

# Observation et modélisation de l'océan profond à fine-échelle

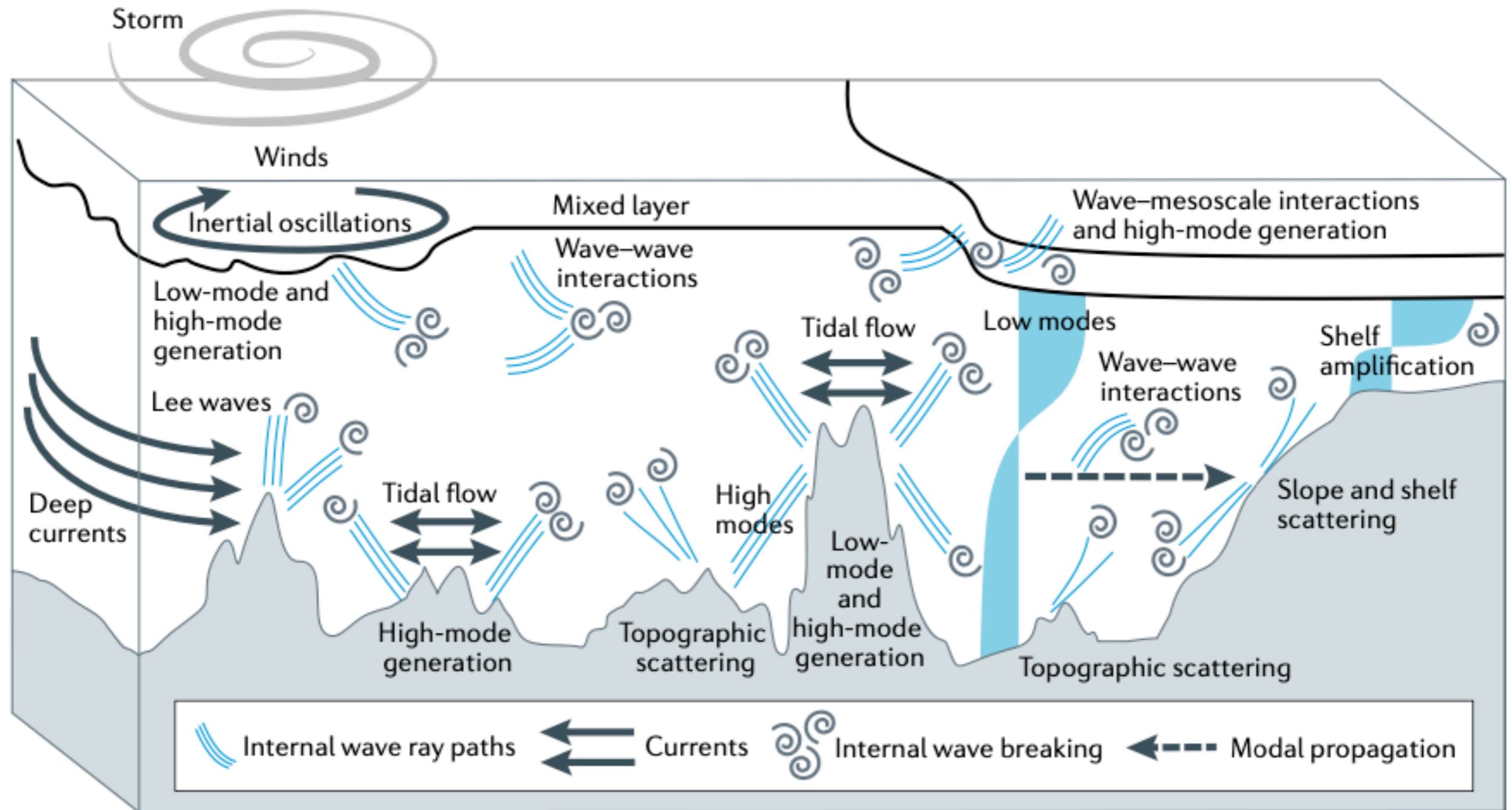
Clément Vic et al.

Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale

Journées Fr-OOS, 25 & 26 septembre 2024



# Contexte — pourquoi “fine échelle” ?



De nombreux processus turbulents ont lieu dans l’océan profond et sont générés par l’interaction des courants avec la topographie de fond.

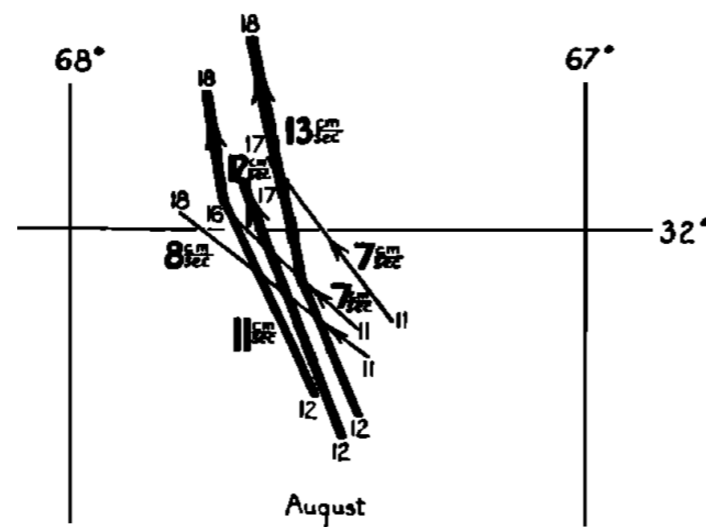
# Contexte — pourquoi “fine échelle” ?

## Velocity Measurements in the Deep Water of the Western North Atlantic<sup>1</sup>

Summary

J. CREASE

1962



Currents observed during five visits to a small area west of Bermuda, R.V. Aries 1960

errors of observation. **Speeds are of the order of 10 cm/sec, and direction is extremely variable from one series of trajectories to another. This is contrary to the widely held view that the deep ocean is relatively quiescent with velocities of the order of 1 cm/sec.** There is a significant con-

Premières observations de **turbulence de sous-mésoéchelle en profondeur** (2000 et 4000 m) à partir de trajectoires de bouées dérivantes.

