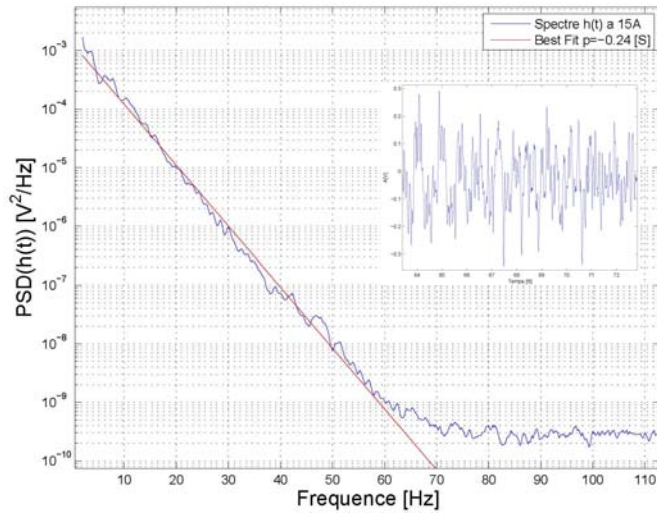
- Aimants en resseau hexagonal de polarité alternative
- Epaisseur de la couche de \mathbf{Hg} de 5 mm.



Interaction Ondes-Vortex

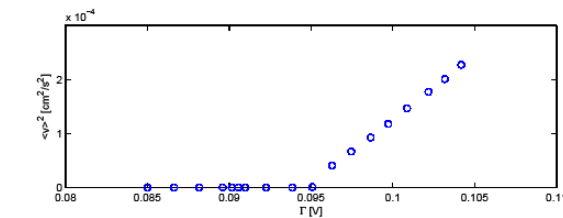
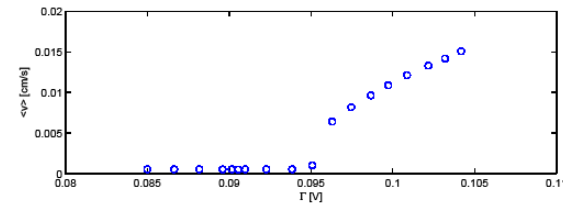
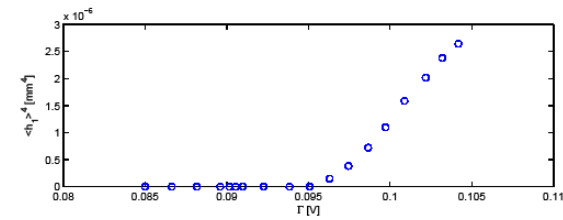
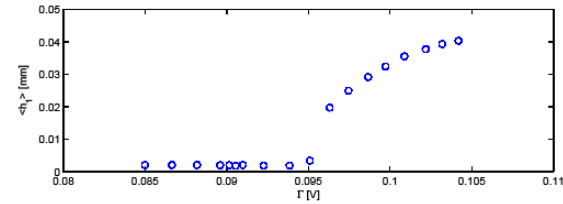
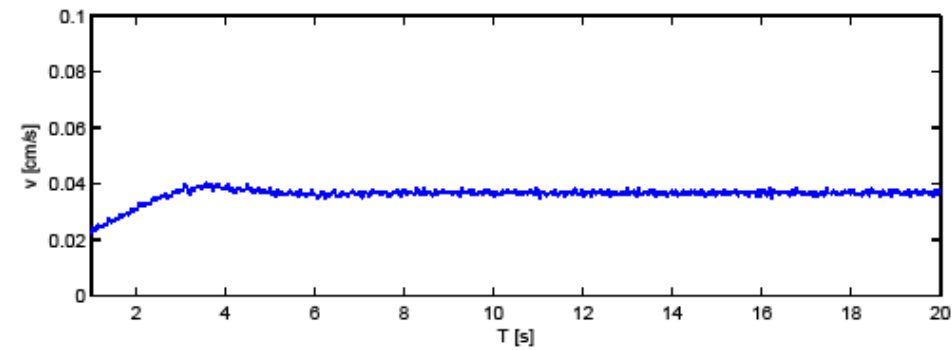
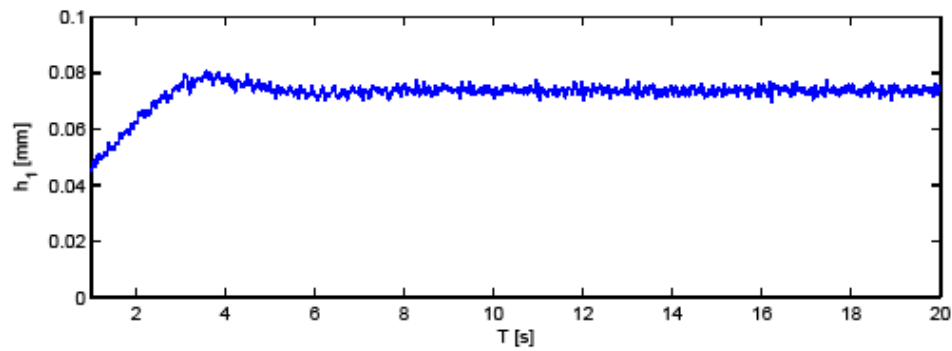


