

# STAGE DE RECHERCHE de MASTER 2ème ANNEE

## Master MOCIS / WAPE

Année Universitaire 2022-2023

### Dynamique océanique équatoriale en présence d'inhomogénéités de température

Ce stage porte sur la dynamique de l'océan à l'équateur. La région équatoriale est caractérisée par une annulation de la rotation ambiante de la Terre (pseudo-force de Coriolis), ce qui induit des propriétés dynamiques surprenantes : formation de jets zonaux, spectre d'ondes de grande et moyenne échelle "piégées" à l'équateur, etc. Pour cette étude, on se propose d'utiliser des modèles conceptuels basés sur une vision verticalement intégrée des équations primitives, dénommés "Rotating Shallow Water" (RSW), et notamment d'utiliser une extension de ces modèles relâchant l'hypothèse classique d'homogénéité horizontale de la densité (pilotee en premier approximation par la température). Le modèle résultant, "Thermal Shallow Water" – TSW [1] –, est ainsi particulièrement adapté à la description de la dynamique océanique proche de la surface. Dans un régime de faible perturbation de l'épaisseur de la couche et à l'échelle du rayon de déformation équatorial (régime dit "de Charney"), ce modèle admet une limite asymptotique dont les équations sont identiques au modèle Thermal Quasi-Geostrophic qui capture la dynamique tourbillonnaire aux moyennes latitudes en prenant en compte les variations horizontales de densité. Ce modèle est notamment connu pour produire des instabilités de petite échelle [2] qui enrichissent sa dynamique (Fig. 1).

Pourtant, il n'a été que très peu étudié pour la région équatoriale. De plus, la version sans variations de densité de ce modèle possède une solution exacte dipolaire qui se propage le long de l'équateur [3]. Cette solution pourrait être étendue pour inclure les inhomogénéités horizontales de densité/température, suivant de récents travaux dans le contexte des moyennes latitudes ou il a été montré que les propriétés d'un dipôle portant une anomalie de densité ne sont pas triviales et peuvent conduire à un mélange horizontal de la densité [4].

Ce stage pourra impliquer l'investigation du spectre linéaire des ondes dans le modèle TSW équatorial et sa limite asymptotique de Charney, ainsi que l'étude à l'aide de simulations numériques d'écoulements instables et/ou turbulents dans ces modèles.

La proportion de **calcul théorique** et de **simulations numériques** pourra être adapté en fonction du profil, des compétences et des aspirations du stagiaire.

Le stage peut donner lieu à une thèse.

#### Encadrement

Ce stage pourra être réalisé au sein de l'équipe Odyssey de l'Inria à Rennes ou au Laboratoire de Météorologie Dynamique à l'ENS Paris, sous la direction de **Noé Lahaye** (CR, Inria) et **Vladimir Zeitlin** (PR, Sorbonne Université).

Contact : Noé Lahaye (noe.lahaye@inria.fr) & Vladimir Zeitlin (zeitlin@lmd.ens.fr).

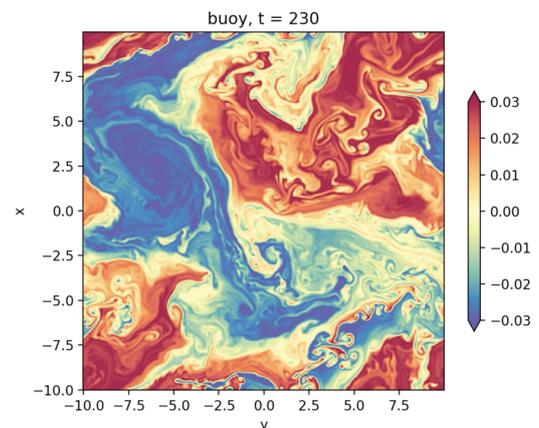


FIGURE 1 – Champ de densité dans une simulation idéalisée de turbulence dans le modèle Thermal Quasi-Geostrophic, illustrant la génération de petites échelles dans ce modèle aux moyennes latitudes.

## Compétences souhaitées

Formation en physique, en dynamique des fluides (géophysiques) voire en mathématiques appliquées. Une bonne maîtrise de l’outil numérique, et en particulier de Python, est souhaitable. Les simulations numériques seront réalisées à l’aide de la librairie python Dedalus [5].

## Références

- [1] Kurganov, A., Liu, Y., Zeitlin, V., 2020. Thermal versus isothermal rotating shallow water equations : comparison of dynamical processes by simulations with a novel well-balanced central-upwind scheme. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.* **115**, 125–154. <https://doi.org/10.1080/03091929.2020.1774876>
- [2] Gouzien, E., Lahaye, N., Zeitlin, V., Dubos, T. , 2017, Thermal instability in rotating shallow water with horizontal temperature/density gradients, *Phys. Fluids* **29**, 101702, <https://doi.org/10.1063/1.4996981>
- [3] Rostami, M., Zeitlin, V., 2019. Eastward-moving convection-enhanced modons in shallow water in the equatorial tangent plane. *Phys. Fluids* **31**, 021701. <https://doi.org/10.1063/1.5080415>
- [4] Lahaye, N., Zeitlin, V., Dubos, T., 2020. Coherent dipoles in a mixed layer with variable buoyancy : Theory compared to observations. *Ocean Modelling* **153**, 101673. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2020.101673>
- [5] Burns, K.J., Vasil, G.M., Oishi, J.S., Lecoanet, D., Brown, B.P., 2020. Dedalus : A flexible framework for numerical simulations with spectral methods. *Phys. Rev. Research* **2**, 023068. <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.023068>