# Contexte — pourquoi “fine échelle” ?

## Velocity Measurements in the Deep Water of the Western North Atlantic<sup>1</sup>

Summary

J. CREASE

1962

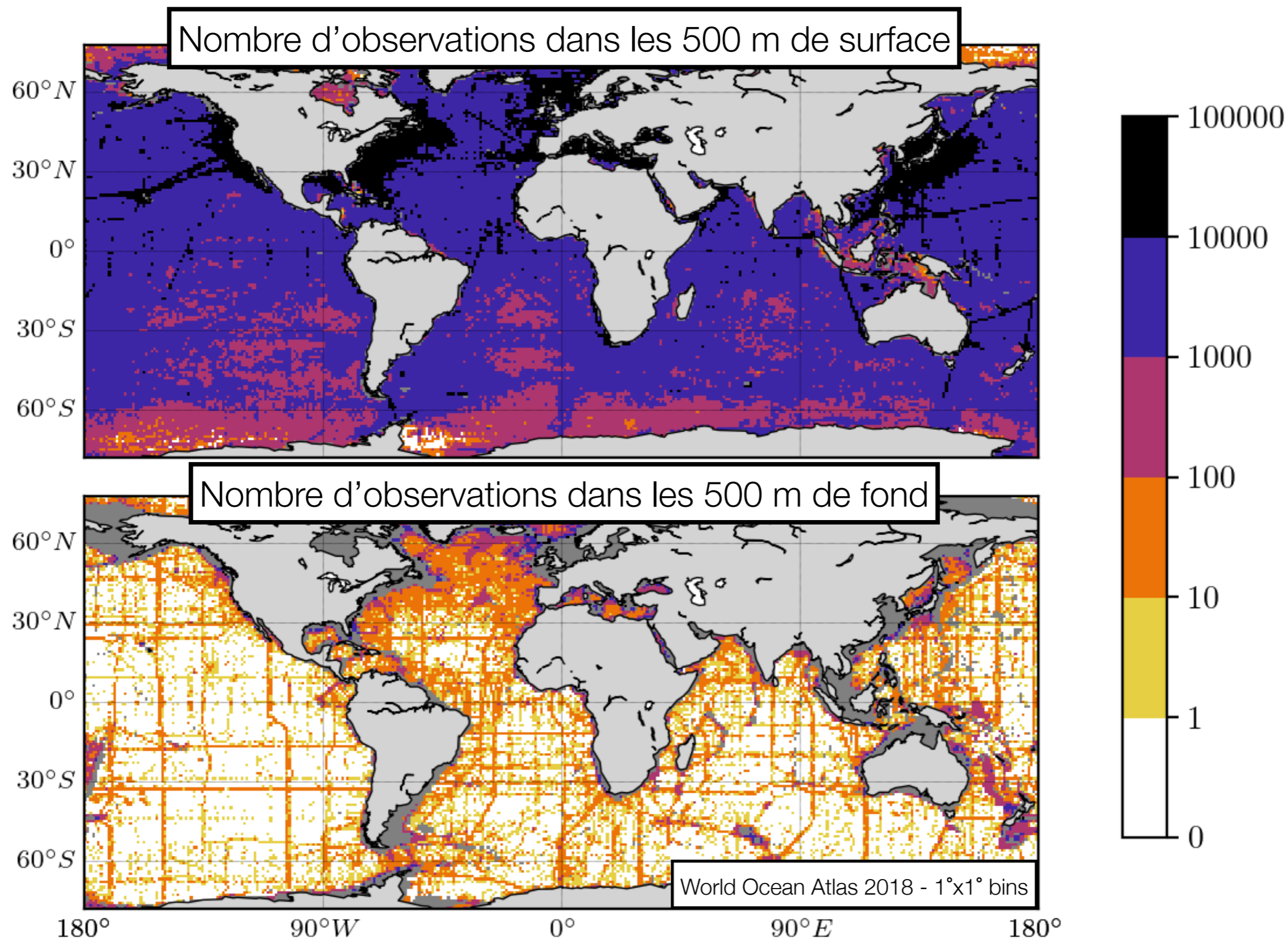
Currents observed

sure such a mean accurately. This raises the question of just how important the time-independent mean circulation is in the deep water of the open ocean compared with the eddy transport of properties by the transient motions.

10 cm/sec, and direction is extremely variable from one series of trajectories to another. This is contrary to the widely held view that the deep ocean is relatively quiescent with velocities of the order of 1 cm/sec. There is a significant con-

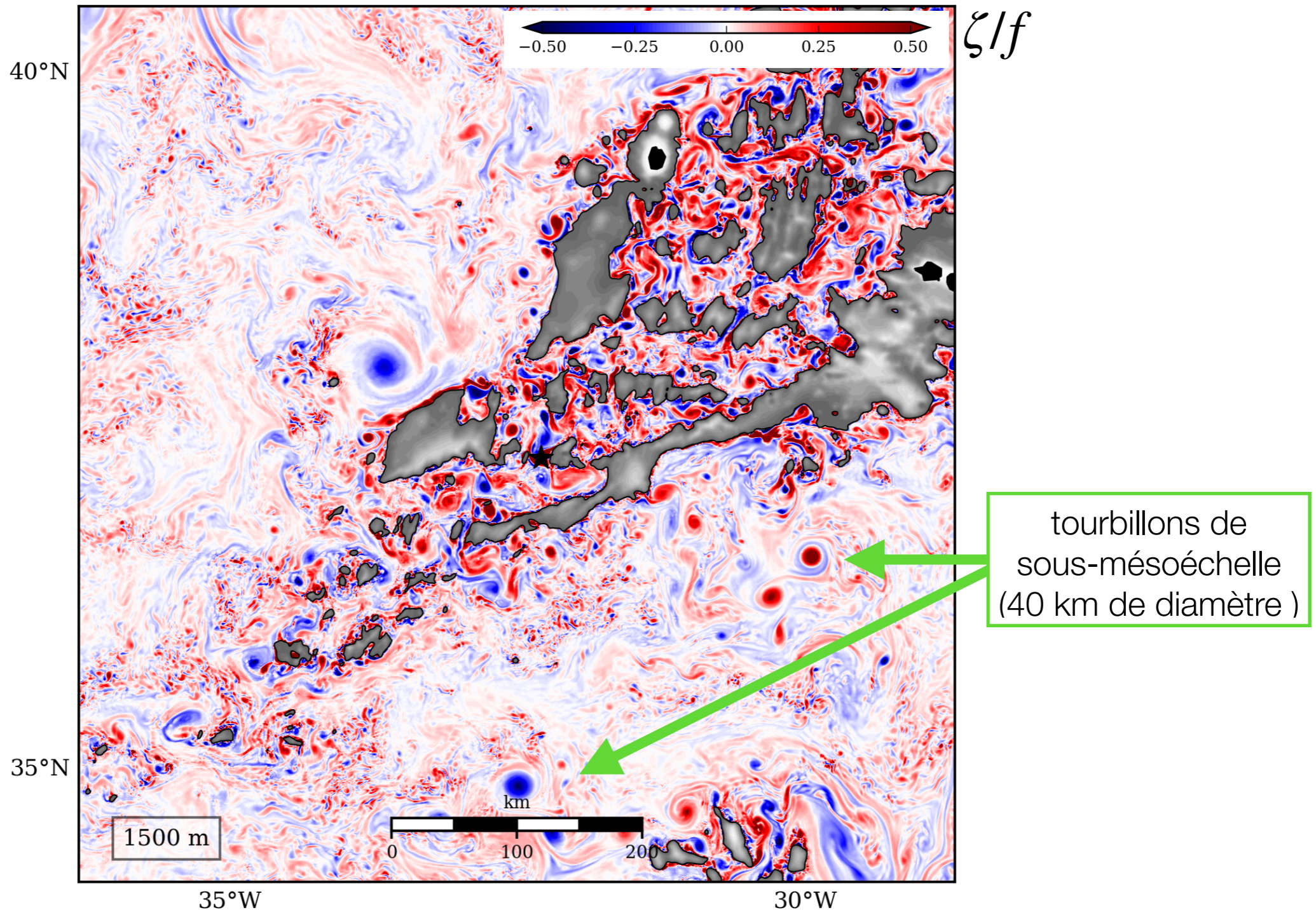
Premières observations de **turbulence de sous-mésoéchelle en profondeur** (2000 et 4000 m) à partir de trajectoires de bouées dérivantes.

# Contexte — un échantillonnage clairsemé



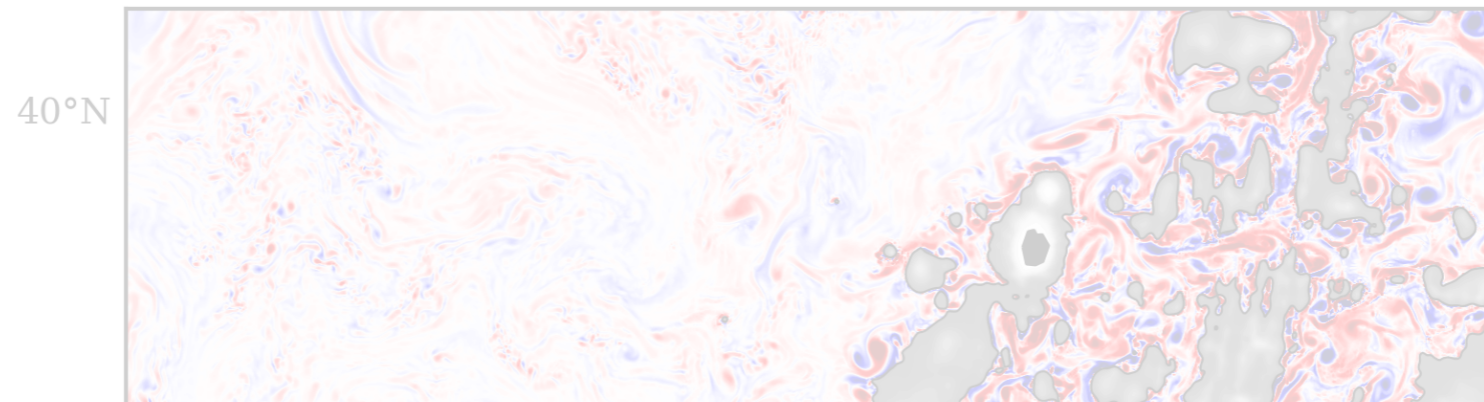
# Modélisation à fine-échelle

Modélisation numérique de la circulation profonde sur la dorsale médio-atlantique autour du site hydrothermal Lucky Strike ( $\Delta x=750$  m) — émergence de régimes de turbulence contraints/catalysés par la topographie



