

# Dispersion de paires de particules dans un écoulement de turbulence en rotation

Stagiaire M2: Bastien Larroze

Encadrants: Aurore Naso (LMFA), Juan Ignacio Polanco (LEGI, Grenoble)

---

Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique

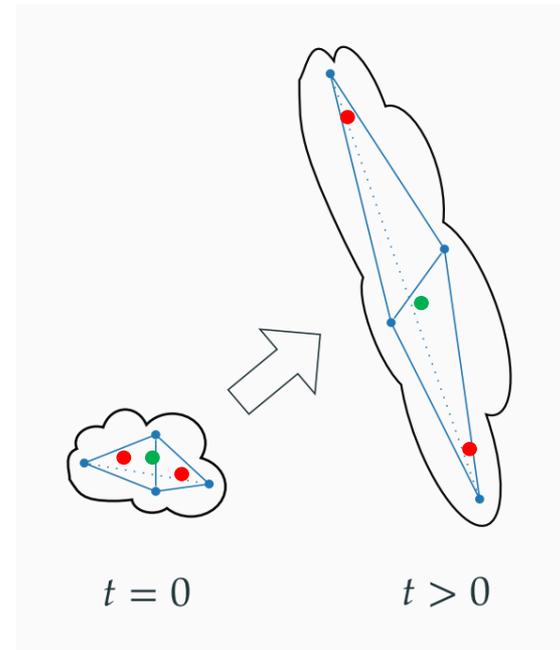


# Mélange et dispersion dans un écoulement

- Optimisation du **mélange dans un écoulement** nécessaire dans de nombreux domaines industriels (pharmaceutique, agro-alimentaire, ...).

- Caractérisation de la **dispersion** d'une « tache » de scalaire (concentration d'une espèce chimique, température, ...) via des **statistiques multi-particules**:

- **1 particule:**  
Déplacement de la tache
- **Paire (2 particules):**  
Agrandissement de la tache
- **Tétrade (4 particules):**  
Forme de la tache



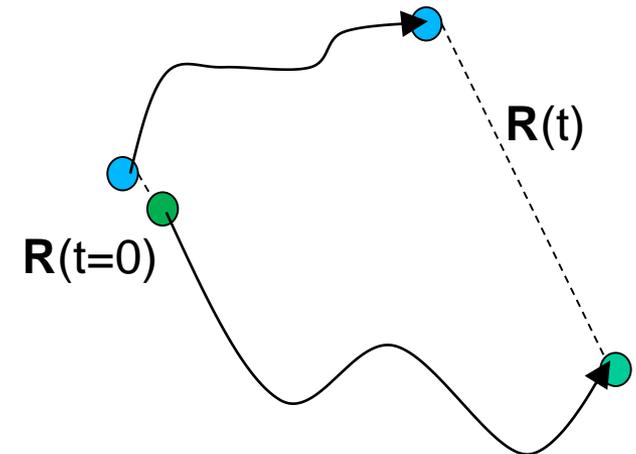
# Séparation d'une paire de particules dans un fluide

- Fluide au repos (diffusion moléculaire):

$$\langle R^2 \rangle \sim K_{\text{mol}} t \quad (\text{très inefficace})$$



~ 4 jours !



- Écoulement turbulent:

→ structures cohérentes à **grande échelle**:  $\langle R^2 \rangle \sim K_{\text{turb}} t$  ( $K_{\text{turb}} > K_{\text{mol}}$ )

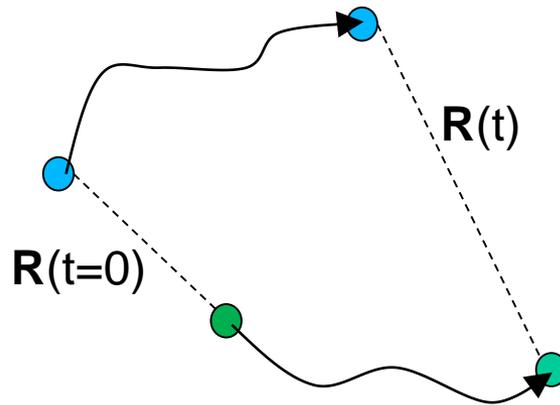
→ à plus **petite échelle**:  $\langle R^2 \rangle \sim t^\alpha$  ( $\alpha > 1$ ), régime **super-diffusif**

