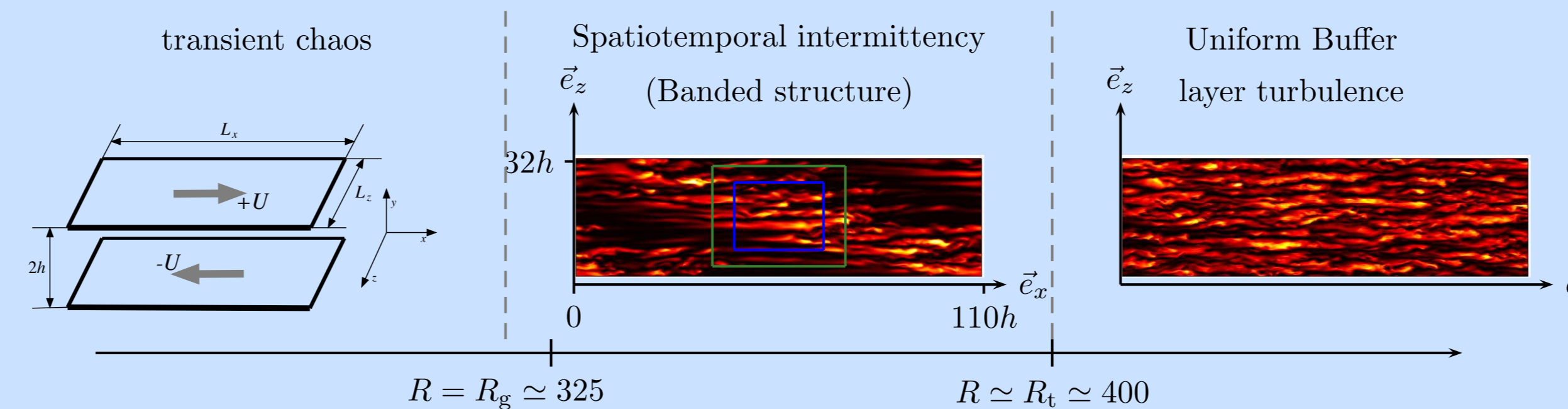


Effondrement de la turbulence de paroi transitionnelle calculé par une méthode d'évènements rares

Joran Rolland, Laboratoire de mécanique des Fluides de Lille, École Centrale Lille & Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon
joran.rolland@centralelille.fr

Motivations

- Écoulements de paroi transitionnels: intérêt pour les Couches limites aérodynamiques & planétaires, écoulements artériels *etc*
- Mécanisme de transition contenu dans Couette plan (schématisé ci-contre)
- Difficulté de modélisation: transition sous critique. Linéairement stables \forall Reynolds $R = hU/\nu$, turbulence se maintient pour $R \gtrsim \mathcal{O}(400) \Rightarrow$ coexistence en temps et espace laminaire turbulent (voir ci-contre)
- Turbulence déclanchée par forçage (ou condition initiale d'amplitude fine)

