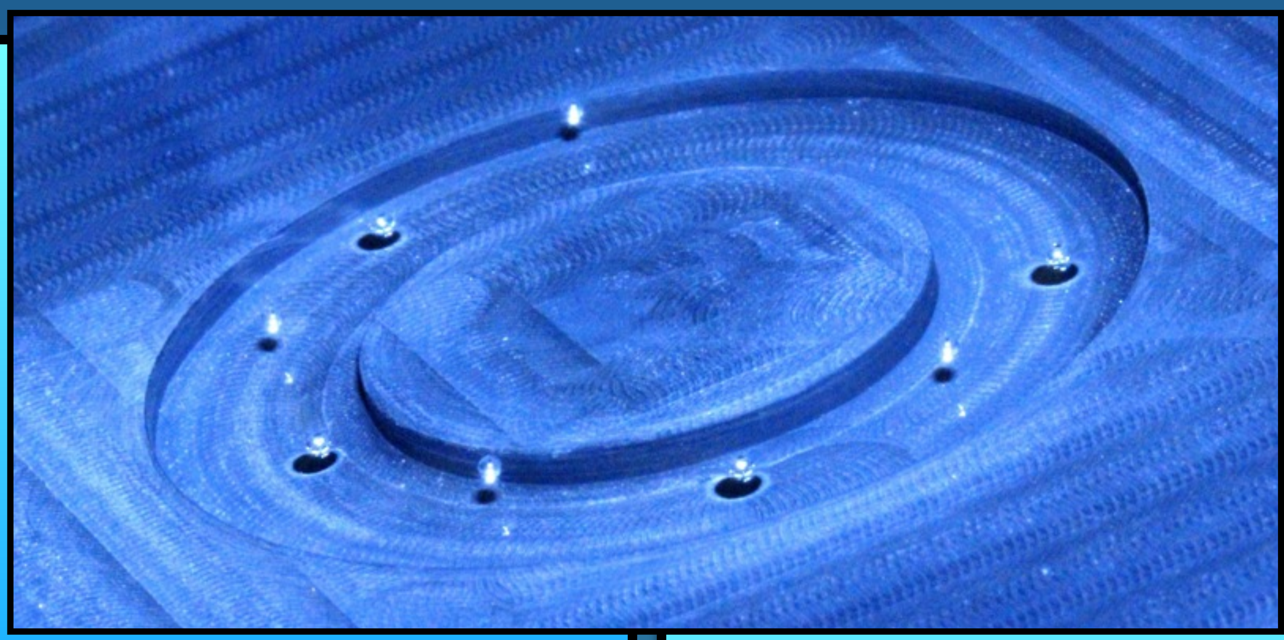
Un anneau pour les gouverner tous

B. Filoux, M. Hubert and N. Vandewalle

Contexte

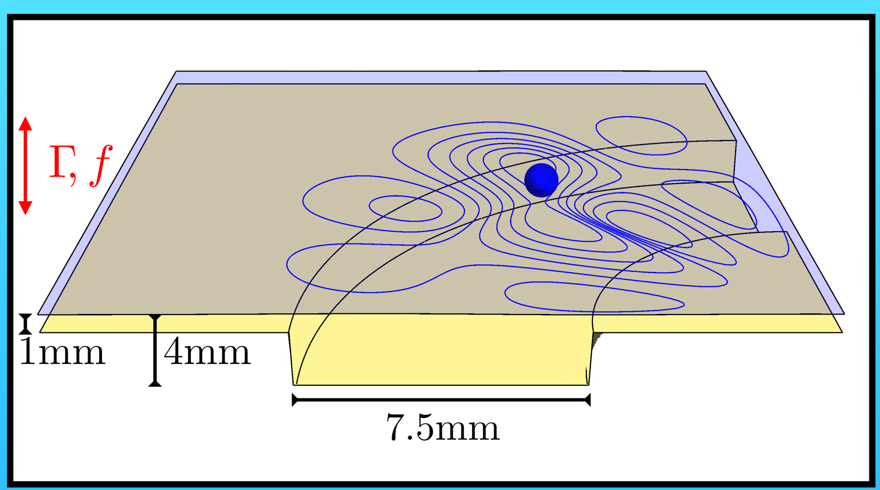


Une goutte placée sur un bain oscillant verticalement rebondit indéfiniment [1]. Au voisinage du seuil de Faraday, la goutte interagit avec son propre champ d'ondes, ce qui lui permet de se mouvoir. On parle de **marcheur**.

