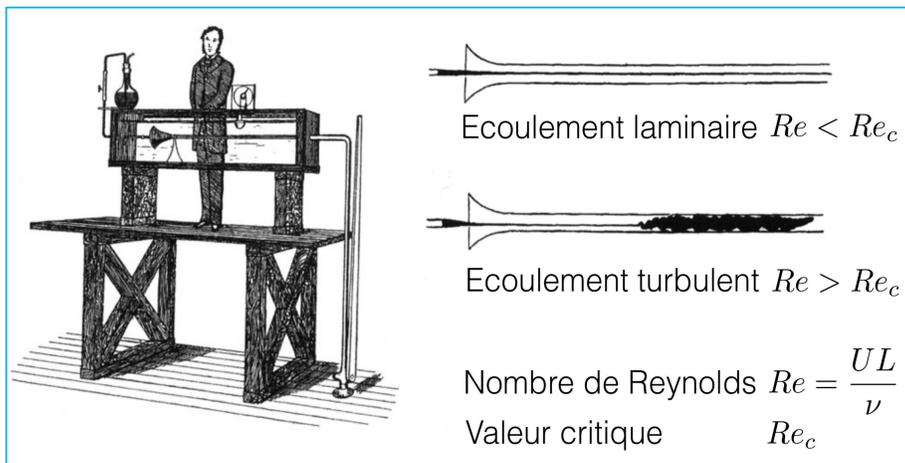


# Voyage dans la turbulence

## Turbulence et transport fluide

Les fluides réels (visqueux) peuvent s'écouler de manière très différente selon la valeur du rapport entre les forces de viscosité et les forces d'inertie. Ce paramètre s'appelle **nombre de Reynolds**; son expression fait intervenir le produit de la taille de la région de l'espace intéressée par l'écoulement (p.ex. la dimension d'un conteneur) et de la vitesse du fluide, divisé par la viscosité du fluide même.

Quand ce nombre est petit on observe un écoulement laminaire (régulier) et stable alors que s'il est suffisamment grand l'écoulement se déstabilise jusqu'à devenir *spatialement désordonné et imprévisible*, c'est à dire **turbulent**. Ce régime dynamique est accompagné par une augmentation remarquable de l'efficacité de la dispersion (de la concentration d'une substance donnée, comme un colorant) et du mélange.



Expérience de Reynolds (1883): transition à la turbulence dans une conduite. [Adaptation de [https://en.wikipedia.org/wiki/Osborne\\_Reynolds](https://en.wikipedia.org/wiki/Osborne_Reynolds)]

Loin d'être une exception, la **turbulence fluide** est un phénomène très largement répandu, avec un **impact** sur nombreux problèmes techniques et scientifiques: de la production de l'énergie, à la performance des moyens de transport, au climat, à la formation des planètes, ou la distribution d'espèces vivantes dans l'environnement.

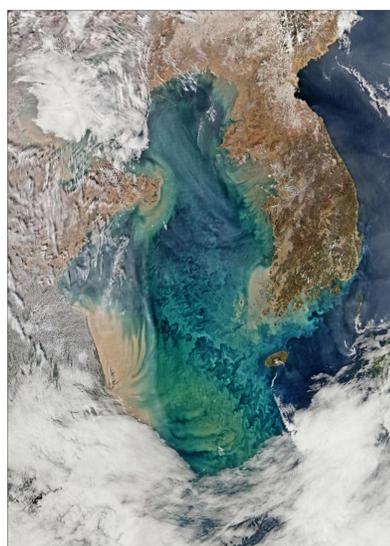
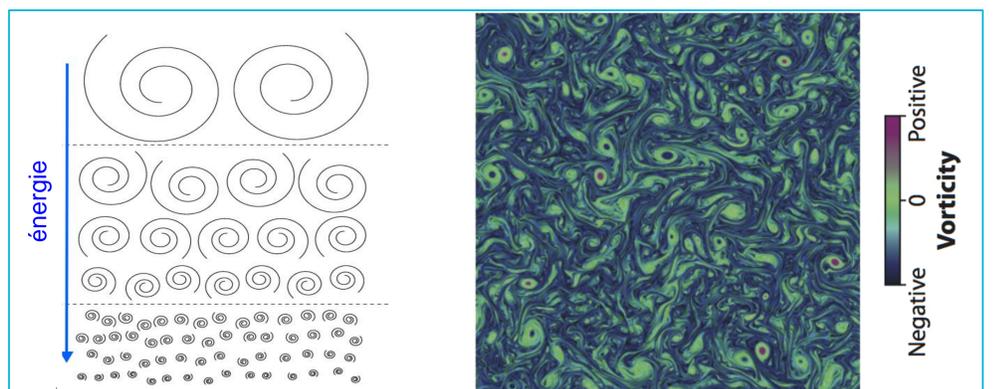


