

# Enjeux et frontières de la modélisation des échelles kilométriques pour les systèmes opérationnels globaux.



Journées du GMMC 206

Toulon

7-9 juin 2016

## Variabilité simulée de la dynamique de Sub-Méso-Echelle (SME) dans les couches de surface de l'océan Atlantique Nord

J. Le Sommer, B. Barnier, J.M. Molines, Sylvie Su, A. Jaymond,, T. Penduff, P. Klein



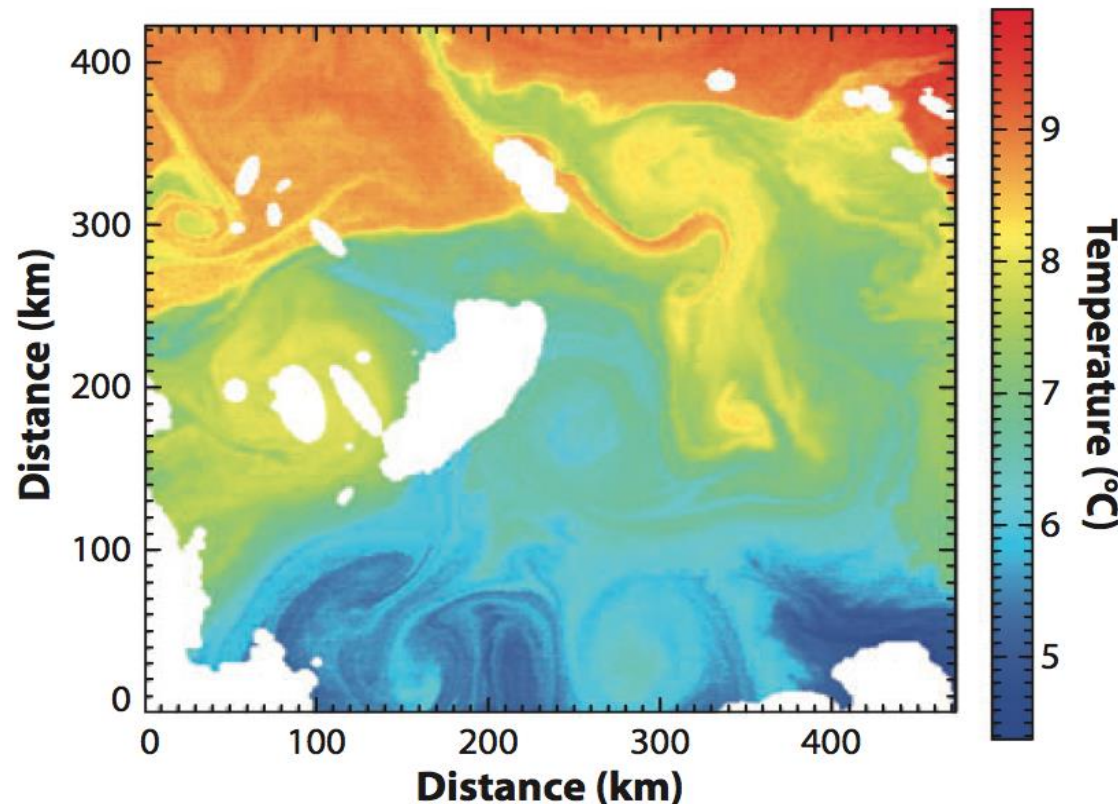
Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement



## Signature et impact à grande échelle de la dynamique de sous-mésoéchelle océanique?

Signatures clés SME: fronts, filaments, intensification en surface, fortes vitesses verticales ( $\sim 100\text{m/j}$ )  
forte vorticité relative (»vorticité planétaire)

### Impact sur les chemins de l'énergie dans l'océan



Injection: Vent et mésoéchelle ( $> 100\text{ km}$ )



sous-mésoéchelle ( $10\text{ km}$ )

Dissipation: turbulence 3D ( $\ll 1\text{ km}$ )