•Ecoulement tourbillonnaire



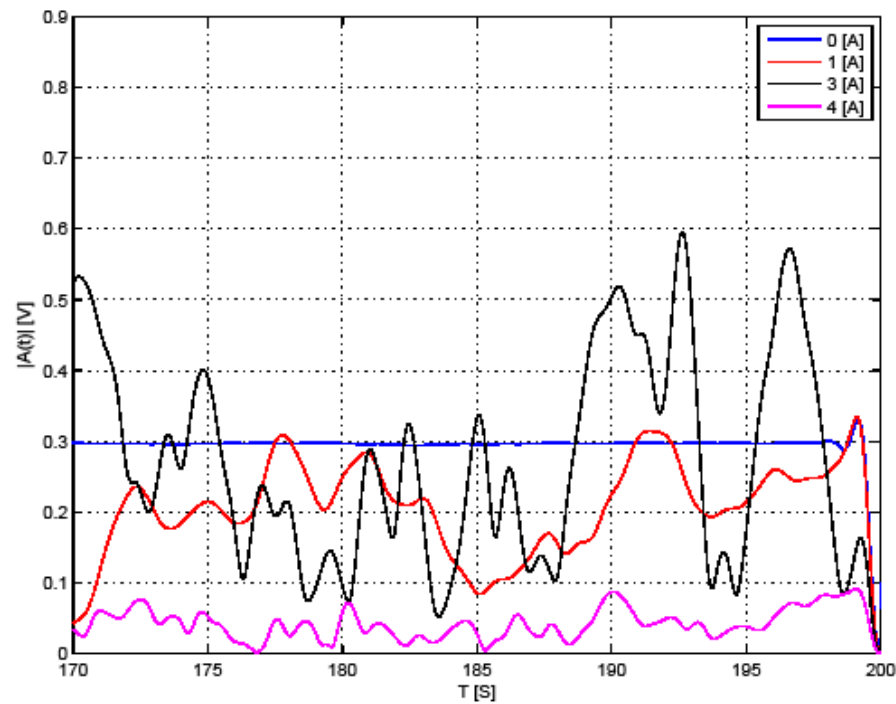
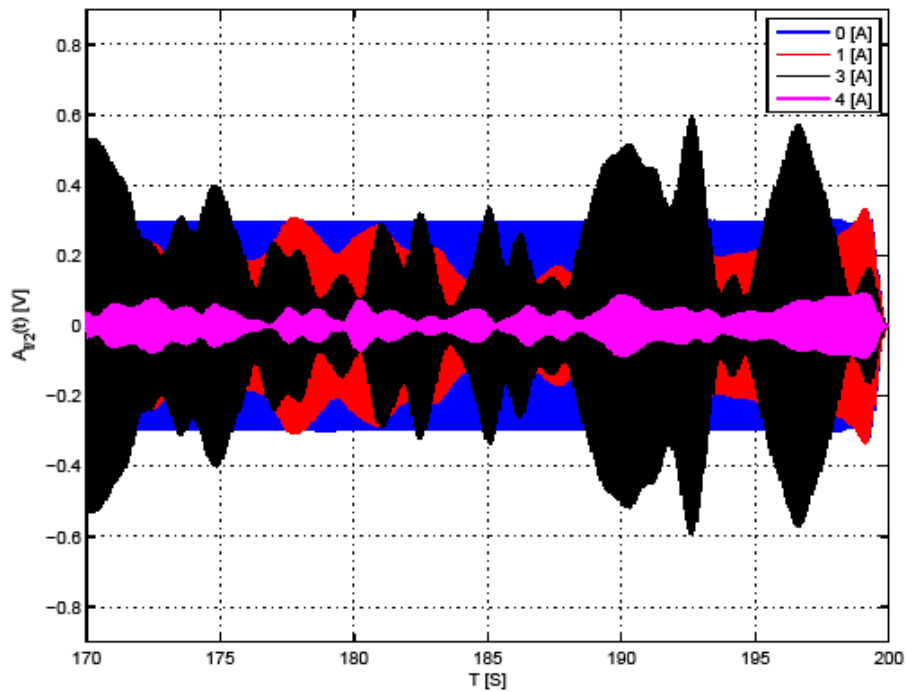
Interaction Ondes-Vortex