# Mélange en écoulement turbulent / laminaire

---

Vidéo

# Dispersion de paires de particules dans un écoulement turbulent

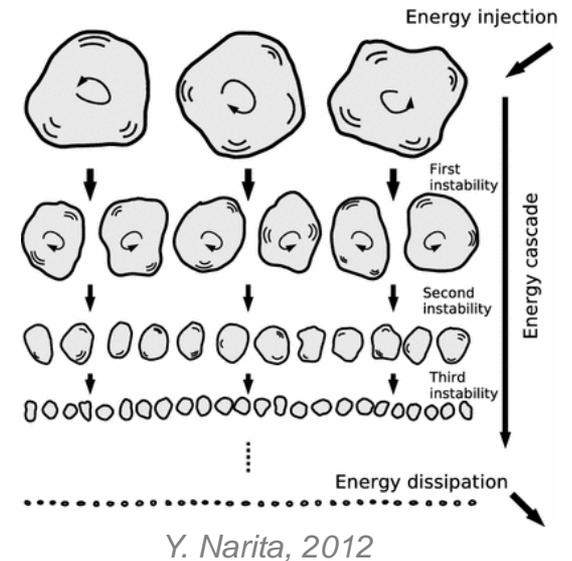


$$\Delta(t) = R(t) - R(t=0)$$

- A temps court, régime balistique:  $\langle \Delta^2(t) \rangle \sim t^2$
- A temps intermédiaire, régime super-diffusif
- A temps long, régime diffusif:  $\langle \Delta^2(t) \rangle \sim t$

# Irréversibilité temporelle de la turbulence

- Turbulence caractérisée par la **formation de vortex de plus en plus petits** lorsqu'on injecte de l'énergie à grande échelle (cascade de Richardson, 1941).
- Le **flux d'énergie** des grandes vers les petites échelles induit une **irréversibilité temporelle** intrinsèque.



- → signature sur la **dispersion relative des paires** de particules:

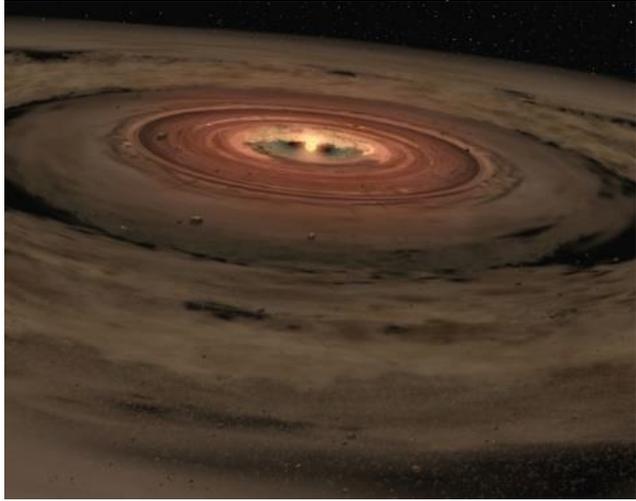
Dispersion en reculant le temps ( $t=0 \rightarrow t<0$ )

$\neq$

Dispersion en avançant le temps ( $t=0 \rightarrow t>0$ )