### Impact sur la stratification des couches de surface

- grandes vitesse verticales
- transports verticaux de chaleur et sel
-  changes air mer
- formation des masses d'eau

$$\overline{w'\rho'}$$

### Impact sur la biogéochimie

-  changes intérieur / surface
- alimentation de la production primaire
- subduction / séquestration du carbone

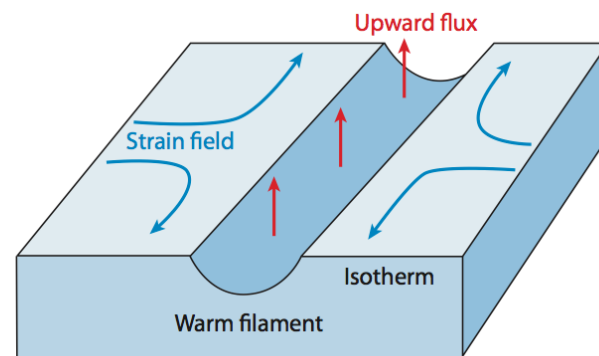
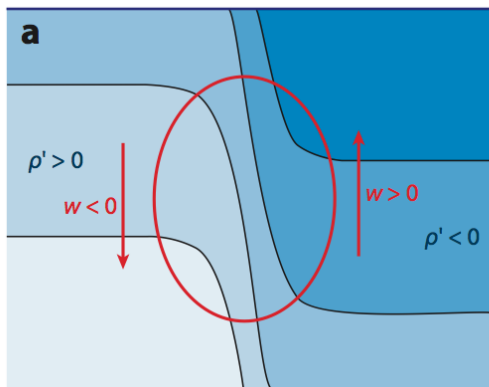
$$\overline{w'c'}$$

Quels impacts à grande échelle? Quelle représentation dans les ESMs ?

## Sources de variabilité océanique à sous-méso-échelle?

### Frontogenèse par déformation par la mésoéchelle

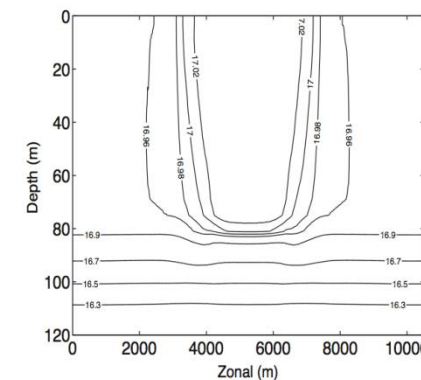
- ajustement « brise » la géostrophie
- dynamique SQG
- grande valeurs de  $W$  et petites échelles spatiales



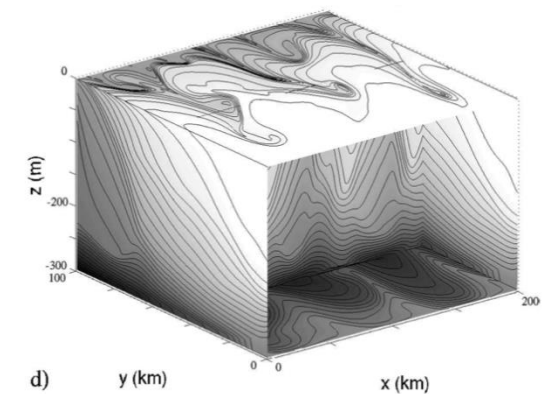
(Klein and Lapeyre, 2009)

### Instabilité barocline de la couche de mélange

- instabilité à croissance rapide (1-10 km)



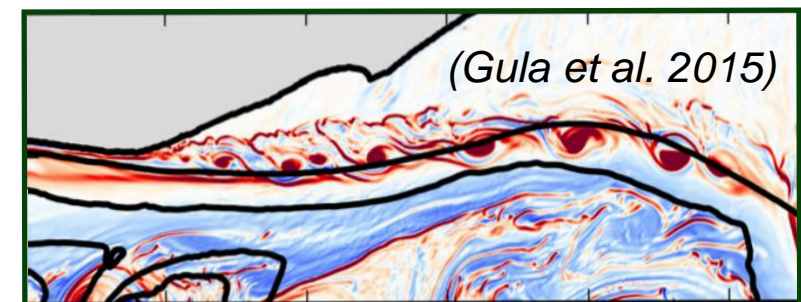
(Skylingsstad et al. 2012)