- Ondes Paramétriques



Interaction Ondes-Vortex

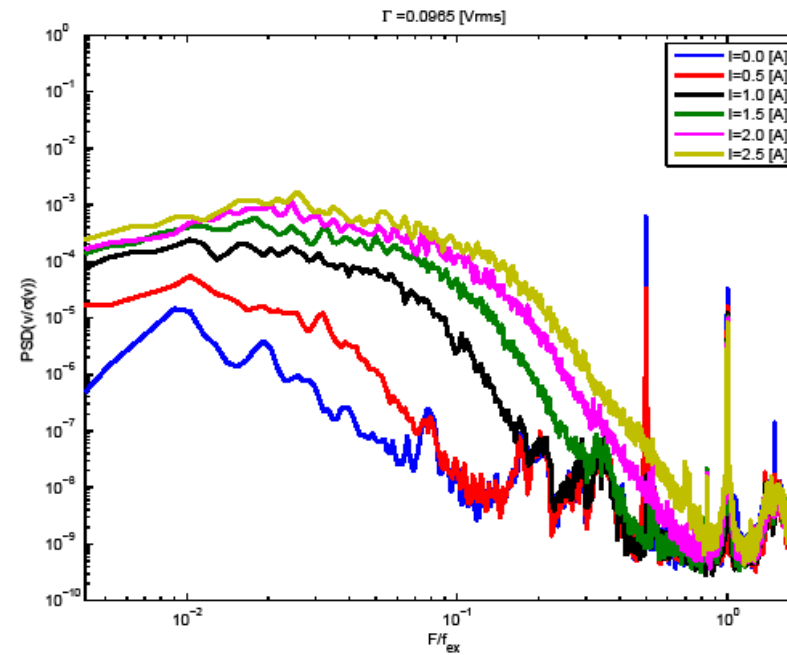
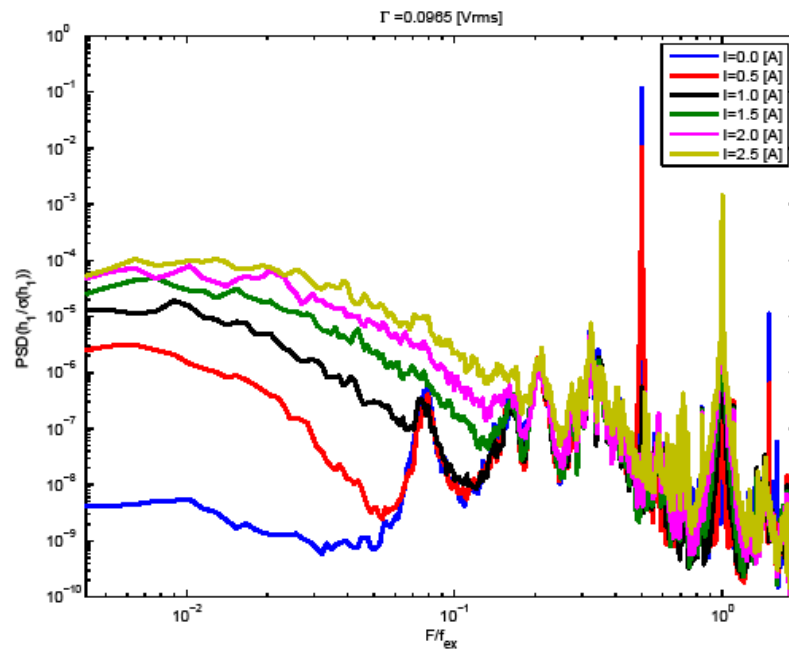
- Ondes Paramétriques



- Avec le courant, l'amplitude des vagues devient plus faible et les fluctuations d'amplitude augmentent.