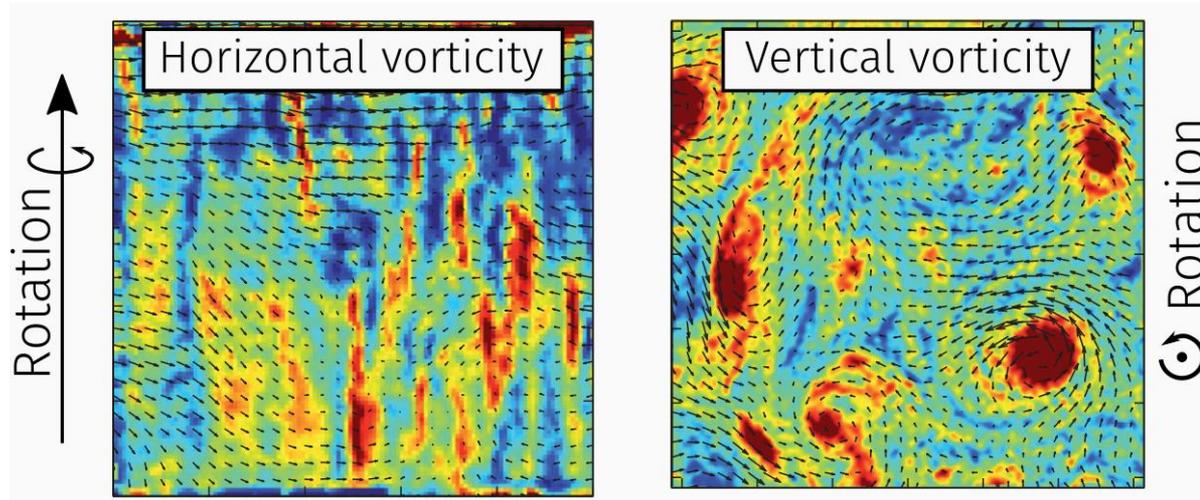
# Turbulence en rotation

---



# Turbulence en référentiel tournant

- La rotation modifie la **structure de l'écoulement** et y génère une **anisotropie**.

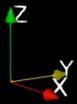
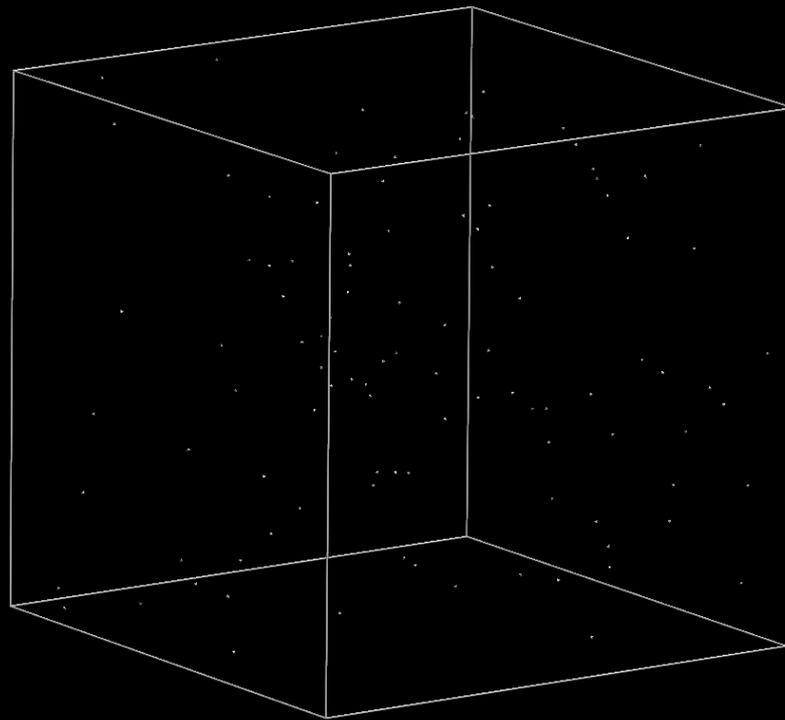