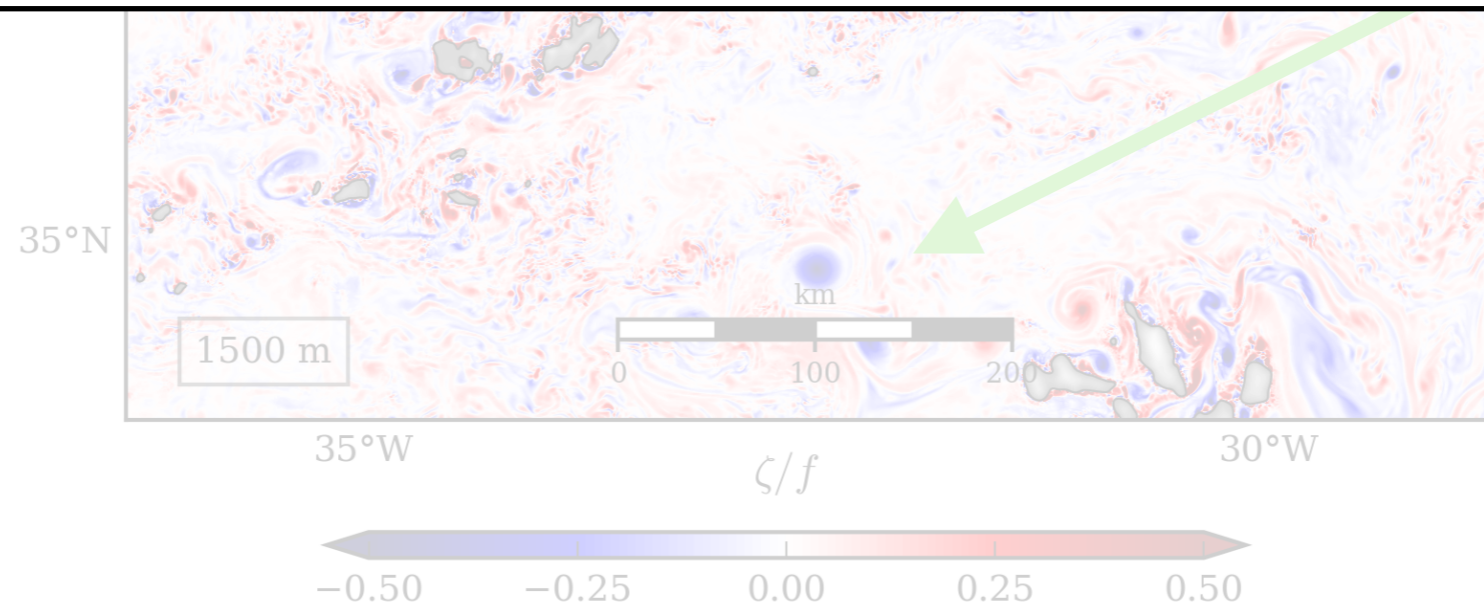
# Modélisation à fine-échelle

Modélisation numérique de la circulation profonde sur la dorsale médio-atlantique autour du site hydrothermal Lucky Strike ( $\Delta x=750$  m)



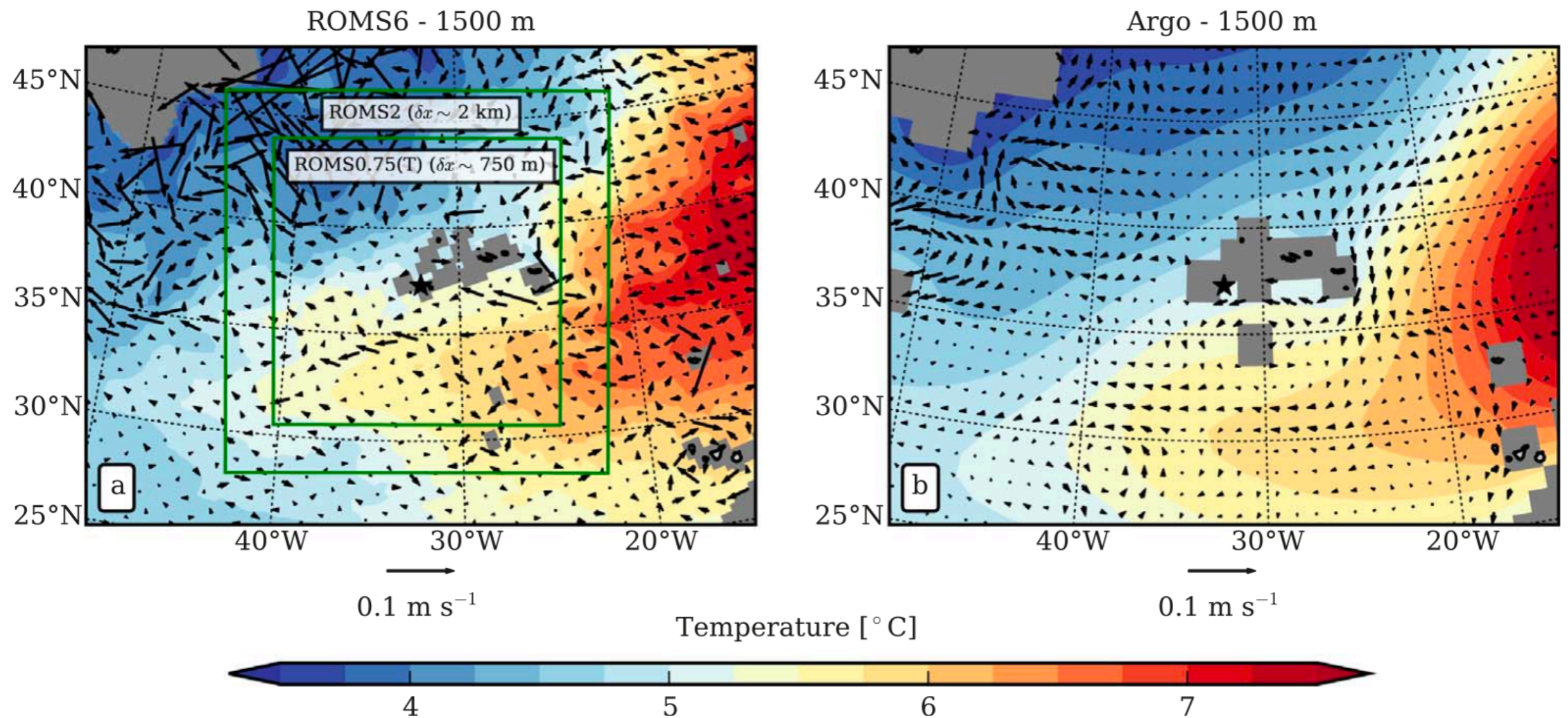
Comment estimer (“valider”) le réalisme de ces simulations ?

- circulation moyenne
- niveaux d'énergie dans les différentes gammes de fréquence (mésoéchelle, sous-mésoéchelle, marée)
- gradients  $(x, y, z)$  des propriétés de l'écoulement  $(u, v, \rho)$



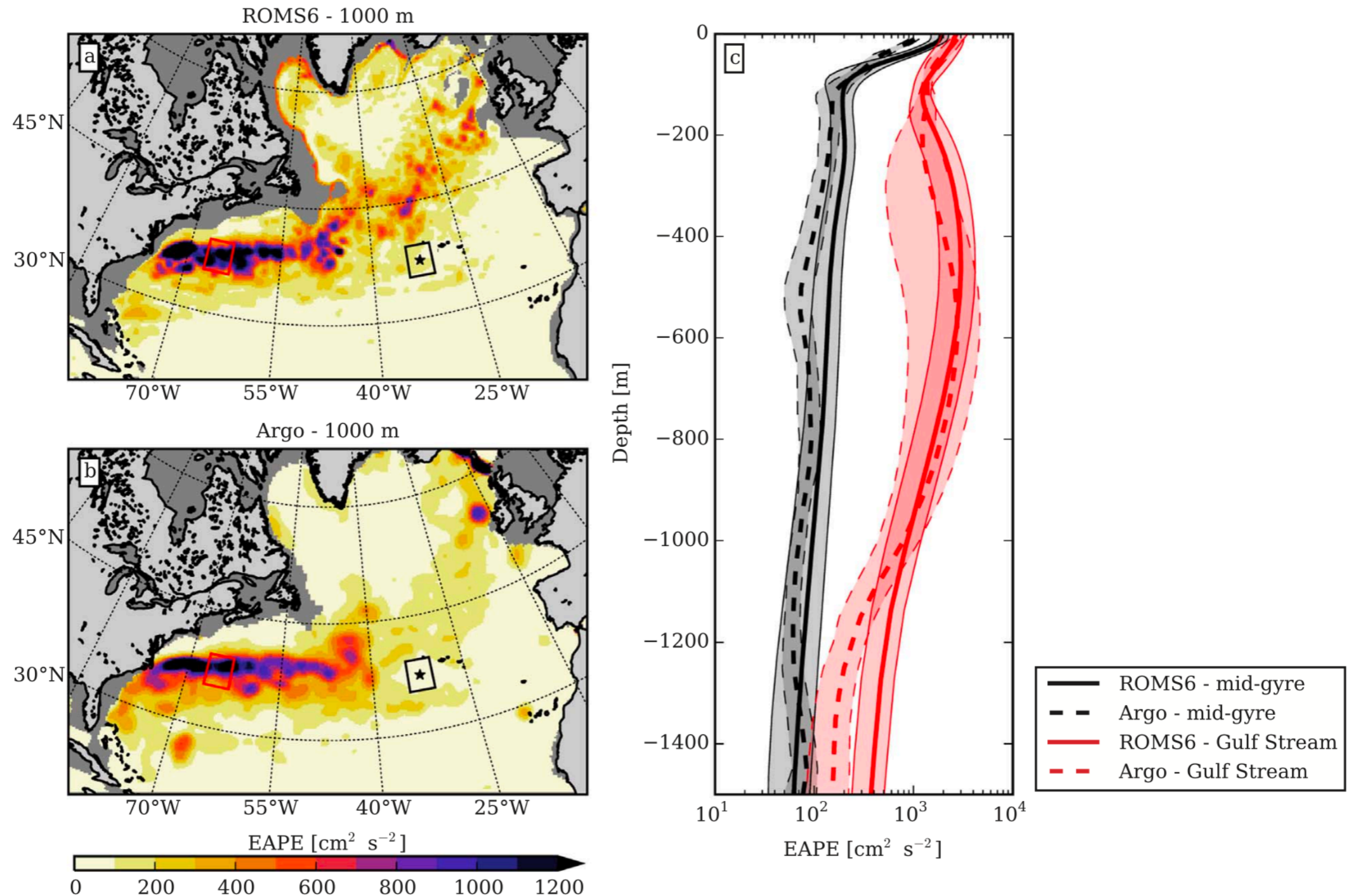
# Jeux d'observations à plus ou moins fine-échelle — Argo