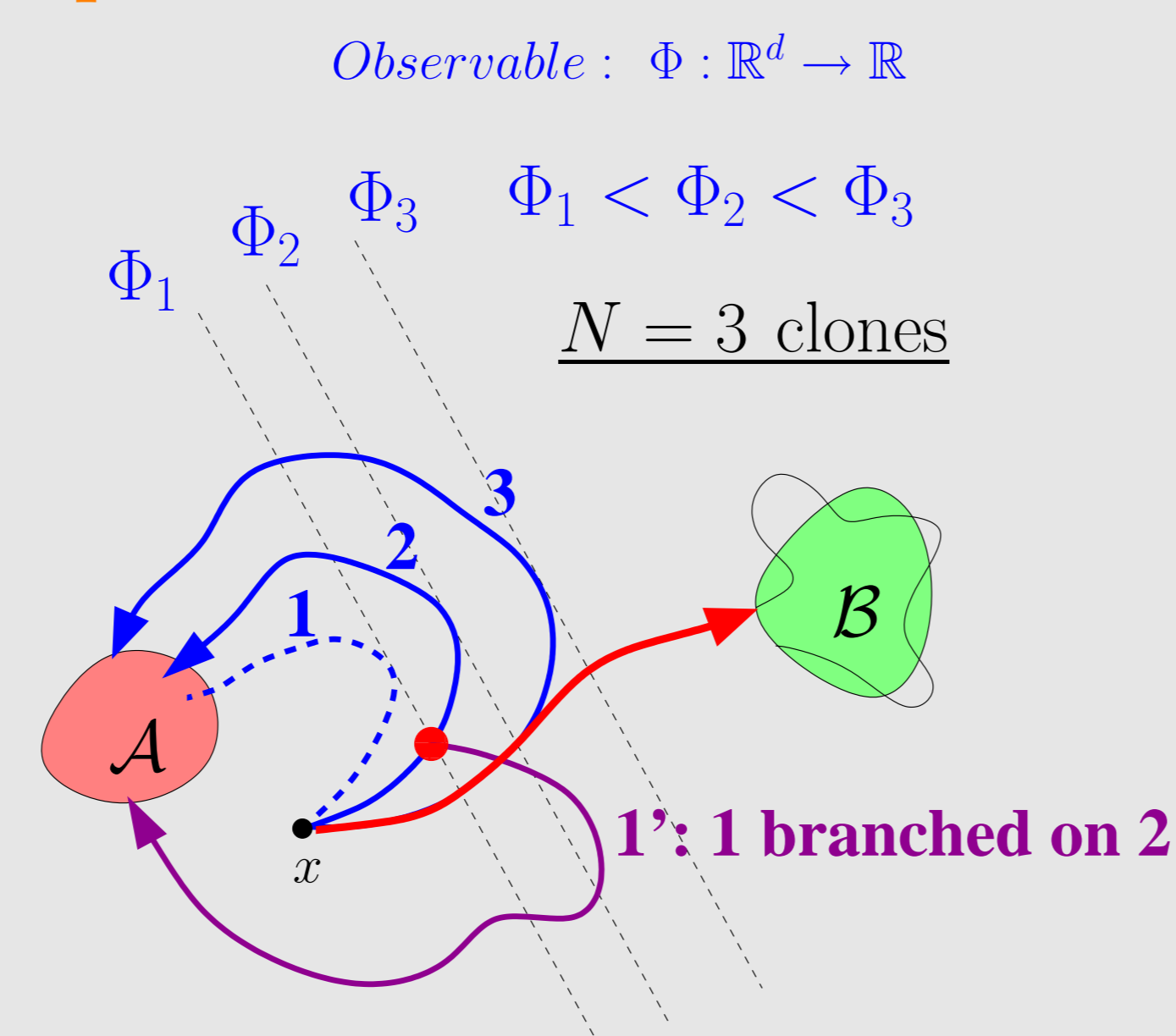


- Taille de domaine finie \Leftrightarrow Turbulence transitoire pouvant s'effondrer sous ses propres fluctuations
- Étude de l'effondrement de la turbulence vue comme évènement rare lorsque R et taille du domaine L_x et L_z augmentés.
- Utilisation de méthodes numérique et théorie dédiées : algorithmes d'évènements rares et grandes déviations

Approches numériques et théorique

→ Approche numérique

- Large Adaptive Multilevel Splitting
Détermine les trajectoires turbulence (\mathcal{A}) \rightarrow laminaire (\mathcal{B}), la probabilité d'effondrement, taux d'effondrement $1/T$
"point de non retour": état correspondant à $\max_t \Phi(t)$ sur la dernière trajectoire supprimée (point col dans les systèmes stochastiques)
- N dynamiques clones et Φ : coordonnée réactionnelle (position relative entre \mathcal{A} , $\Phi(\partial\mathcal{A}) = 0$ et \mathcal{B} , $\Phi(\partial\mathcal{B}) = 1$)
Mutation selection en k étapes
- \rightarrow Branchement anticipé pour éviter l'extinction de la procédure: aucune trajectoire n'arrive à dépasser $\Phi_{\max} < \Phi(\partial\mathcal{B})$: Lestang, Bouchet, Lévêque, JFM (2020).



cf. Cérou & Guyader, Stoch. An. Appl. (2007).