Expérience  
*Moisy et al, 2011*

# Dynamique de particules (traceurs) en turbulence homogène en rotation

$t \Omega / 2\pi = 0.00$

Rotation  $\vec{C}$

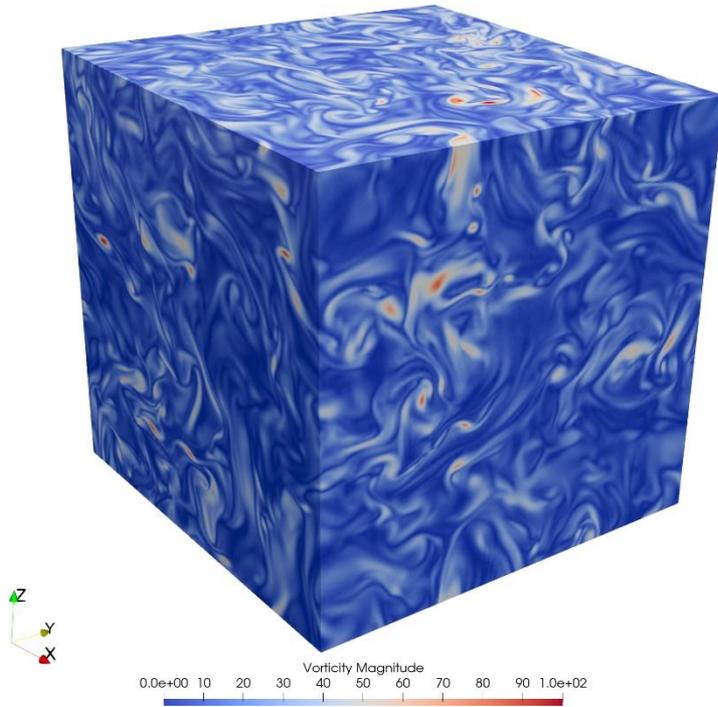


*J. I. Polanco*

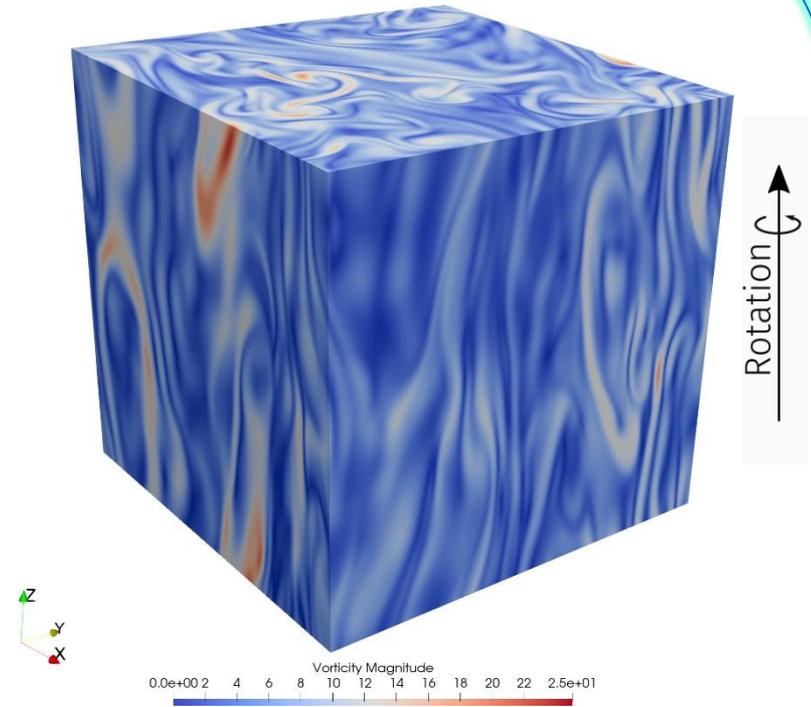
## Objectif du stage:

- Étude de la dispersion de **paires** de particules dans un écoulement de **turbulence** homogène en **rotation**.
- Traitement de données obtenues par simulation **numérique** directe d'un écoulement turbulent en référentiel tournant + suivi de particules.