(Boccaletti et al. 2007)

### ► Interactions courant / topographie à mésoéchelle

- Instabilité de cisaillement latéral
- Extraction de vorticité du courant de bord



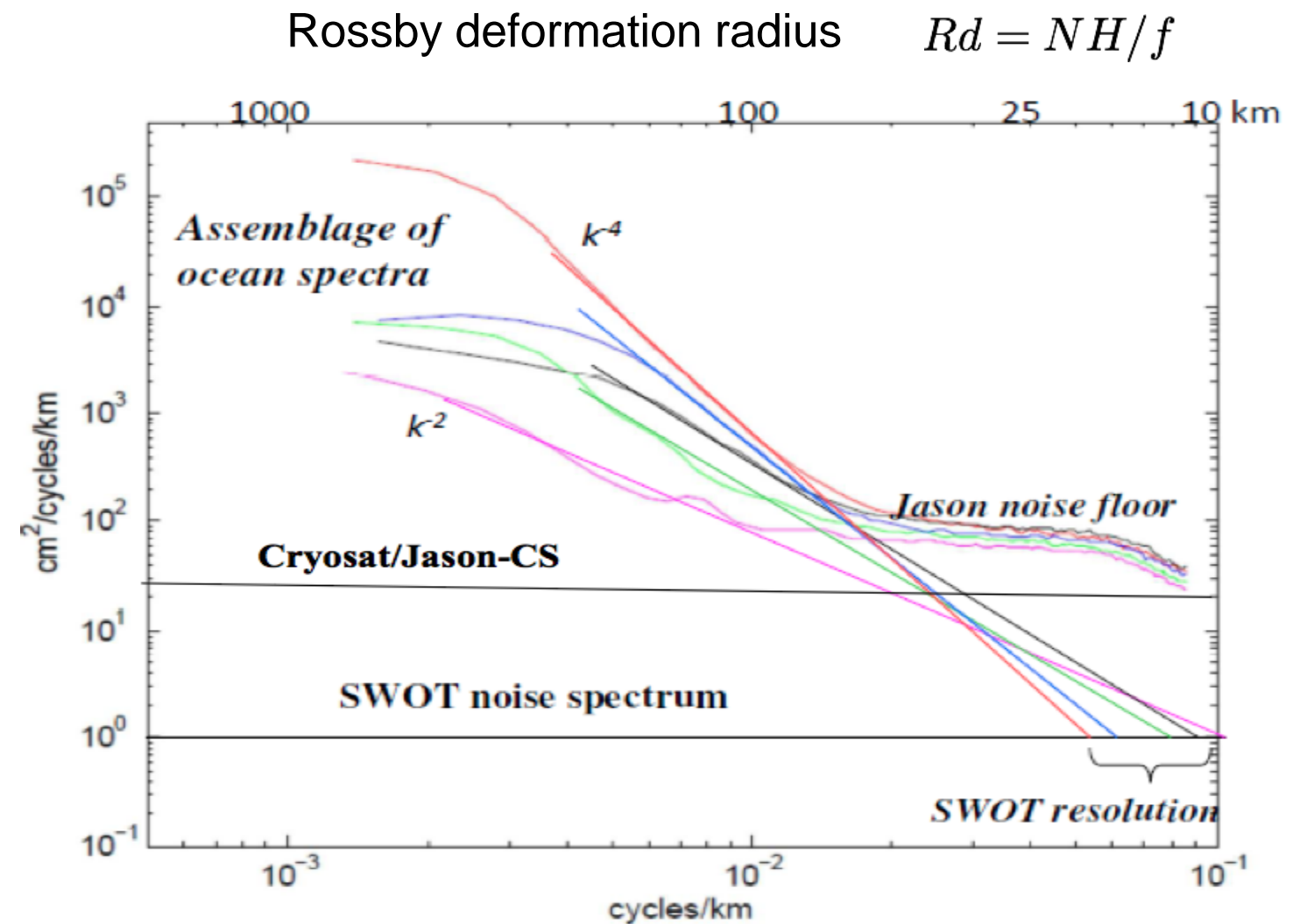
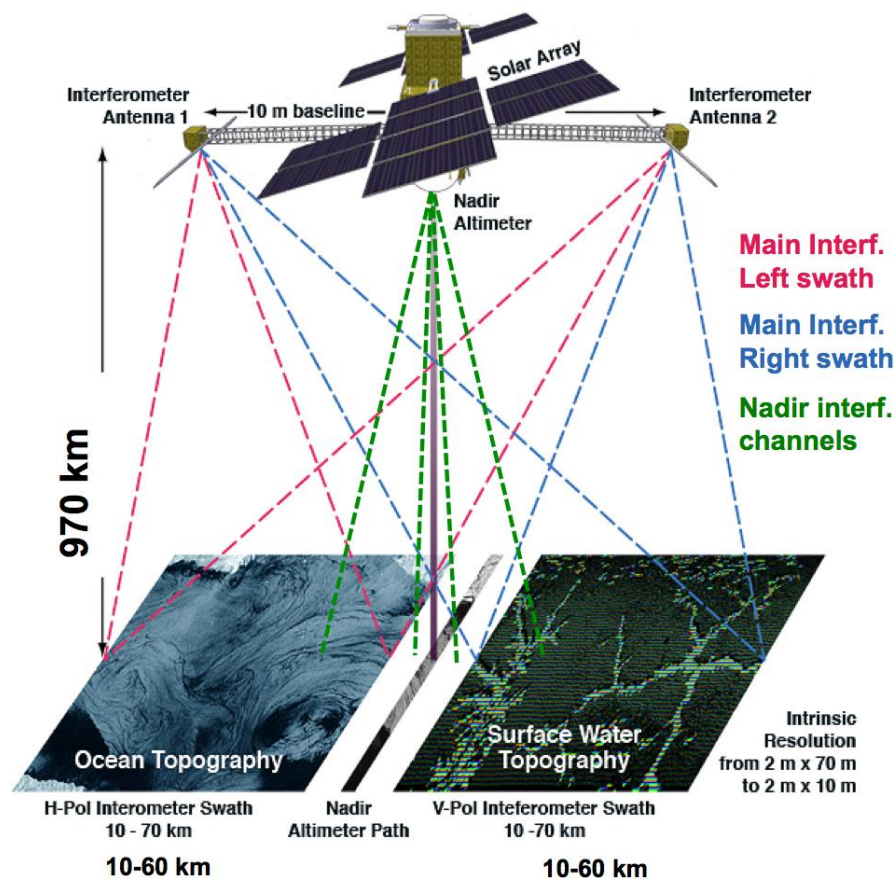
(Gula et al. 2015)