De nombreuses études sur le confinement 2D du **marcheur** ont déjà été réalisées [2,3]. Pour la première fois, nous allons montrer qu'il est possible de le confiner à **1D**.
Nous mettons en évidence des **comportements différents** du cas à 2D [4], en se focalisant sur l'interaction entre gouttes.

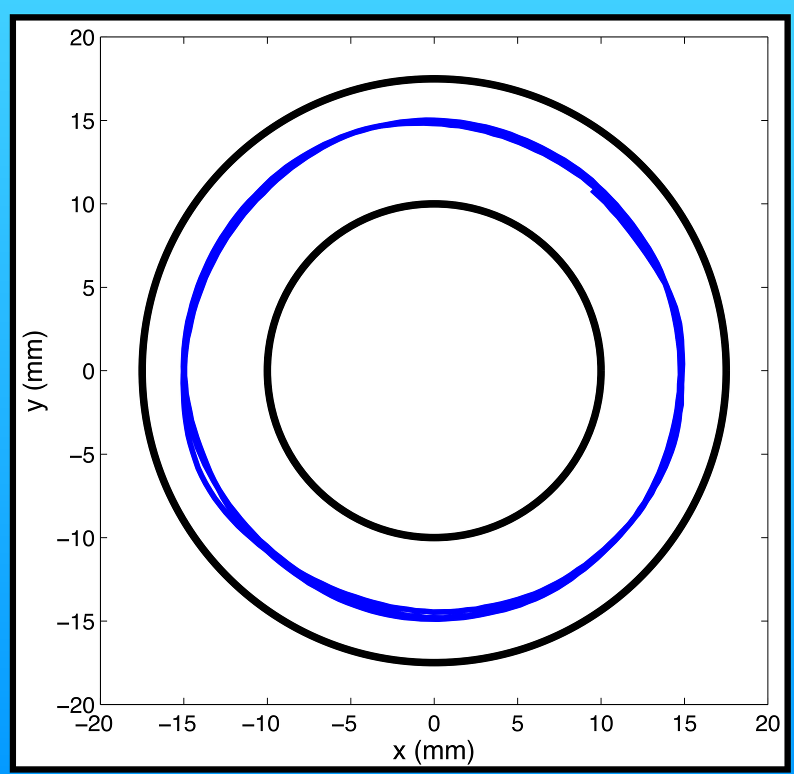
Confinement à une dimension

En utilisant une cuve de géométrie annulaire, recouverte d'un fin film d'huile silicone, on parvient à confiner à 1D un marcheur.



Fréquence de forçage : $f = 70\text{Hz}$
Accélération de forçage : $\Gamma = 4.0$
Paramètre de mémoire : $\text{Me} = 20$

Dans une cavité annulaire, le marcheur reste confiné au sein de l'anneau et suit une trajectoire circulaire.



Modèle

Couplage entre le marcheur et ses ondes émises à chaque rebond.
L'équation du mouvement d'un marcheur à 1D et à basse mémoire [5], généralisée pour N gouttes est :

$$u^i_{n+1} - u^i_n = -\gamma u^i_n - C_0 \left.\frac{\partial \zeta^{ii}}{\partial s}\right|_{n+1} - C_1 \sum_{j\neq i} \left.\frac{\partial \zeta^{ij}}{\partial s}\right|_{n+1} \qquad \textbf{(1)}$$

γ : terme de dissipation.
C_0 : interaction de la goutte *i* au *(n+1)ème* rebond avec son onde générée lors de l'impact précédent.
C_1 : interaction entre la goutte *i* au *(n+1)ème* rebond avec l'onde générée par la goutte *j* à l'impact précédent.

L'expression du champ d'ondes est donnée par :

$$\zeta^{ij} = \zeta_0 \cos\left(\frac{2\pi(s^i_{n+1} - s^j_n)}{\lambda_F}\right) \exp\left(-\frac{s^i_{n+1} - s^j_n}{\delta}\right) \qquad \textbf{(2)}$$

L'égalité des vitesses $u^1_n = u^2_n = v_2$, permet de déterminer numériquement la quantification des distances entre marcheurs, et l'évolution de la vitesse d'une paire de gouttes en fonction de s.