# Visualisation de l'écoulement

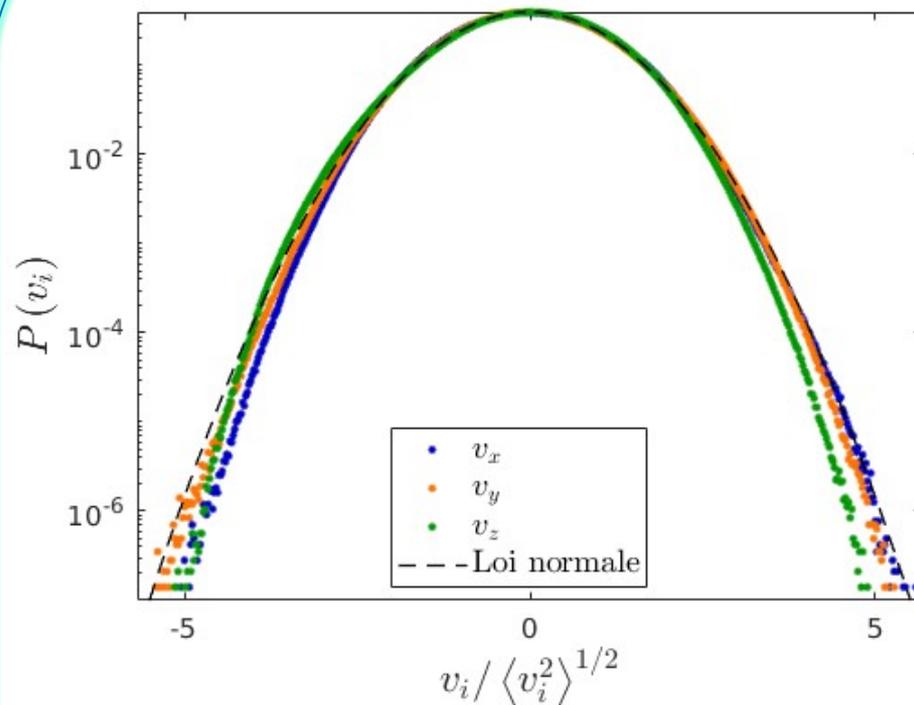


Sans rotation

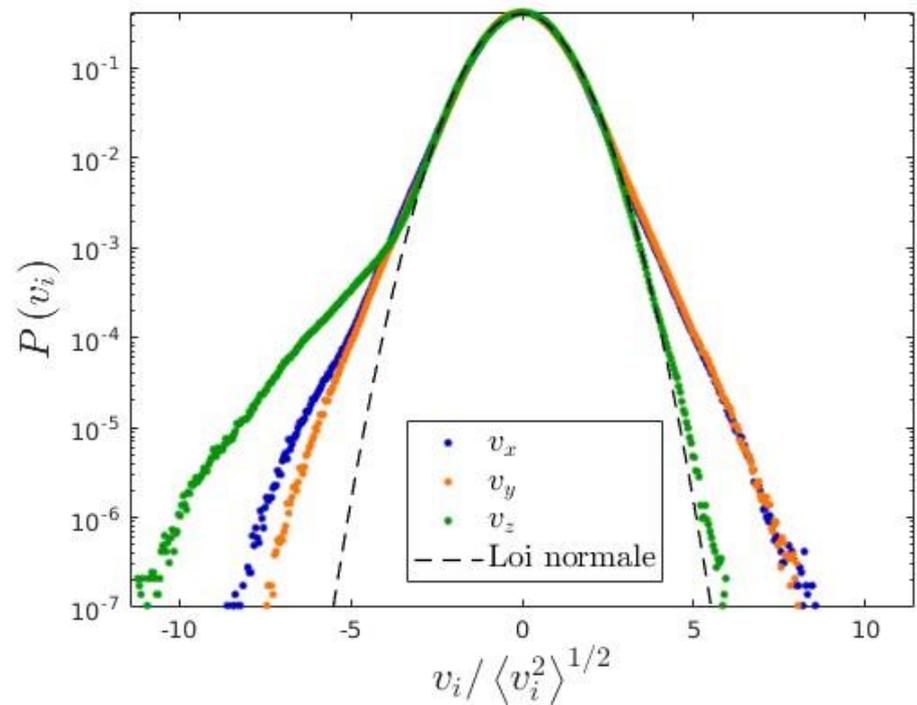


Avec rotation

# Distribution de probabilité des composantes de la vitesse des particules

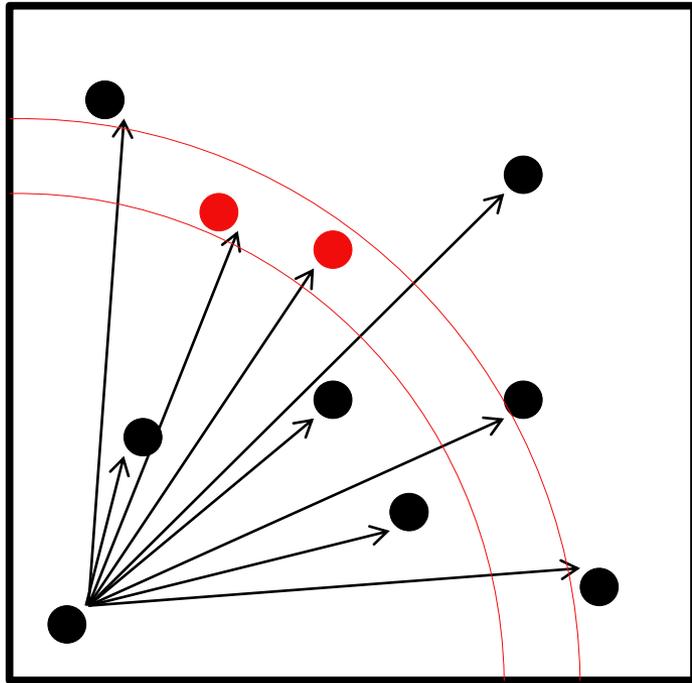