Interaction Ondes-Vortex

- Interaction Ondes-Vortex

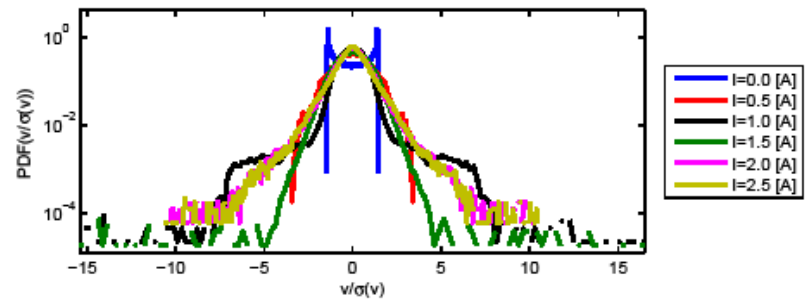
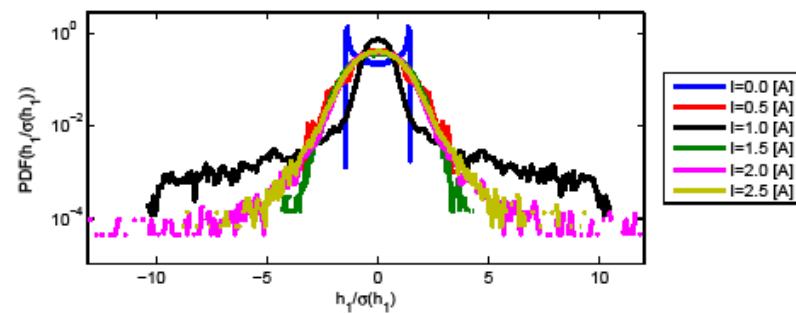
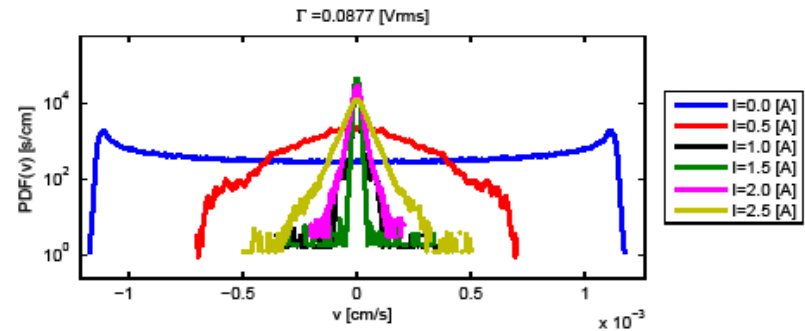
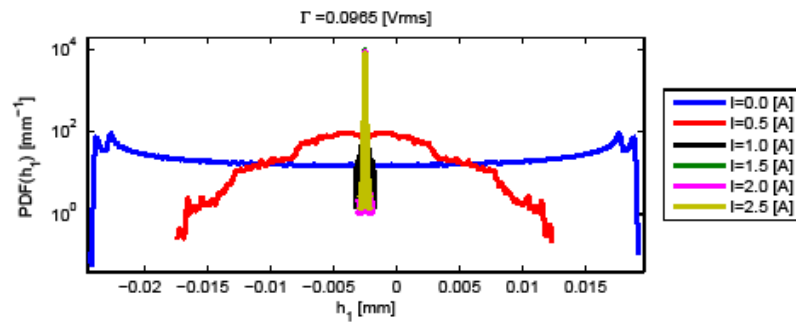