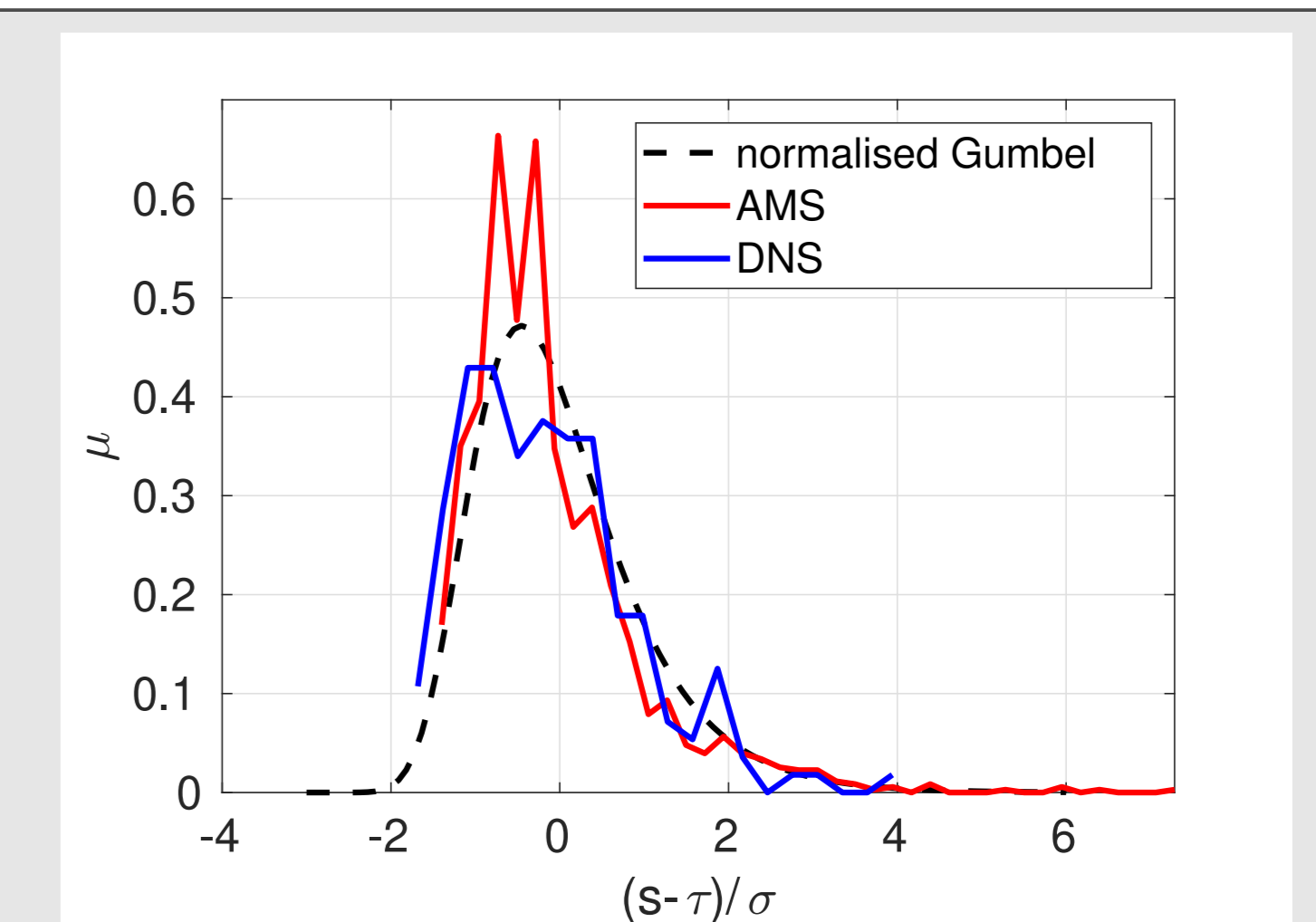
Le calcul d'évènement rare peut être exponentiellement accéléré $k \propto \ln(T)$

- Distribution de Type Gumbel pour les durées de trajectoires d'AMS et de DNS

Comportement similaire aux systèmes stochastiques simples

- Accord entre AMS et DNS sur les distributions de durée, durée moyenne, probabilité d'effondrement.