Sans rotation



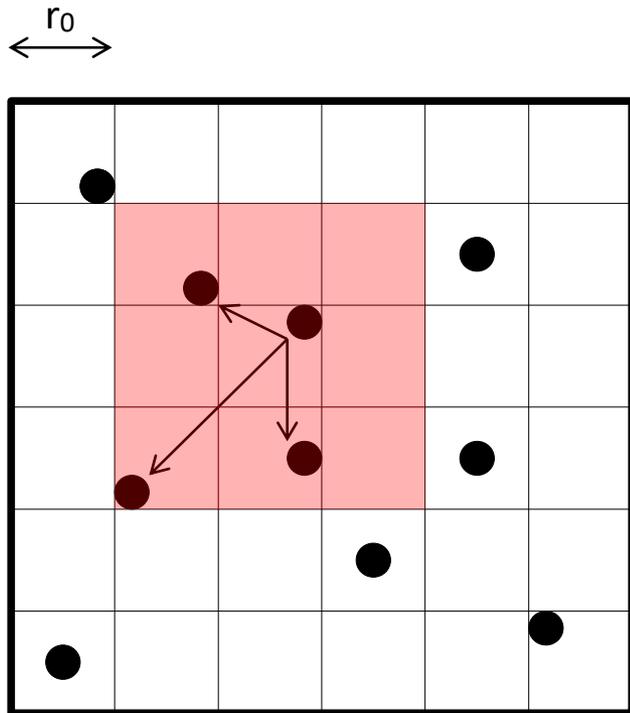
Avec rotation

# Algorithme de recherche de paires



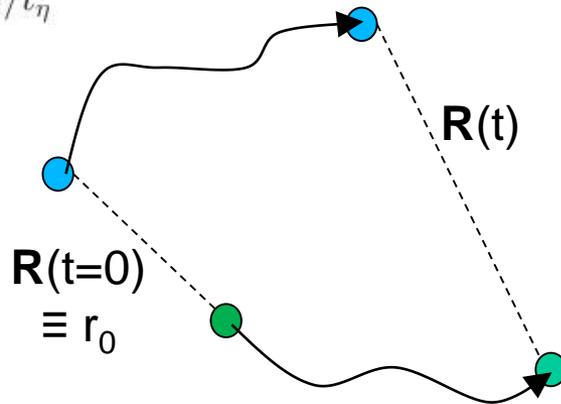
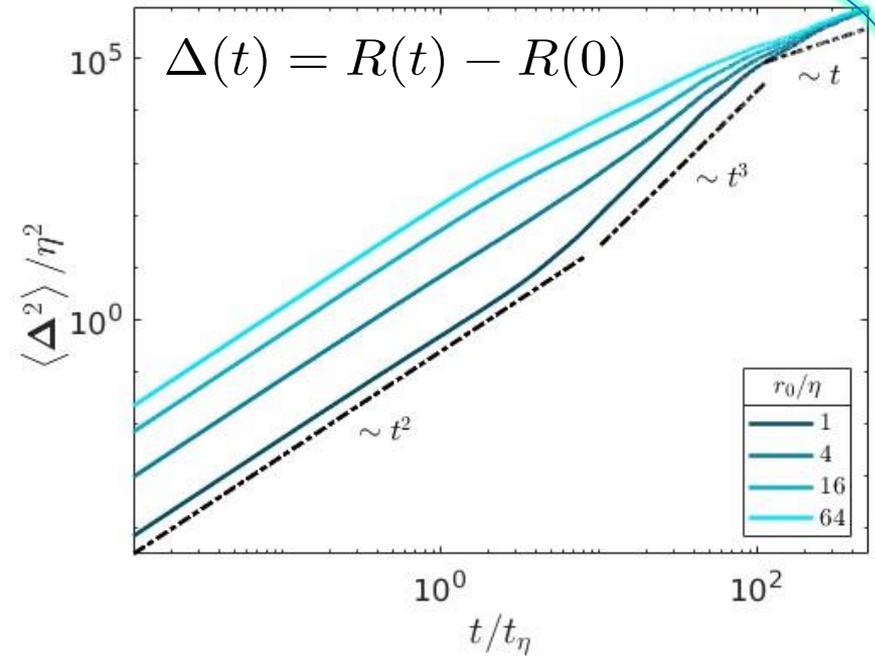
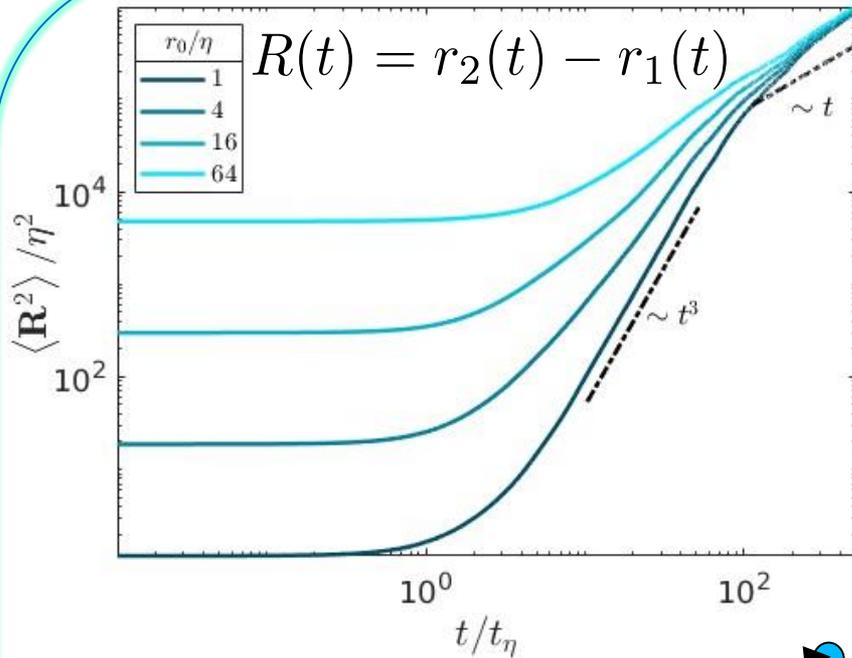
- Recherche de paires à une distance  $r_0 \pm \delta r$
- $N$  particules  $\rightarrow N^2$  opérations
- Pour  $N \simeq 10^6 \rightarrow \simeq 10^{12}$  opérations  
- total  $\simeq 55$  h
- Temps de calcul élevés