- Reconstruction de la circulation moyenne (ANDRO)



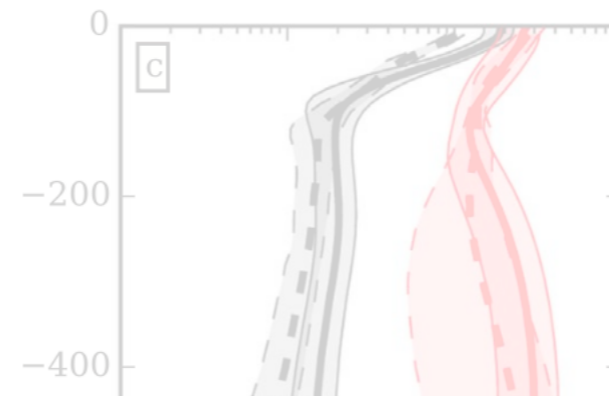
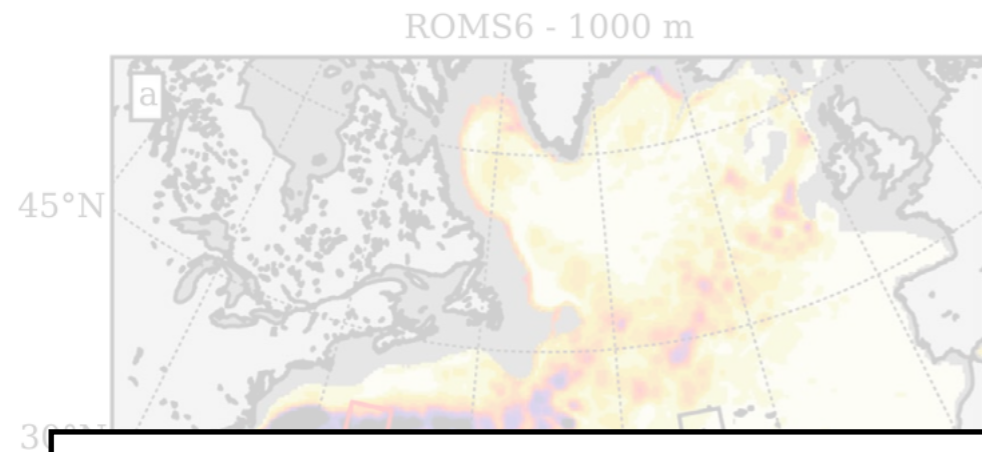
# Jeux d'observations à plus ou moins fine-échelle — Argo

- Reconstruction de la circulation moyenne (ANDRO)
- Reconstruction de l'énergie potentielle turbulente disponible (EAPE)



# Jeux d'observations à plus ou moins fine-échelle — Argo

- Reconstruction de la circulation moyenne (ANDRO)
- Reconstruction de l'énergie potentielle turbulente disponible (EAPE)

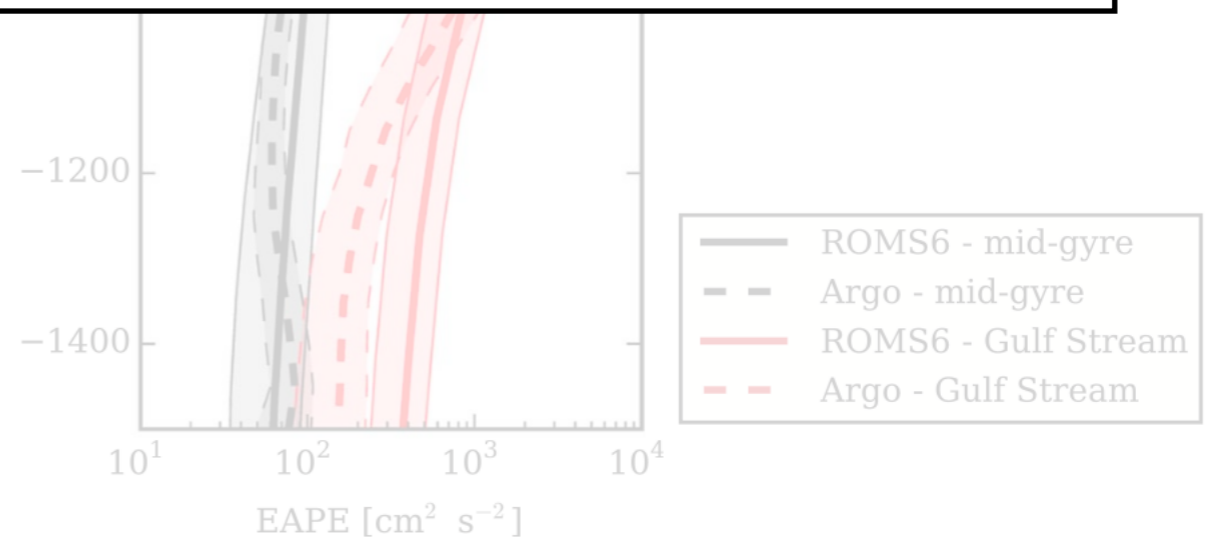
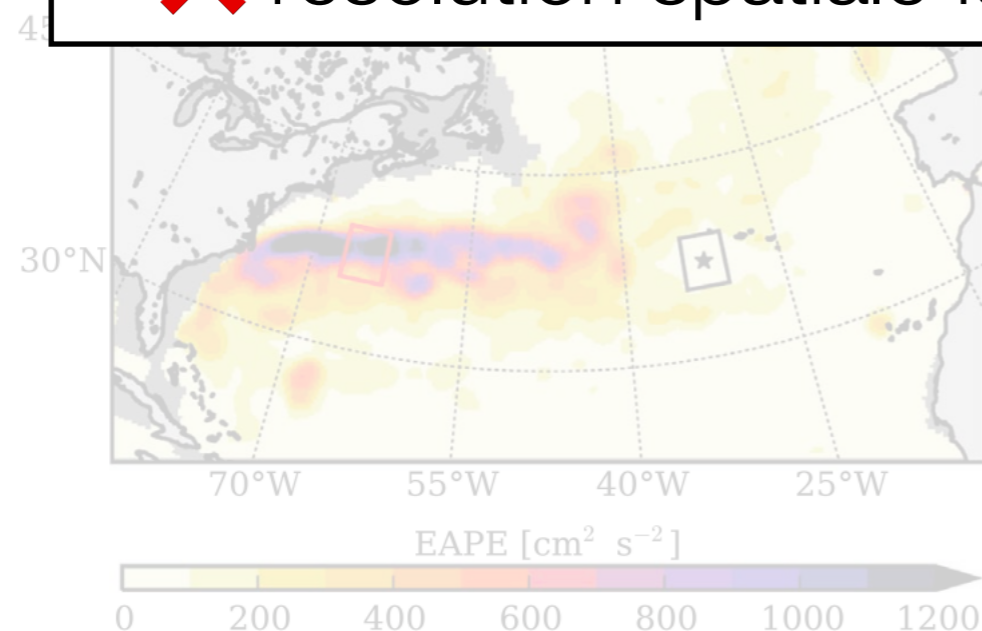


Jeux de données dérivés d'Argo:

✓ couverture quasi-globale

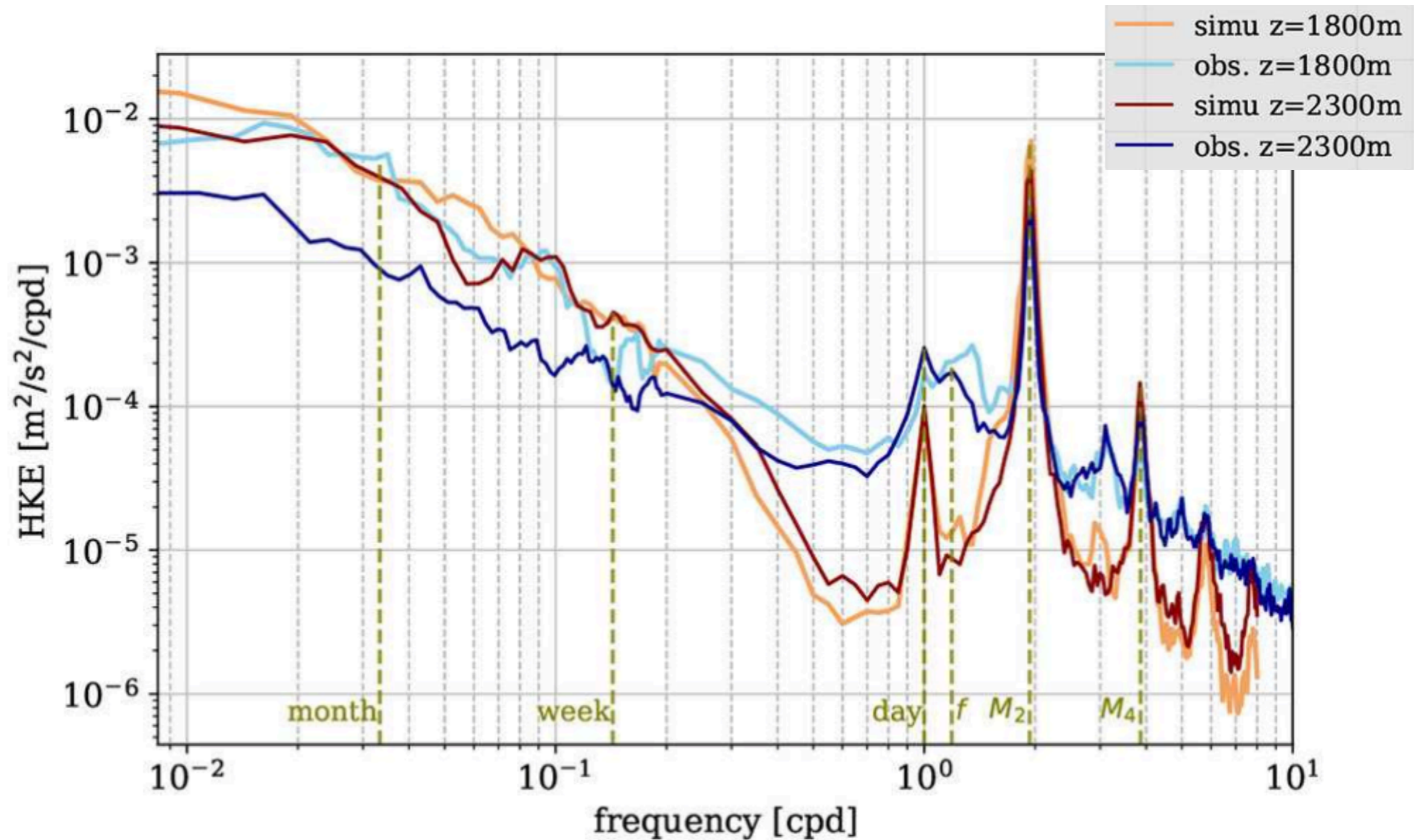
✗ fréquence d'échantillonnage faible (marée ?)

✗ résolution spatiale faible des produits grillés ( $\geq 1^\circ$  ?)



# Jeux d'observations à plus ou moins fine-échelle — mouillages

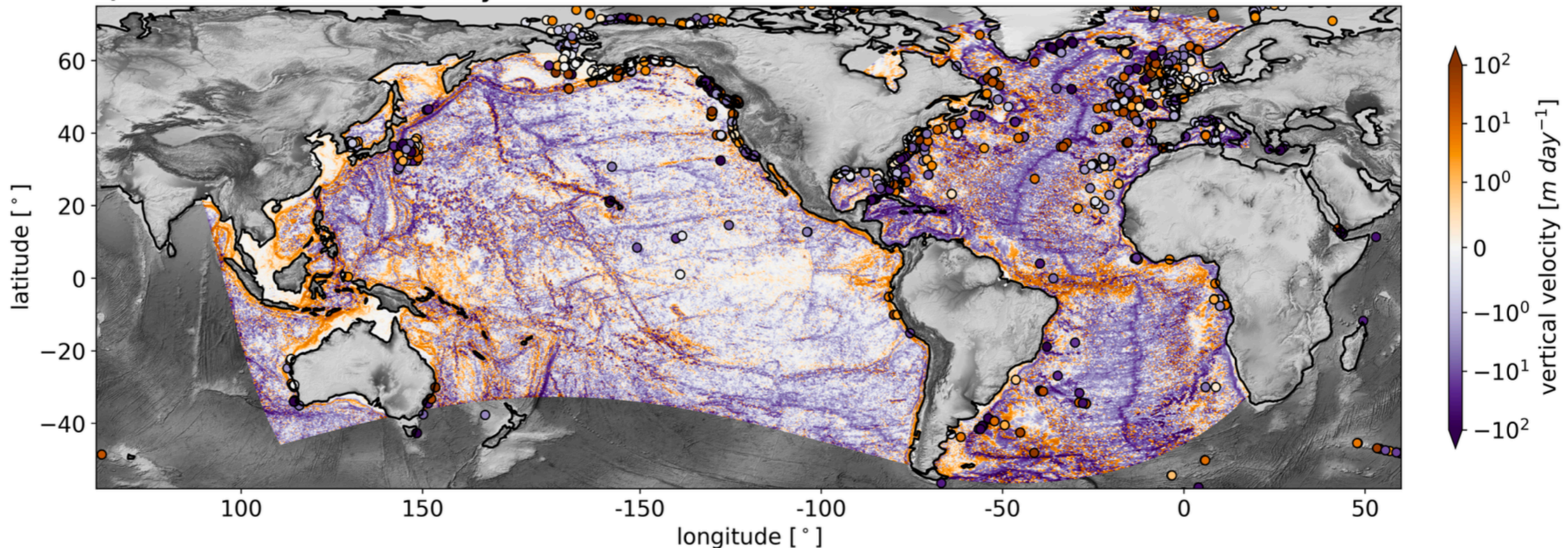
- Analyse statistique en point fixe, analyse spectrale, distributions, ...



# Jeux d'observations à plus ou moins fine-échelle — mouillages

- Analyse statistique en point fixe, analyse spectrale, distributions, ...
- Circulation moyenne et variabilité dans des endroits clés

c) near-bottom vertical velocity

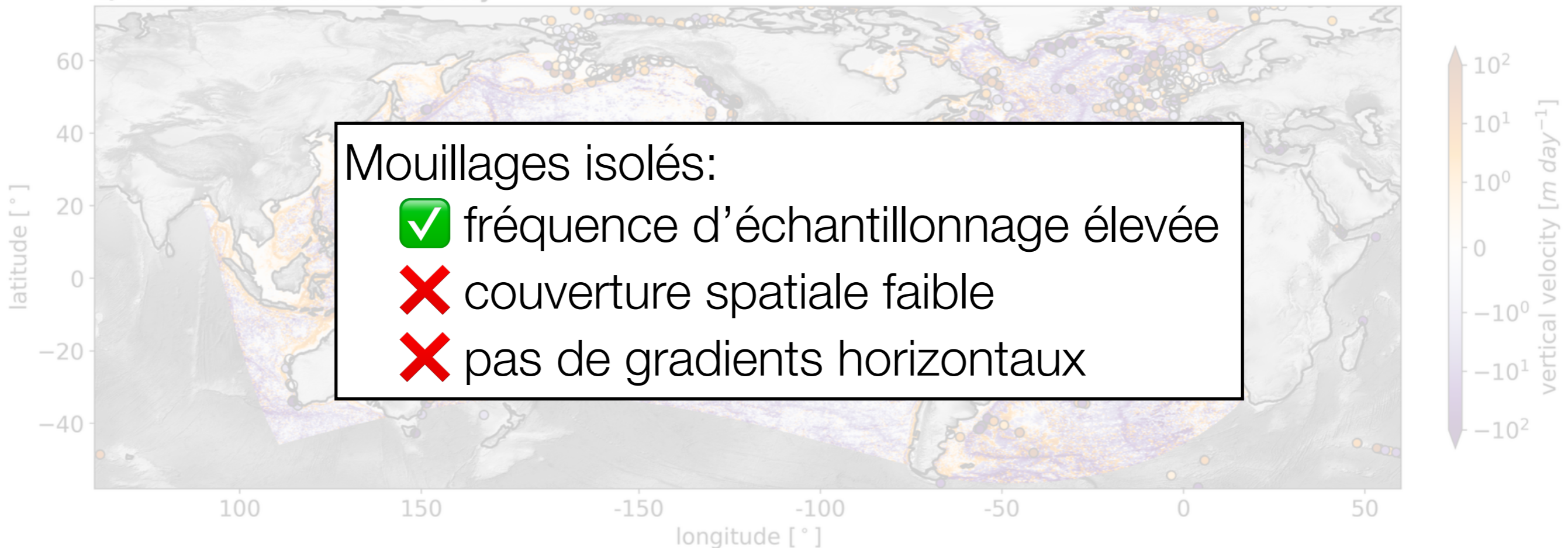


Base de données de courantomètres sur ligne de mouillage (*Global Multi-Archive Current Meter Database*, Scott et al. 2015)