- Basses fréquences

- Destruction du pic à $f/2$

Interaction Ondes-Vortex

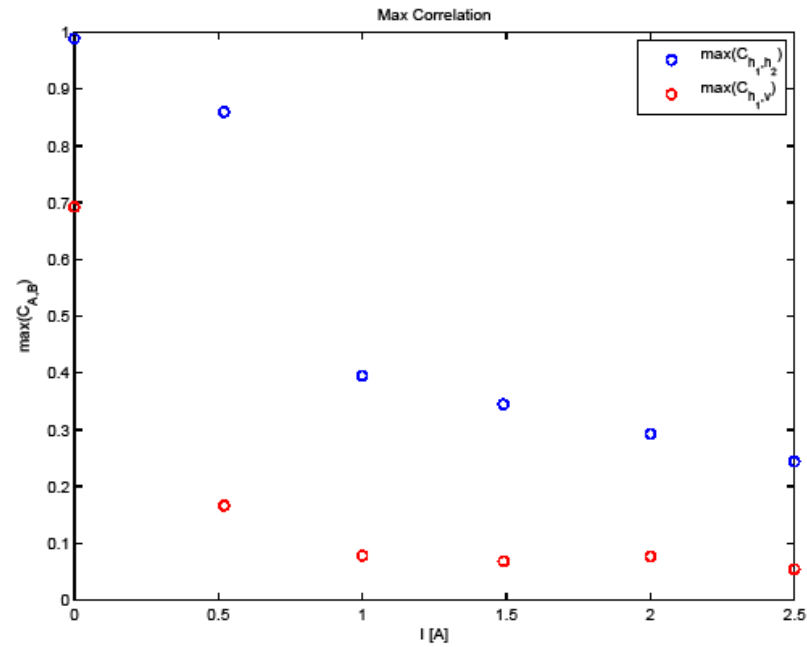
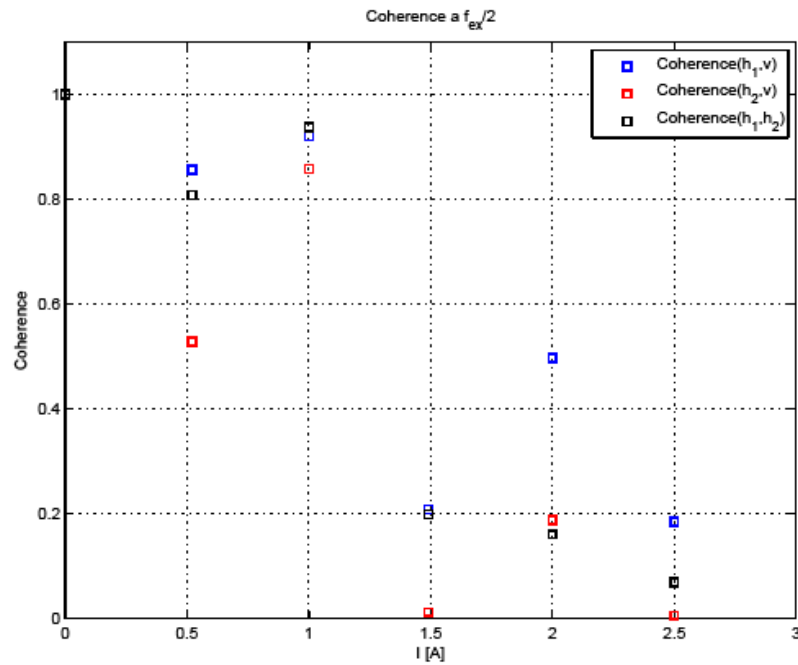
- Interaction Ondes-Vortex



- Sous-harmonique avec de grandes excursions
- Ecart-types de plus en plus petits