Les paramètres de simulation sont : $C_0/\delta = 0.0282$
$C_1 = 0.05 C_0$
$\delta = 2.1\lambda_F$

Les valeurs obtenues pour les vitesses découlent des **interférences constructives** des champs d'ondes de chaque goutte.

La vitesse d'un marcheur étant proportionnelle à l'amplitude du champ d'ondes, il en résulte $v_2 > v_1$.

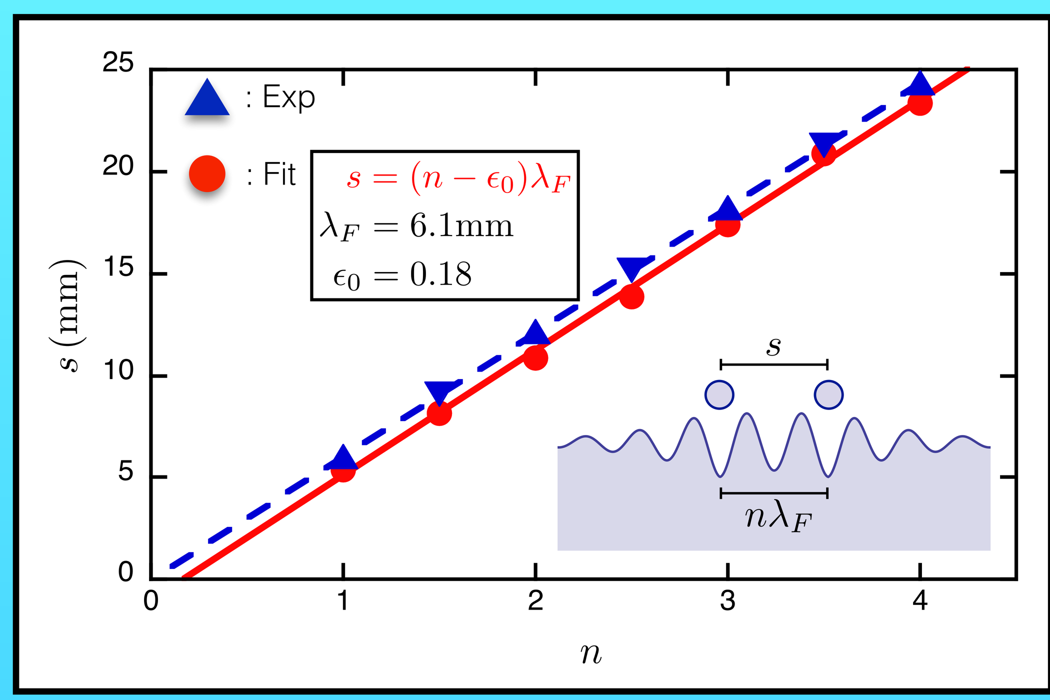
Résultats

- **Quantification des distances**

Deux marcheurs se déplacent à la **même vitesse**.

La distance s entre les gouttes reste **constante**, et proportionnelle à λ_F.