# Jeux d'observations à plus ou moins fine-échelle — mouillages

- Analyse statistique en point fixe, analyse spectrale, distributions, ...
- Circulation moyenne et variabilité dans des endroits clés

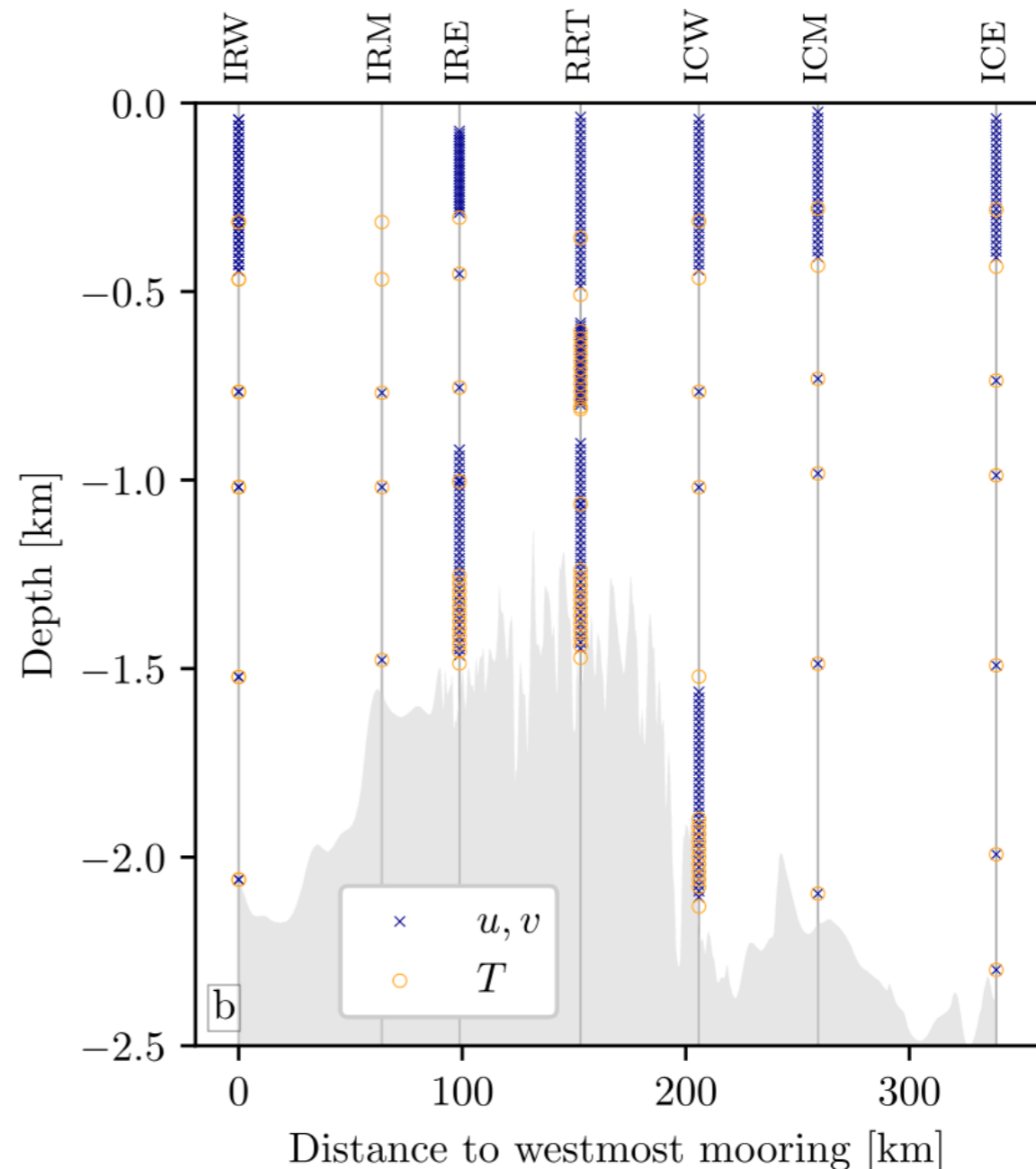
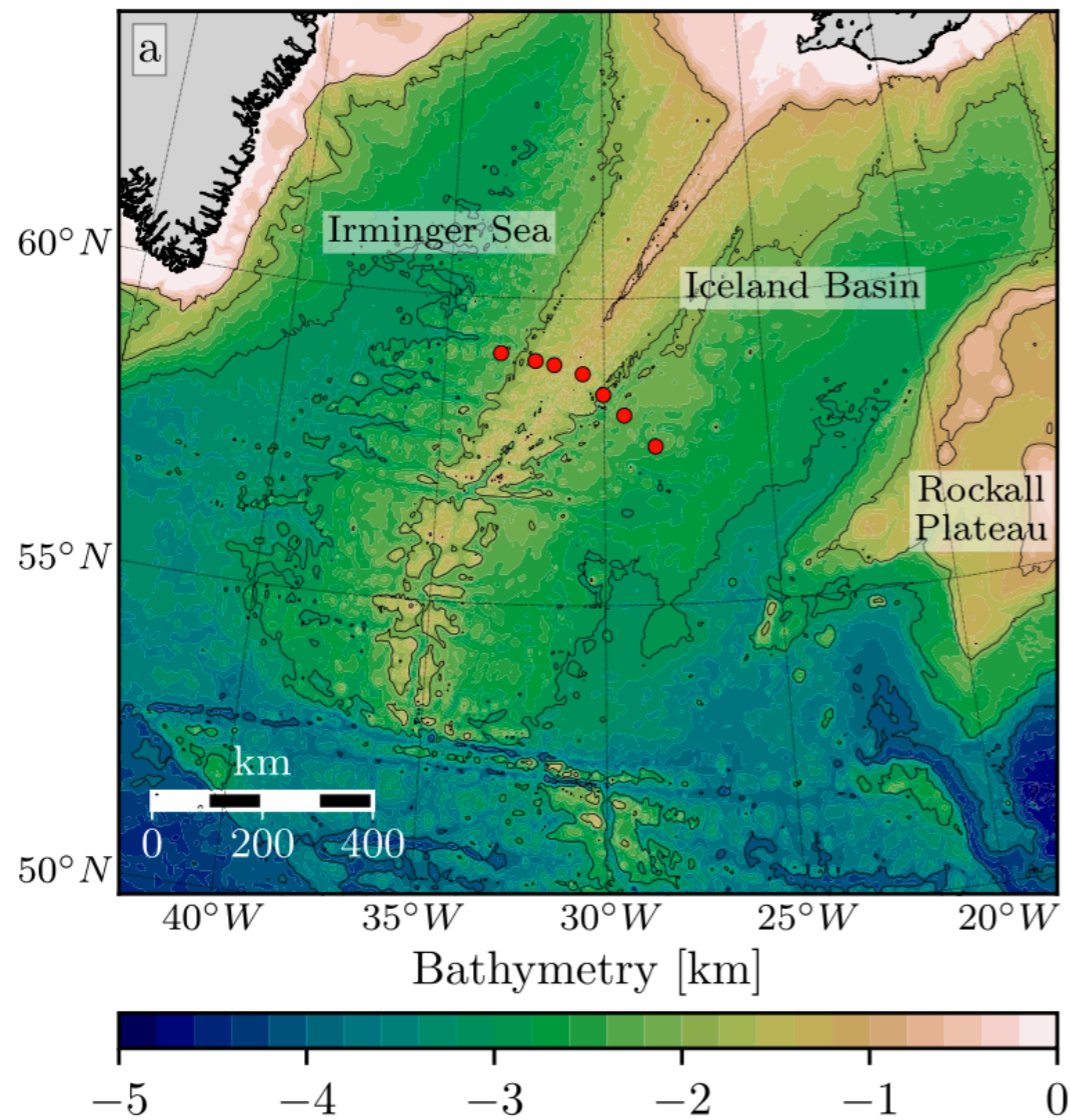
c) near-bottom vertical velocity