Interaction Ondes-Vortex

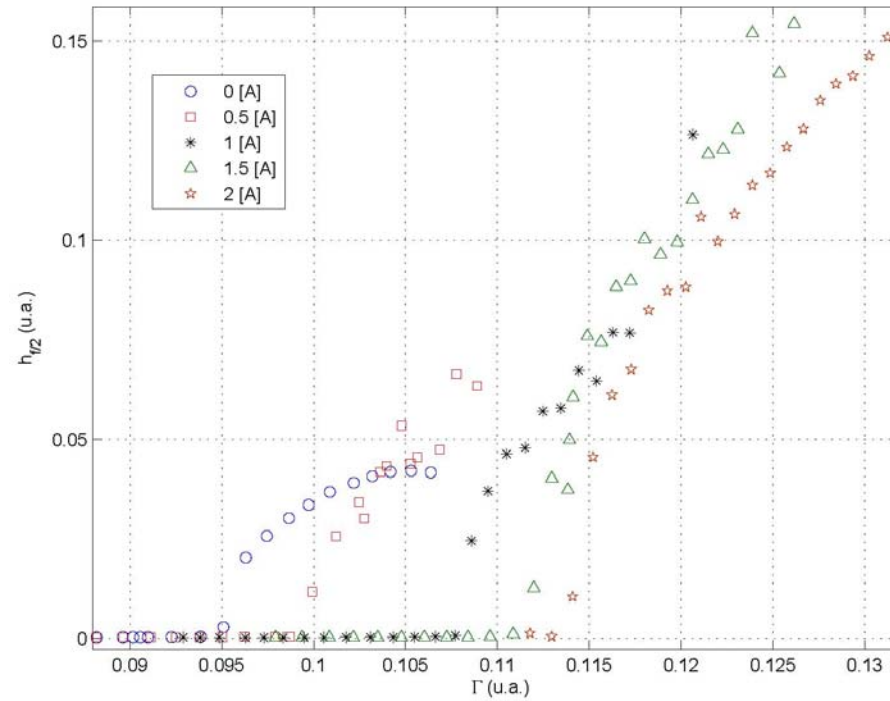
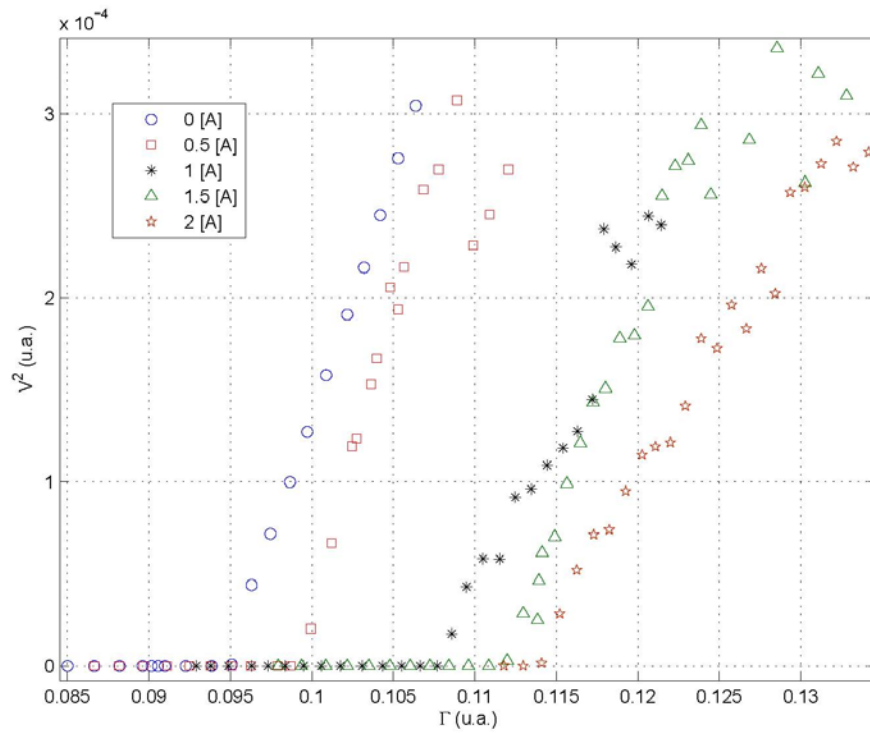
- Interaction Ondes-Vortex



- Les hauteurs sont décorréélées en augmentant le courant I
- Les hauteurs perdent leur cohérence en augmentant le courant I