Ingrédients clés : gradients latéraux, stratification des couches de surface  
 coulements et turbulence mésoéchelle



Cascades d'énergie à travers la SME aux latitudes moyennes: quelles variations spatio-temporelles?

- Mission SWOT apportera des réponses:
  - mesure de la SSH dans la bande de résolution (10km-100km)



- Approche:

Simulations réalistes « sub-mésoscale permitting » à l'échelle d'un bassin océanique  
Réalisation virtuelle de ce que SWOT échantillonnera

1. Contexte and motivations
2. Méthodes : modélisation réalistes « sub-mesoscale permitting » à l'échelle de l'océan Atlantique Nord
3. Saisonnalité de la turbulence de sous-mésoéchelle dans l'Atlantique Nord
4. Régimes simulés des cascades turbulentes dans l'Atlantique Nord
5. Conclusions and perspectives

1.Contexte and motivations

**2.Méthodes : modélisation réalistes « sub-mesoscale permitting » à l'échelle de l'océan Atlantique Nord**

3.Saisonnalité de la turbulence de sous-mésoéchelle dans l'Atlantique Nord

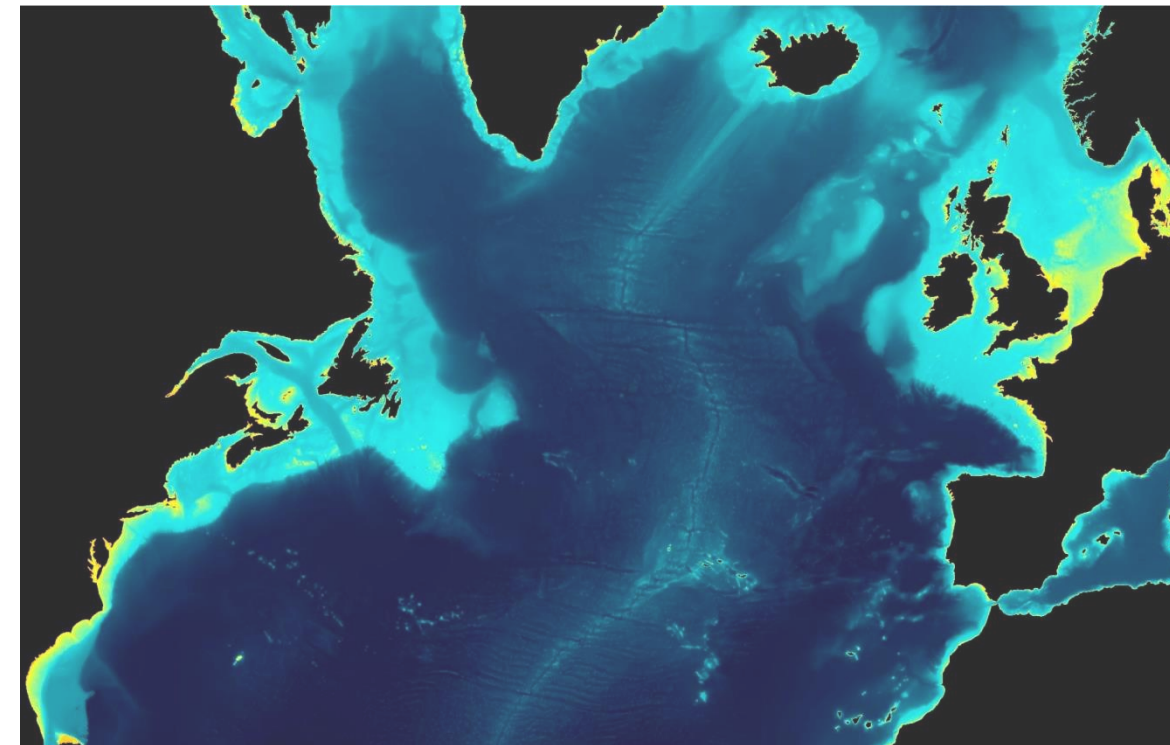
4. Régimes simulés des cascades turbulentes dans l'Atlantique Nord

5.Conclusions and perspectives

## Configuration du modèle et simulation

### Modèle

- Code: NEMO v3.5
- Grille horizontale : **1/60°** ( $\Delta x = 0.8 \text{ km to } 1.6 \text{ km}$ )
- Grille verticale : **300 niveaux** ( $\Delta z = 1 \text{ m to } 30 \text{ m}$ )
- Points de grille : **5,7 milliard**
- Période d'intégration : 5 ans (2004-2008)
- Initialisation et frontières ouvertes : GLORYS2V3
- Forçage atmosphérique : DFS5.2