Biais sur les temps de vie à nombre de clones fini

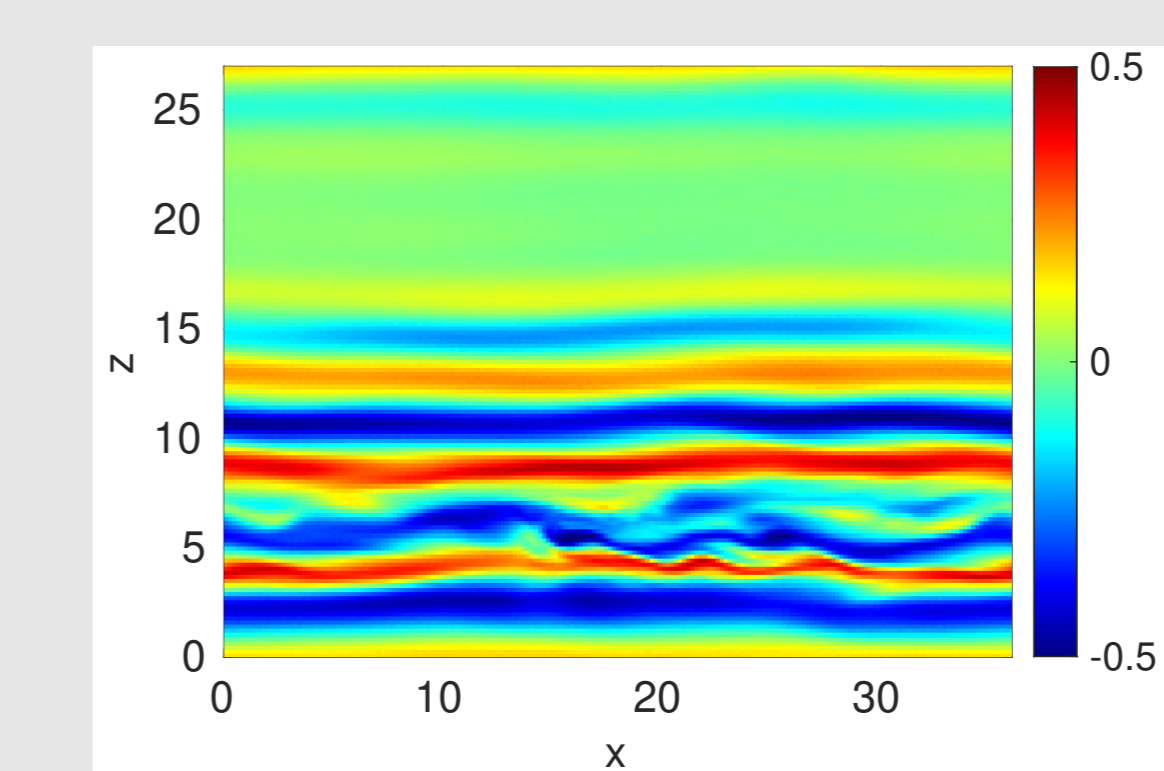


Effondrement très rare dans un grand domaine

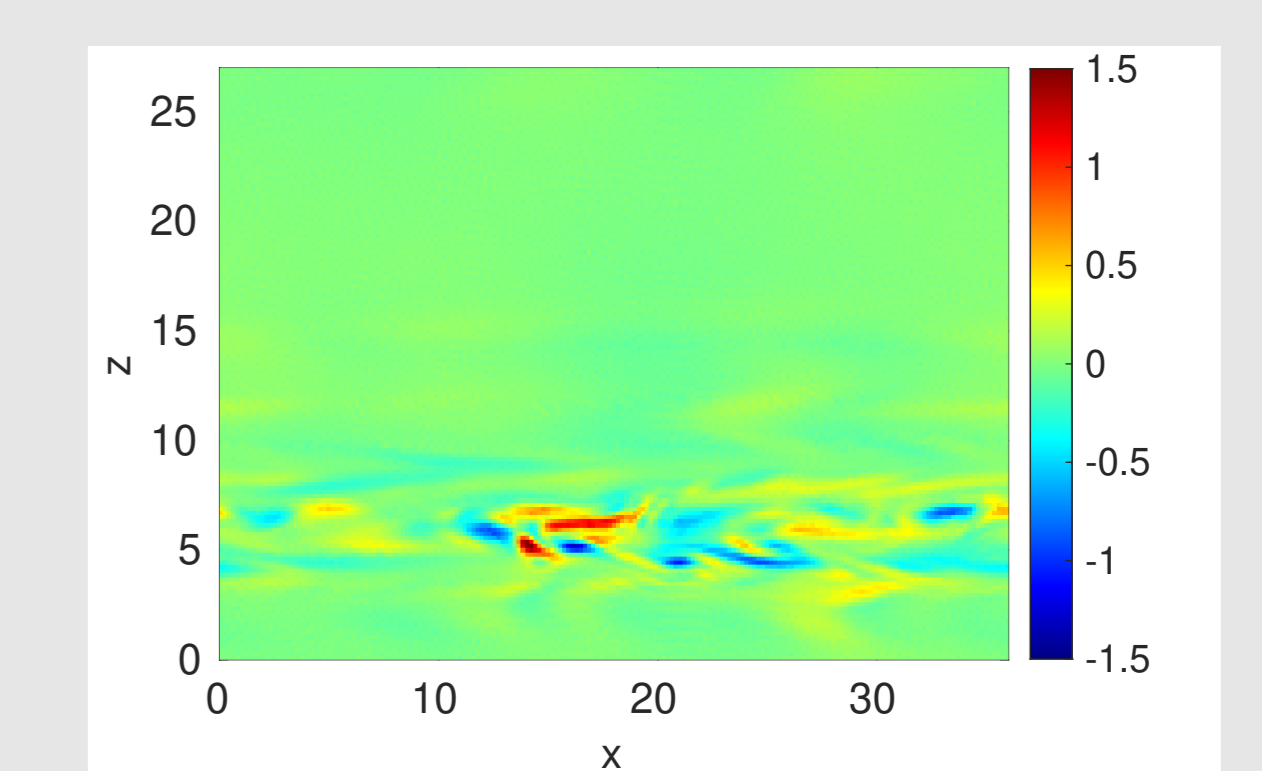
→ Domaine de taille $L_x \times L_z = 36 \times 27$ (rectangle vert)

L'AMS accélère les calculs d'un facteur $\mathcal{O}(10^3)$: Trajectoires inaccessible en DNS

\rightarrow Dernier état lors du dernier branchement
Trou laminaire: déclin plus rapides des vortex Vs. Stries, sortie du processus d'auto-entretien
 \rightarrow Tubes de u_x indépendants de x là où $\omega_x \rightsquigarrow 0$