Base de données de courantomètres sur ligne de mouillage (*Global Multi-Archive Current Meter Database*, Scott et al. 2015)

# Jeux d'observations à plus ou moins fine-échelle — mouillages

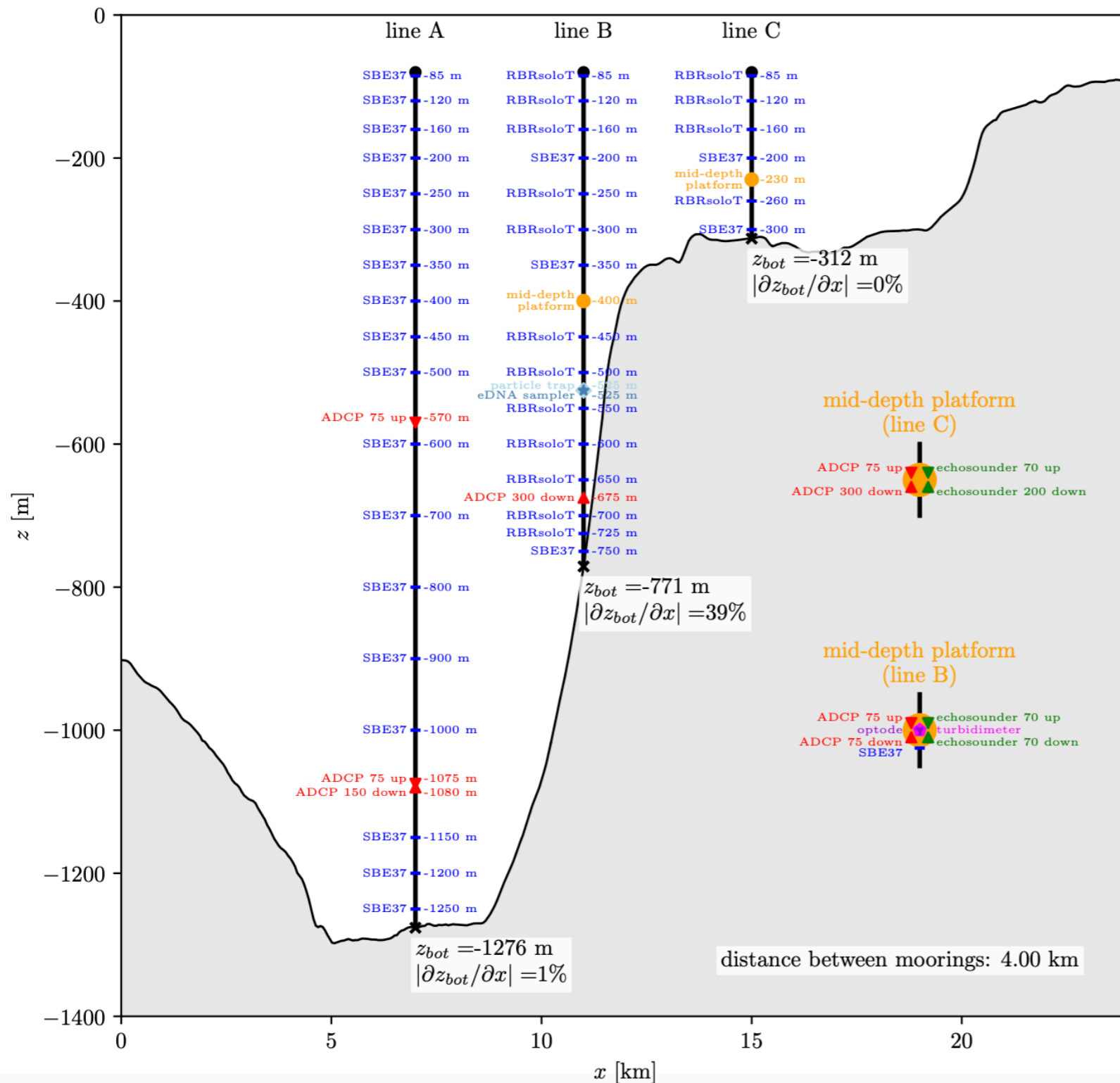
- Mouillages “en réseau”: proximité entre mouillages pour évaluer des gradients



projet Reykjanes Ridge Experiment (RREX, PI: Virginie Thierry, LOPS)  
distance entre les mouillages: 40-100 km, mésoéchelle, marée interne, ...

# Jeux d'observations à plus ou moins fine-échelle — mouillages

- Mouillages “en réseau”: proximité entre mouillages pour évaluer des gradients

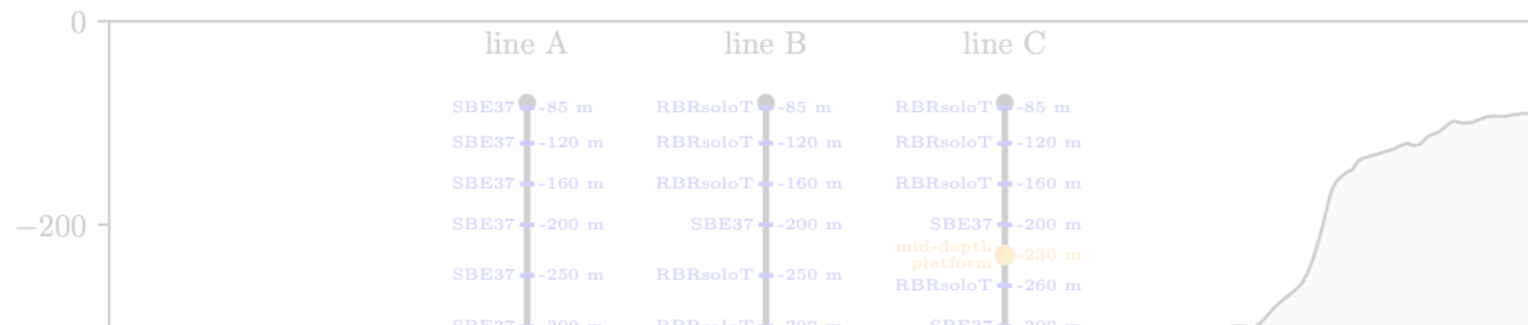


projet ScInObs (Ifremer),  
déploiement de trois mouillages  
sur la pente d'un mont sous-marin  
(oct. 2025).

distance entre les mouillages:  
4 km (sous-mésoéchelle, marée  
interne, dissipation d'énergie)

# Jeux d'observations à plus ou moins fine-échelle — mouillages

- Mouillages “en réseau”: proximité entre mouillages pour évaluer des gradients



projet ScInObs (Ifremer),  
déploiement de trois mouillages  
sur la pente d'un mont sous-marin  
(oct. 2025).

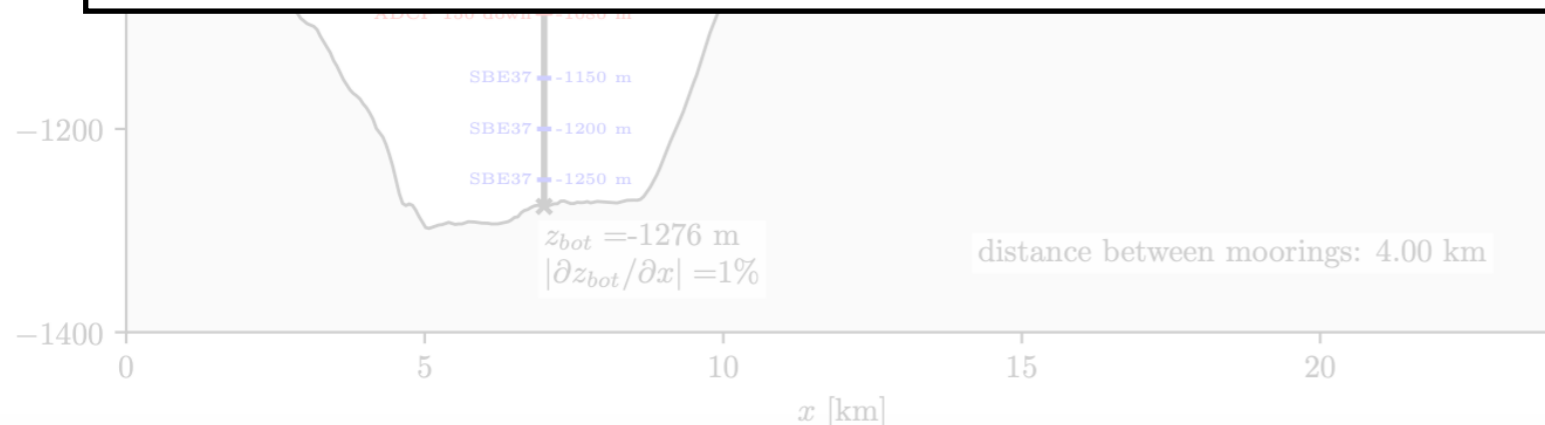
## Mouillages en réseau:

✓ fréquence d'échantillonnage élevée

✓ mesure des gradients horizontaux

✗ coût et opérations complexes

🧐 On se rapproche de la résolution des simulations régionales “haute résolution” (sous-mésoéchelle, marée interne, continuum IGW, ...)