Ingrédients clés: cohérence  $\Delta x/\Delta z$  gyre subpolaire

### Calculateur

Occigen au CINES, Montpellier

2.1 Petaflops (Top-20), 17Mh allocated CPU-time

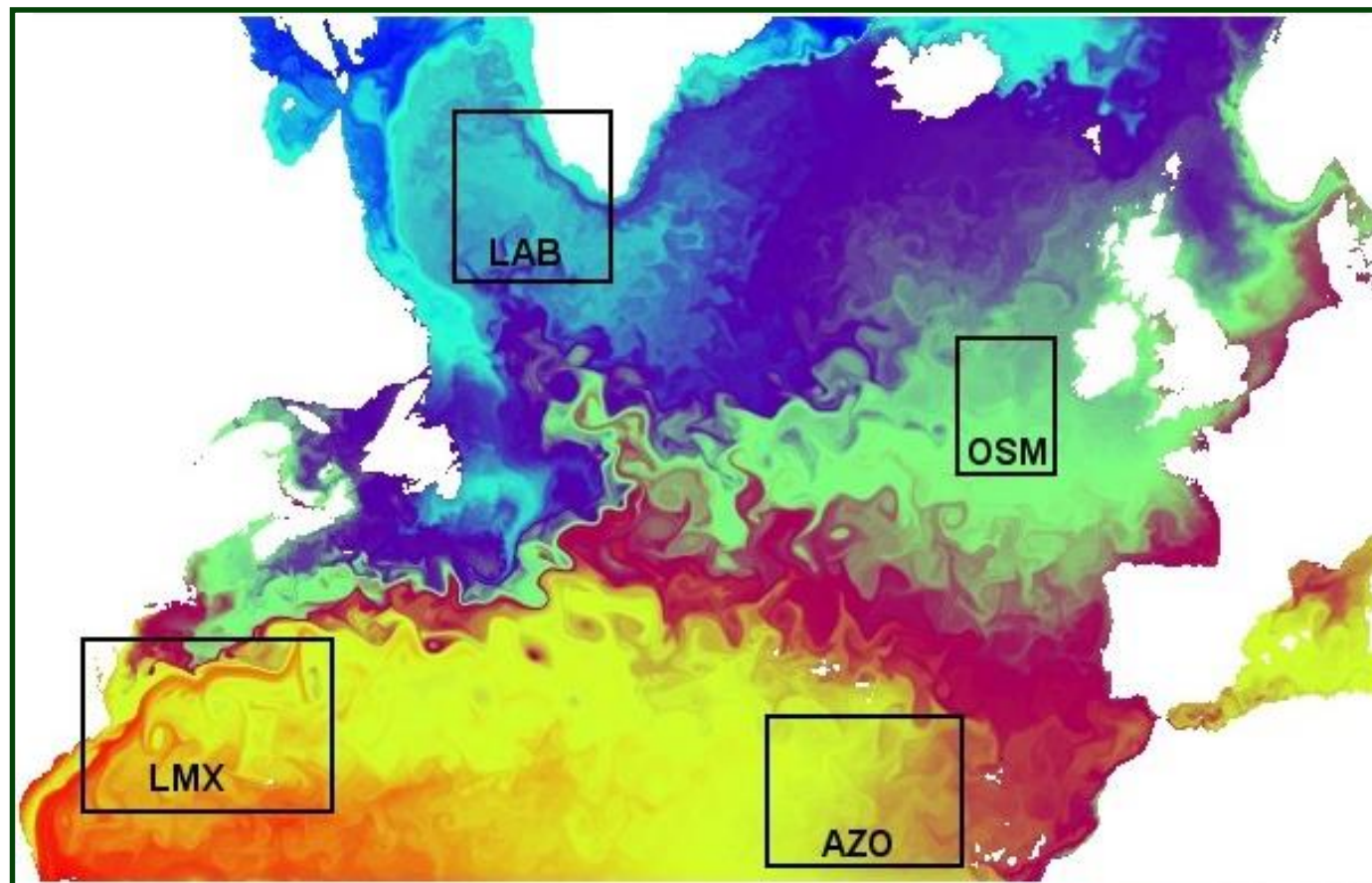




# Analyse des simulations

## Variables

- Vorticité relative  $\zeta = v_x - u_y$   
(normalisée par la fréquence de Coriolis  $\zeta/f$ )
- Vitesse du courant  $|u| = \sqrt{u^2 + v^2}$



SST (°C)



## Régions

LMX

- Campagne latmix
- Forte EKE
- Influence du GS

OSM

- Campagne osmosis
- Faible courant moyen
- Forte saisonnalité

LAB

- Convection profonde
- Faible courant moyen
- Faible stratification estivale

AZO

- Régime Subtropical
- Faible courant moyen
- Faible saisonnalité

## Périodes

Fin d'hiver / fin d'été



1.Contexte and motivations

2.Méthodes : modélisation réalistes « sub-mesoscale permitting » à l'échelle de l'océan Atlantique Nord