champ de vitesse longitudinal



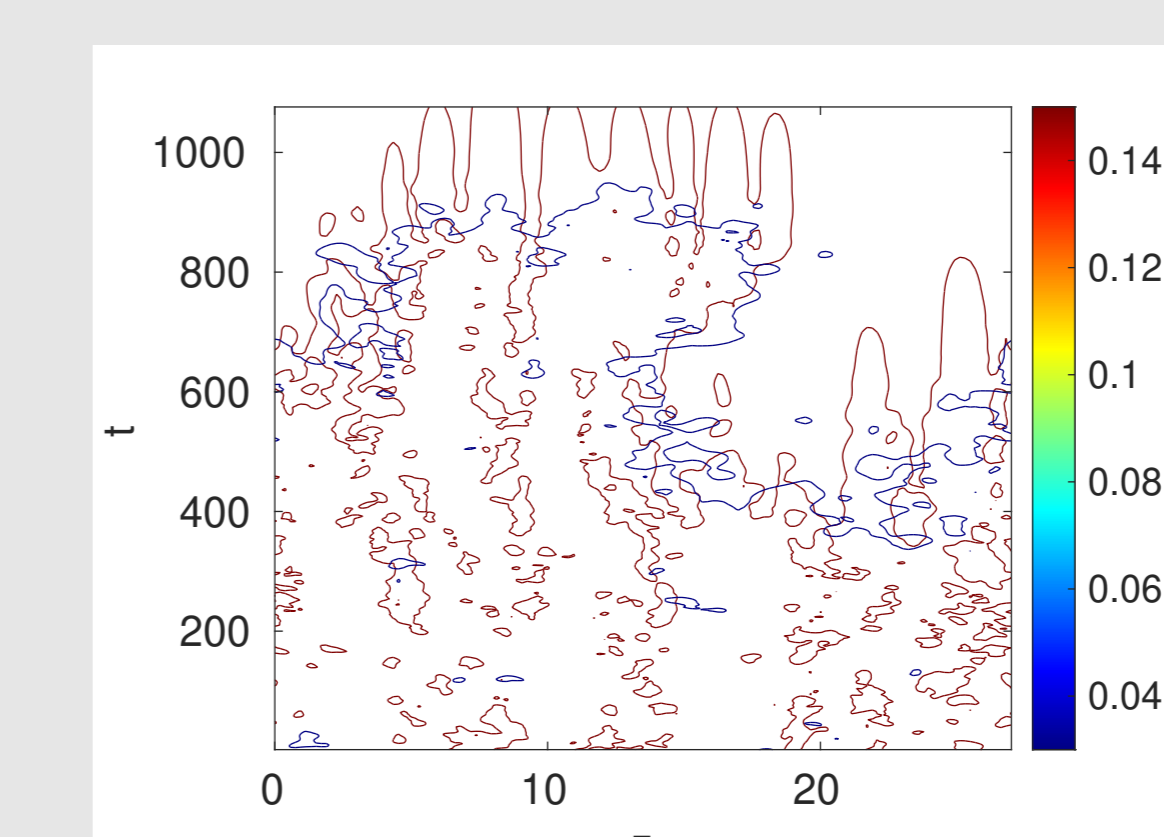
Vorticité longitudinale

\rightarrow Diagramme spatiotemporel des contours

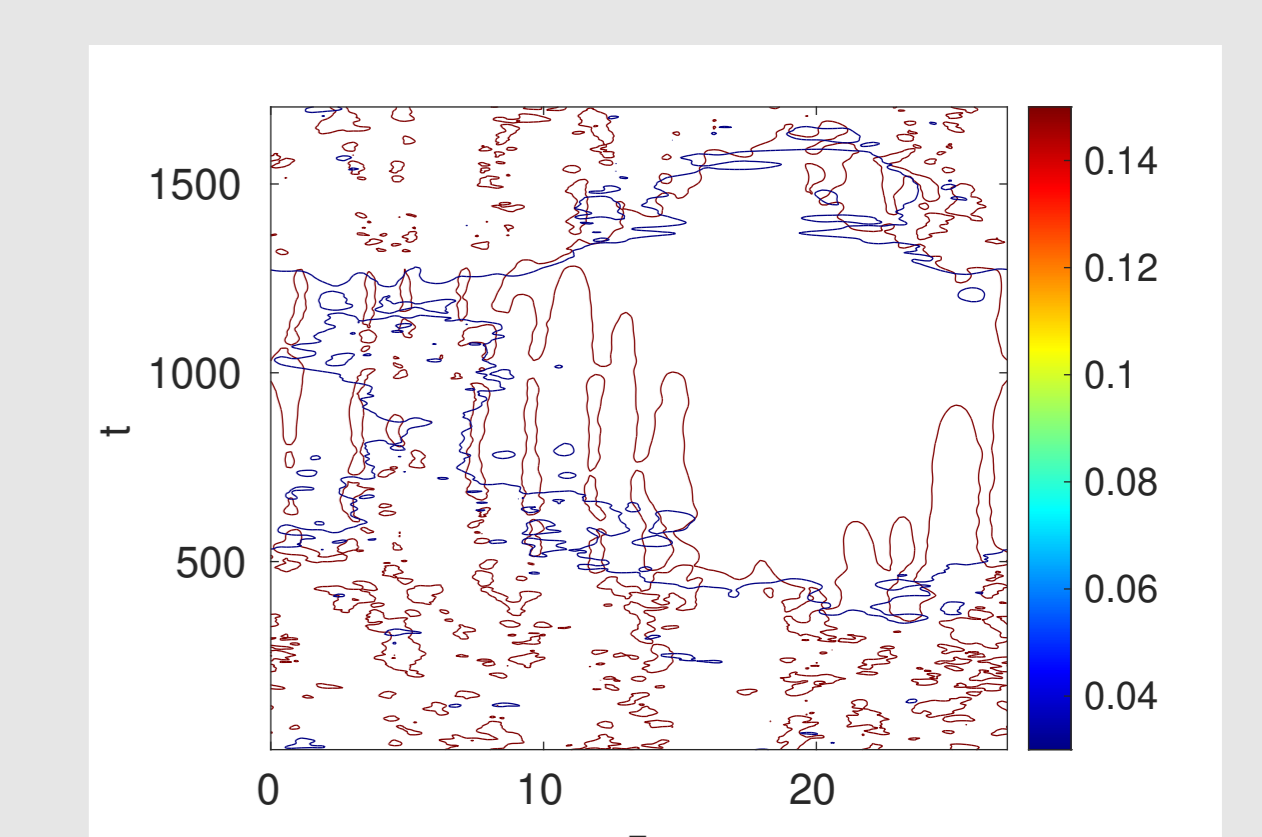
$$\sqrt{\int_{x=0}^{36} u_z^2 dx} - \left(\int_{x=0}^{36} u_z dx \right)^2 =$$

0.03 (bleu) et $\sqrt{\int_{x=0}^{36} u_x^2 dx} = 0.15$ (rouge)

Processus d'ouverture et de fermeture asymétrique:
Disparition vortex puis des stries, réapparition quasisimultanée des vortex et des stries.