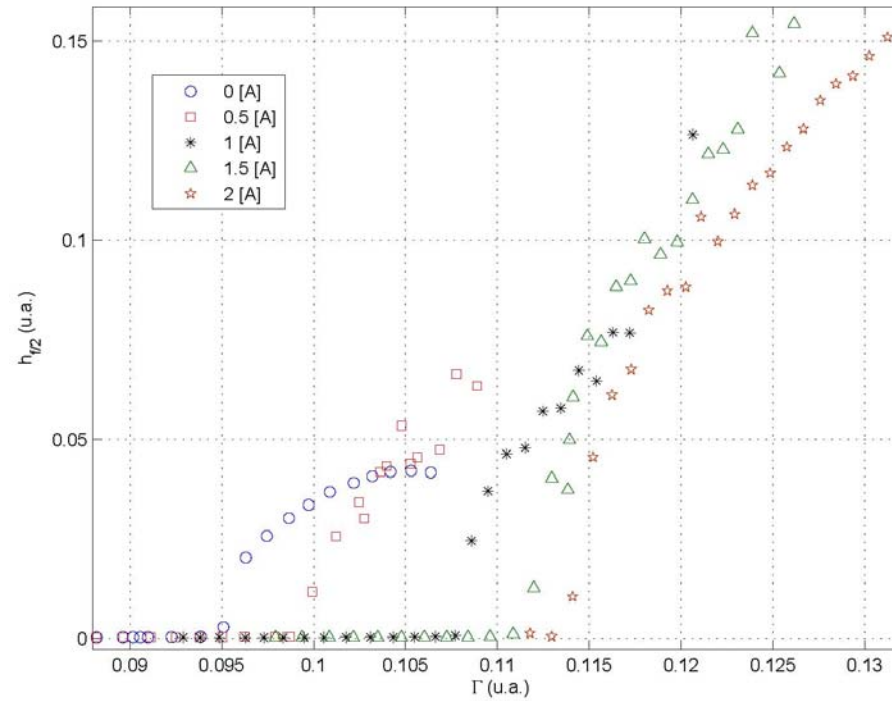
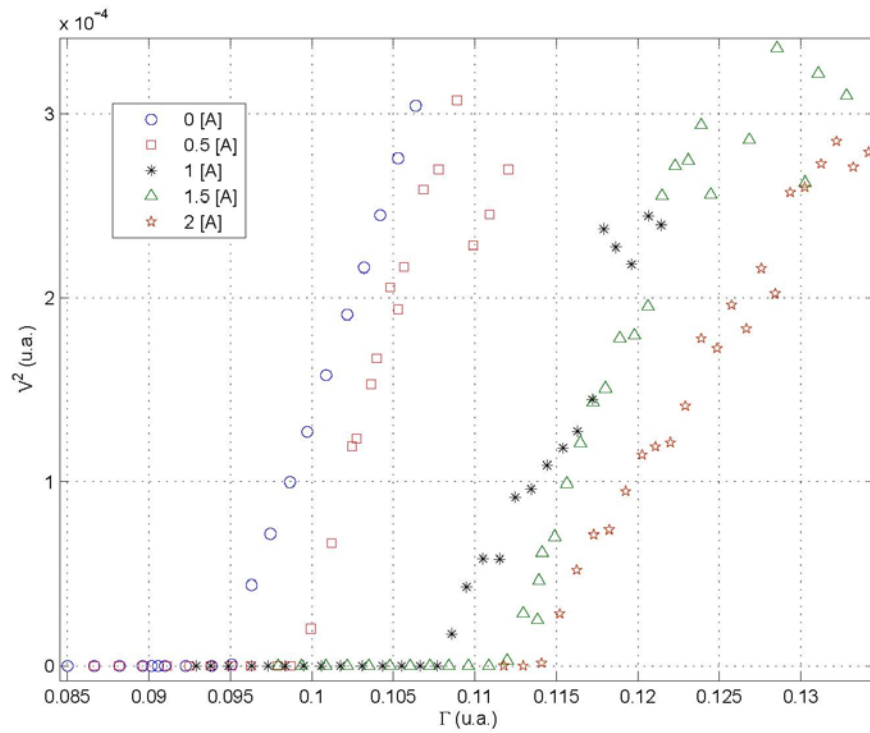
Interaction Ondes-Vortex

- Interaction Ondes-Vortex



Interaction Ondes-Vortex

- Interaction Ondes-Vortex



Conclusion

- En augmentant la vitesse de l'écoulement
 - 1.- Le seuil d'instabilité paramétrique augmente
 - 2.- La corrélation et la cohérence des amplitudes locales des vagues diminuent