**3.Saisonnalité de la turbulence de sous-mésoéchelle dans l'Atlantique Nord**

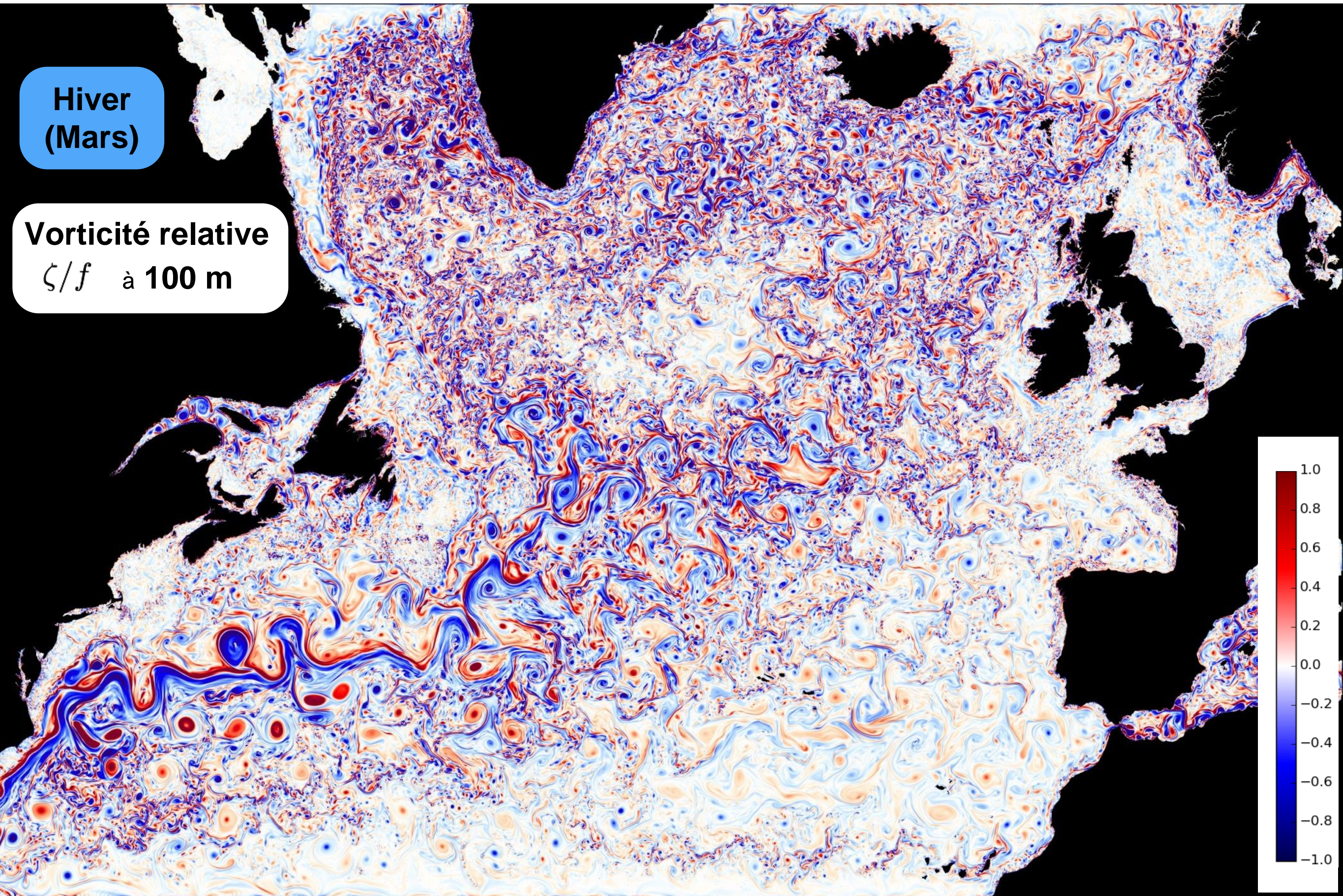
4. Régimes simulés des cascades turbulentes dans l'Atlantique Nord