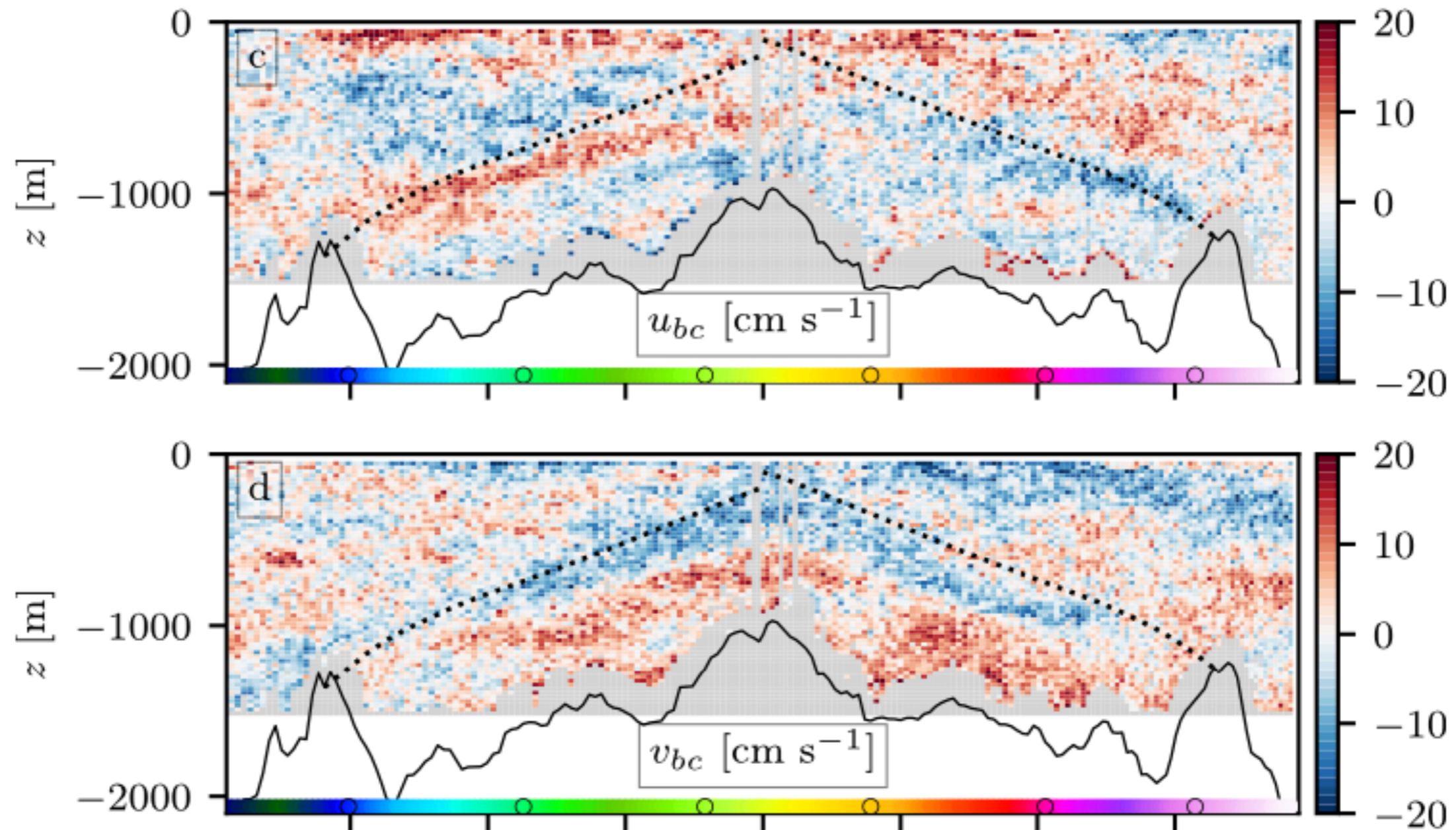






# Jeux d'observations à plus ou moins fine-échelle — ADCP de coque

ADCP de coque (38 kHz,  $\Delta z=24$  m, surface jusqu'à  $\sim 1500$  m). Échantillonnage de la structure verticale et horizontale ( $\pm$  instantanée) des courants.



# Bibliographie

---

ANDRO database, <https://www.seanoe.org/data/00360/47077/>

Bailey, L. P., Clare, M. A., Hunt, J. E., Kane, I. A., Miramontes, E., Fonnesu, M., ... & Wallerand, R. (2024). Highly variable deep-sea currents over tidal and seasonal timescales. *Nature Geoscience*, 1-8, doi:10.1038/s41561-024-01494-2

Crease, J. (1962). Velocity measurements in the deep water of the western North Atlantic: Summary. *Journal of Geophysical Research*, 67(8), 3173-3176.

Helland-Hansen, B., & Nansen, F. (1909). The Norwegian Sea: its physical oceanography based upon the Norwegian researches 1900-1904 (Vol. 2, No. 2). Det Mallingske bogtrykkeri.

Howe, B. M., Arbic, B. K., Aucan, J., Barnes, C. R., Bayliff, N., Becker, N., ... & Weinstein, S. (2019). SMART cables for observing the global ocean: science and implementation. *Frontiers in Marine Science*, 6, 424, doi:10.3389/fmars.2019.00424

Lahaye, N., Gula, J., Thurnherr, A. M., Reverdin, G., Bouruet-Aubertot, P., & Roulet, G. (2019). Deep currents in the rift valley of the north mid-Atlantic ridge. *Frontiers in Marine Science*, 6, 597, doi:10.3389/fmars.2019.00597

Levin, L. A., Bett, B. J., Gates, A. R., Heimbach, P., Howe, B. M., Janssen, F., ... & Weller, R. A. (2019). Global observing needs in the deep ocean. *Frontiers in Marine Science*, 6, 241, doi:10.3389/fmars.2019.00241

Mata Flores, D., Sladen, A., Ampuero, J. P., Mercerat, E. D., & Rivet, D. (2023). Monitoring deep sea currents with seafloor distributed acoustic sensing. *Earth and Space Science*, 10(6), doi:10.1029/2022EA002723

Roulet, G., Capet, X., & Maze, G. (2014). Global interior eddy available potential energy diagnosed from Argo floats. *Geophysical Research Letters*, 41(5), 1651-1656, doi: 10.1002/2013GL059004

Schubert, R., Gula, J., Capó, E., Damien, P., Molemaker, J., Vic, C., & McWilliams, J. C. (2024). The ocean flows downhill near the seafloor and recirculates uphill above. Submitted, doi: 10.21203/rs.3.rs-3872319/v1

# Bibliographie

---

Scott, R. B., Arbic, B. K., Chassignet, E. P., Coward, A. C., Maltrud, M., Merryfield, W. J., ... & Varghese, A. (2010). Total kinetic energy in four global eddy ocean circulation models and over 5000 current meter records. *Ocean Modelling*, 32(3-4), 157-169, doi:

Stommel, H., & Arons, A. B. (1960). On the abyssal circulation of the world ocean—II. An idealized model of the circulation pattern and amplitude in oceanic basins. *Deep Sea Research (1953)*, 6, 217-233.

Vic, C., & Ferron, B. (2023). Observed structure of an internal tide beam over the Mid-Atlantic Ridge. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128, doi: 10.1029/2022JC019509

Vic, C., Ferron, B., Thierry, V., Mercier, H., & Lherminier, P. (2021). Tidal and near-inertial internal waves over the Reykjanes Ridge. *Journal of Physical Oceanography*, 51(2), 419-437, doi: 10.1175/JPO-D-20-0097.1

Vic, C., Gula, J., Roullet, G., & Pradillon, F. (2018). Dispersion of deep-sea hydrothermal vent effluents and larvae by submesoscale and tidal currents. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 133, 1-18, doi: 10.1016/j.dsr.2018.01.001

Whalen, C. B., De Lavergne, C., Naveira Garabato, A. C., Klymak, J. M., MacKinnon, J. A., & Sheen, K. L. (2020). Internal wave-driven mixing: Governing processes and consequences for climate. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(11), 606-621.