Image satellitaire de la concentration de chlorophylle, due au phytoplancton, dans la Mer Jaune (Chine et Corée). [[https://en.wikipedia.org/wiki/Yellow\\_Sea#cite\\_note-5](https://en.wikipedia.org/wiki/Yellow_Sea#cite_note-5)]

## Tourbillons en interaction

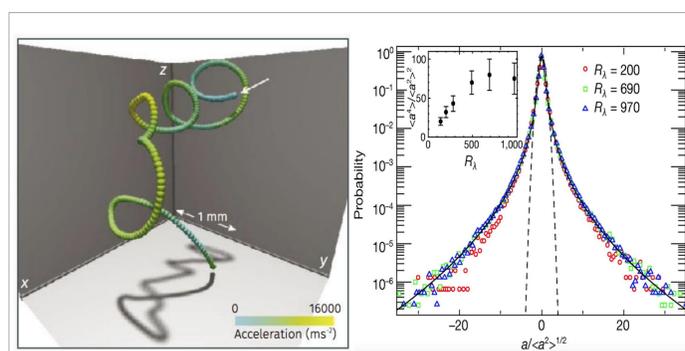
De par sa nature multi-échelle (présence de structures spatiales de tailles très différentes) et irrégulière en temps la turbulence est un phénomène **complexe**. Sa compréhension fine est encore un des *gros problèmes ouverts en physique*. Des avancées importantes pour la compréhension de ses mécanismes de base ont été possibles grâce aux approches statistiques développées au cours du 20ème siècle. Au centre de ces approches il y a le concept d'interaction entre tourbillons de différente taille et des échanges d'énergie associés. Ceux-ci déterminent les caractéristiques essentielles de l'écoulement, notamment sa nature *fractale* (ou auto-similaire) et la répartition d'énergie entre les différents tourbillons. A partir des années récentes, les simulations numériques se sont aussi révélées un outil incontournable pour explorer la turbulence.



A gauche: illustration du processus d'interaction entre tourbillons qui s'accompagne à une cascade d'énergie des grandes aux petites échelles. A droite: visualisation d'un écoulement turbulent bidimensionnel issu de simulations numériques. [G.Boffetta, R.Ecke, Annu. Rev. Fluid Mech. 44, 427 (2012)]

## Une vision « de l'intérieur »

En prenant le point de vue (lagrangien) d'une particule fluide transportée par un écoulement turbulent, des études expérimentales et numériques récentes ont fourni des preuves fortes de la validité de la théorie statistique. Elles ont aussi mis en évidence l'importance des **événements extrêmes**, tels que des accélérations jusqu'à mille fois celle de la pesanteur. Ces résultats sont importants pour le développement de modèles simplifiés à utiliser dans les applications environnementales (p.ex. transport de polluant dans l'atmosphère).



Expériences lagrangiennes: trajectoire à haute résolution et statistique de l'accélération turbulente. [A. La Porta et al. Nature 409, 1017 (2001); G. A. Voth et al. J. Fluid mech 469, 121 (2002)]