# Algorithme de recherche de paires



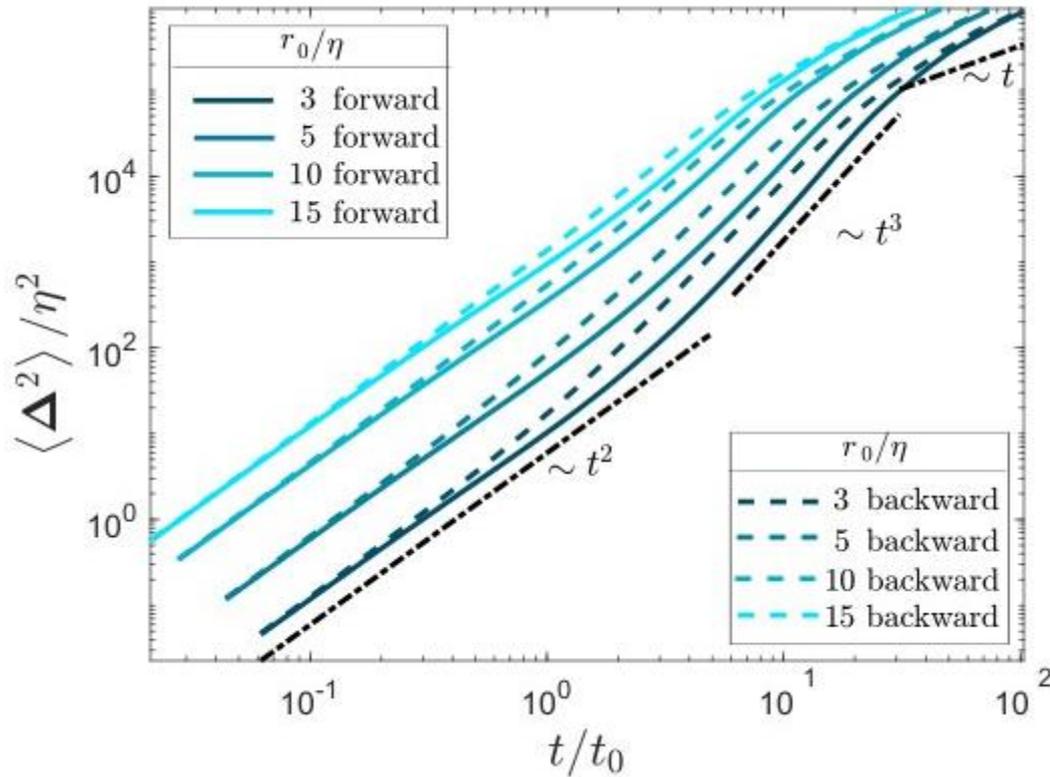
- Découpage du domaine en sous-domaines de taille  $r_0$
- Recherche de paires dans les sous-domaines voisins
- $N$  particules  $\rightarrow$  nombre d'opérations  $\ll N^2$
- Temps de calcul fortement diminués

# Résultats: dispersion de paires



- Observation des trois régimes en présence de rotation.

# Résultats: dispersion de paires « forward » / « backward »



- Trois régimes toujours présents en remontant le temps.
- Dispersion plus rapide en remontant le temps qu'en l'avançant (irréversibilité temporelle de la turbulence).

# Programme pour la fin du stage

---

- Améliorer les statistiques en considérant des **temps plus longs**.
- Étudier la dispersion et l'irréversibilité temporelle **composante par composante**.