Trajectoire d'effondrement



Trajectoire non réactive gardée à la dernière étape

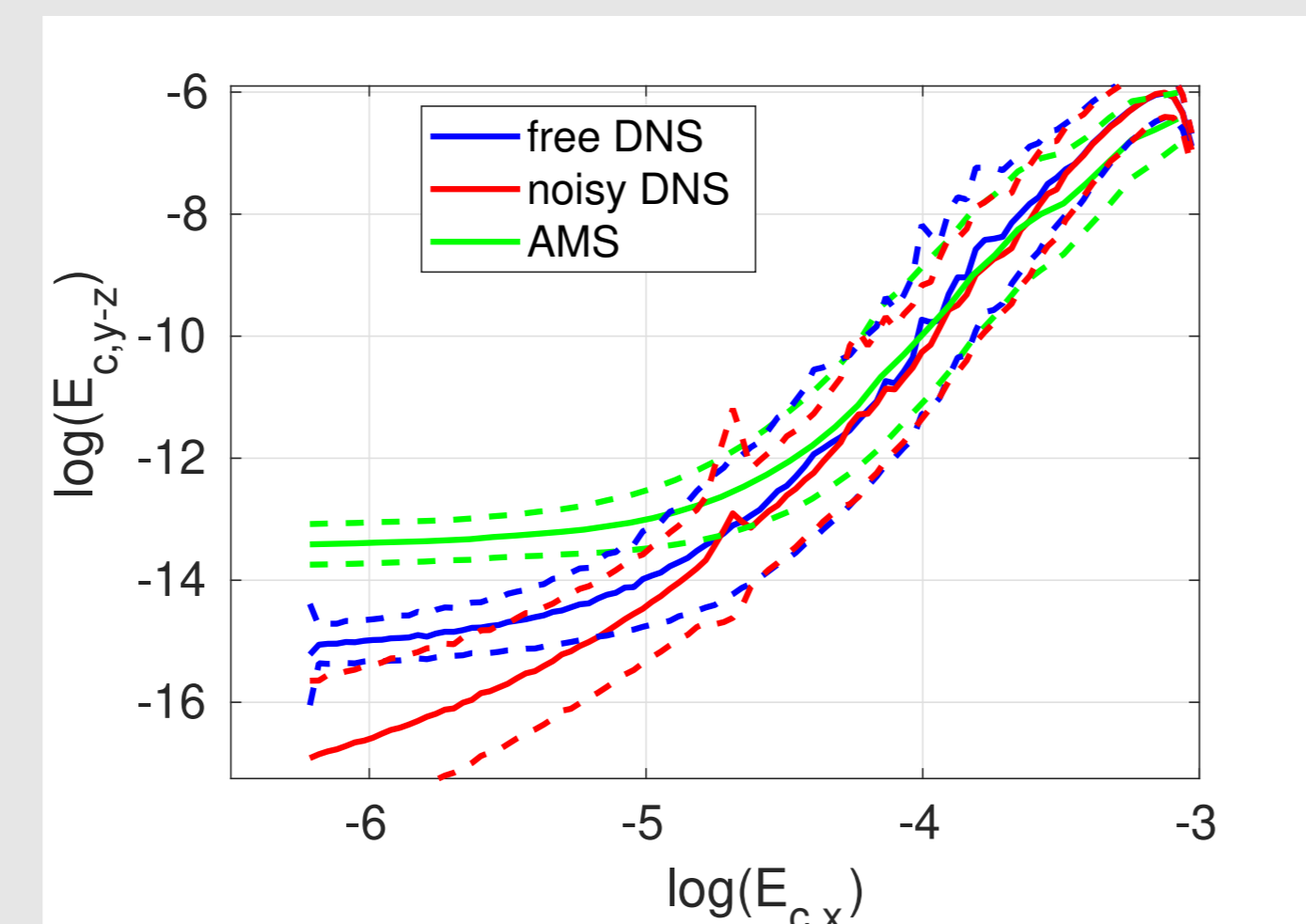
Simulations réalisées au Centre Blaise Pascal/PSMN de l'ENS de Lyon

Trajectoires et Comparaison à la simulation numérique directe

→ Domaine de taille $L_x \times L_z = 24 \times 18$ (rectangle bleu)

L'AMS accélère les calculs d'un facteur $\mathcal{O}(10)$

- Énergie cinétique Dans les vortex Vs. dans les stries
- Mêmes trajectoires en DNS libre, DNS perturbées et AMS, valide résultat AMS, de même durées et probabilité d'effondrement
- Schématiquement vortex disparaissant avant stries, pas encore localisé
- Trajectoires concentrées: instanton dans la limite $L_x \rightarrow \infty$ (L_z ?), J. Rolland, EPJE (2015), PRE (2018).



Conclusion et perspectives

- Calcul d'évènements rares en turbulence sans injection d'énergie stochastique, accéléré drastiquement par l'AMS: illustration sur l'effondrement de la turbulence de paroi dans Couette plan
- Trajectoires, probabilité d'effondrement *etc.* estimés avec précision
- Mécanisme d'effondrement de la turbulence de Couette plan: arrêt du processus d'auto-entretien par disparition des vortex longitudinaux: localement en z , global en x puis extension des trou laminaires dans la direction z
- Perspectives en turbulence développée hors d'équilibre (sillages métastables) et en climat (multiplicité de circulations atmosphériques)