▲ : gouttes synchrones
▼ : gouttes anti-synchrones

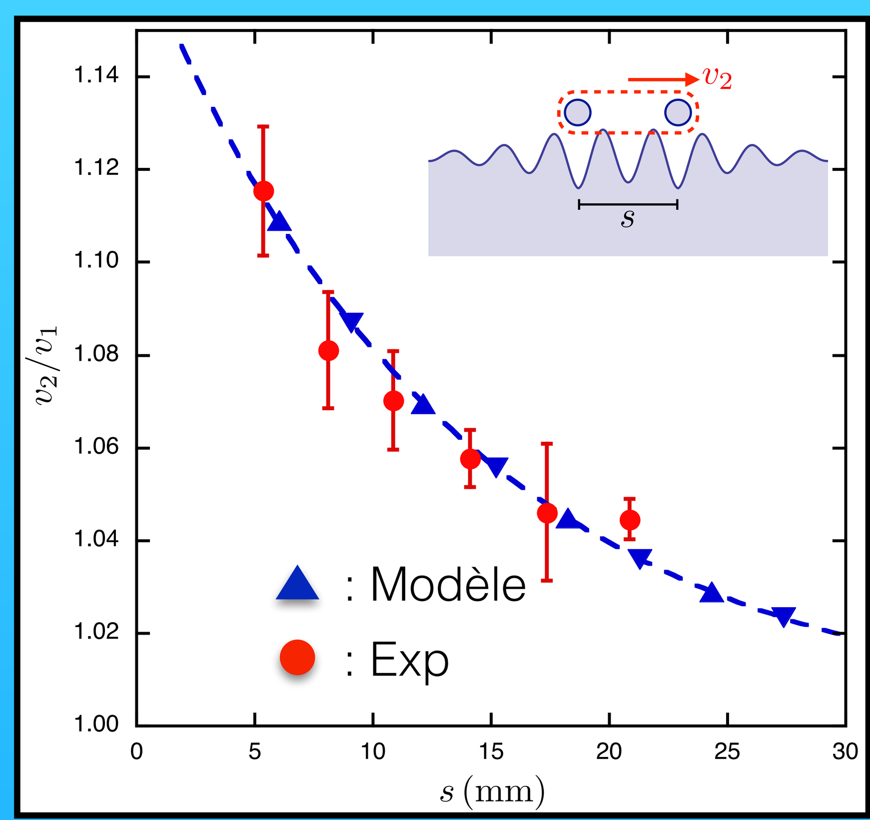


- **Influence de l'interdistance sur la vitesse**

▲ : gouttes synchrones
▼ : gouttes anti-synchrones

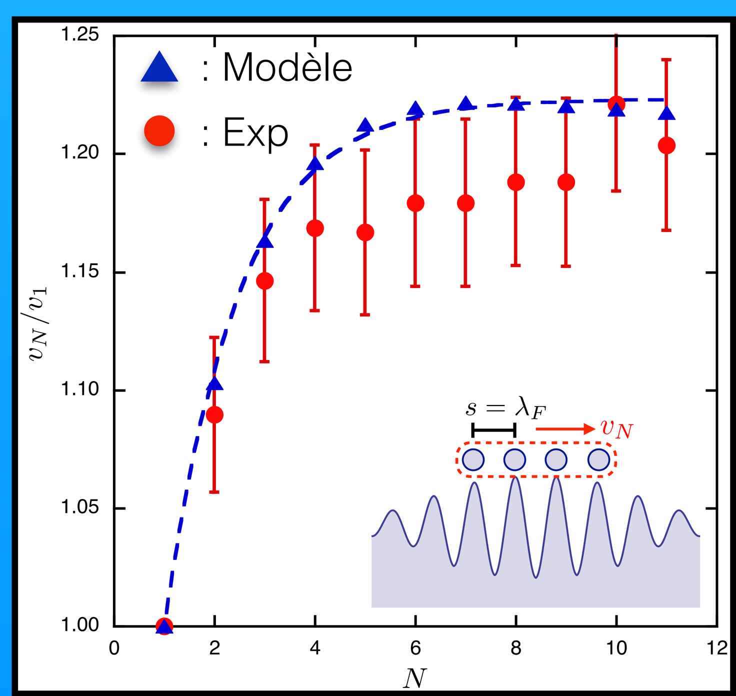
v_1 : vitesse d'un marcheur
v_2 : vitesse d'un binôme

v_2/v_1 décroît de façon exponentielle avec l'interdistance.



Deux marcheurs se déplacent **plus rapidement** qu'une goutte seule.

- **Influence du nombre de gouttes**



Plusieurs gouttes en interaction partagent la même **onde cohérente**.

La vitesse d'une chaîne de gouttes croît jusqu'à saturation.

Le rapport v_N/v_1 croît de façon exponentielle. La tendance reste la même en augmentant s. Cependant les vitesses obtenues seront inférieures, comme on peut le déduire d'après le résultat précédent.

Conclusion

- Première étude du confinement de marcheurs à **1D**.
- Les résultats **diffèrent** fortement du cas à 2D.
- Quantification, et influence de l'interdistance et du nombre de gouttes sur la vitesse.
- $v_N > v_1, \qquad s = (n - \epsilon_0)/\lambda_F.$
- Mise en place d'un modèle en accord avec l'expérience.
- Croissance des vitesses due à des **interférences constructives** du champ d'ondes.
- Une chaîne de gouttes partage la même **onde cohérente**.

[1] Couder *et al.*, Nature **437**, 208 (2005).
[2] Perrard *et al.*, Nat. Commun. **5**, 3219 (2014).
[3] Labousse *et al.*, Phys. Rev. E **90**, 022913 (2014).
[4] Borghesi *et al.*, Phys. Rev. E **90,** 063017 (2014).
[5] Fort *et al.*, PNAS **107**, 17515 (2010).