5.Conclusions and perspectives



Hiver  
(Mars)

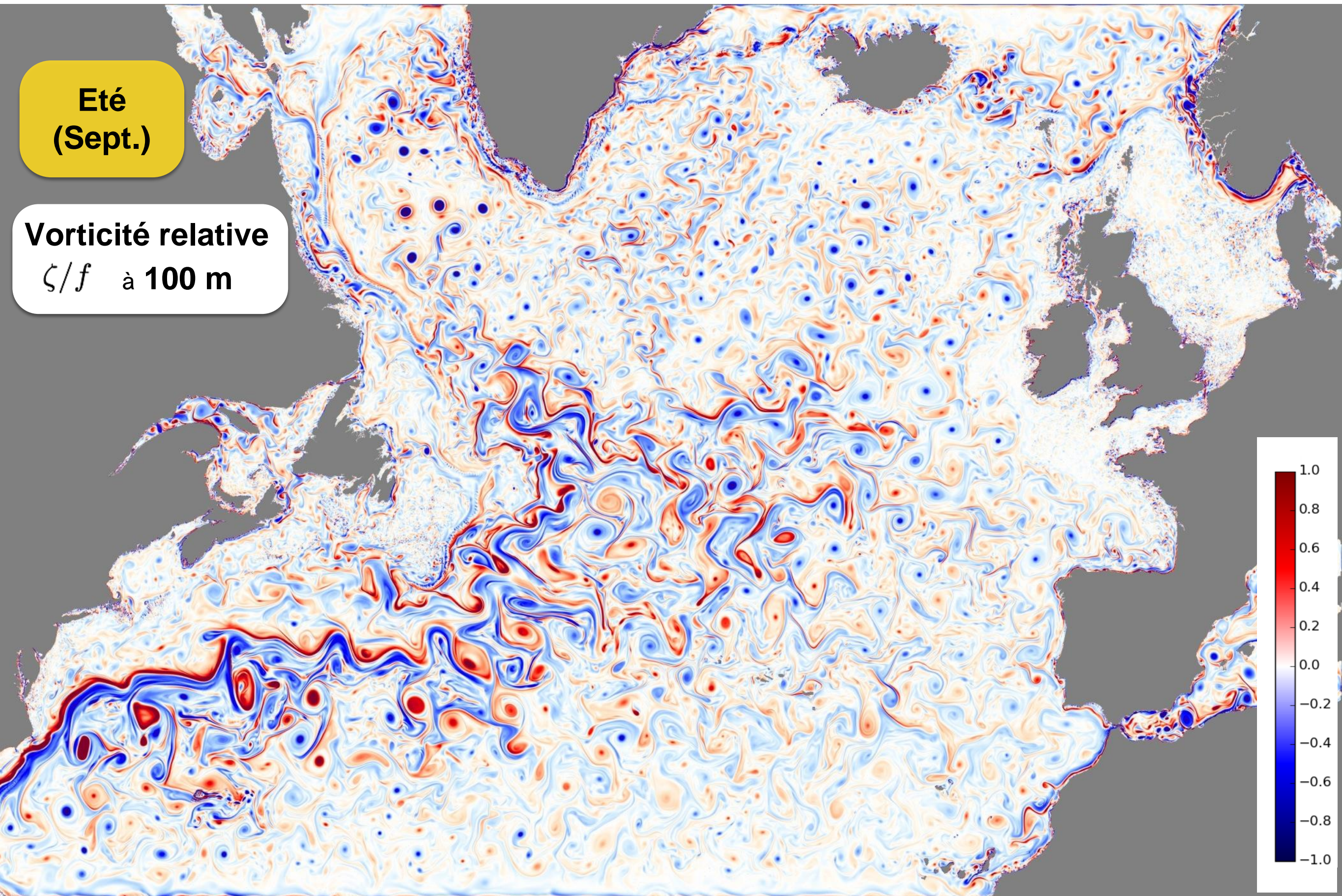
Vorticité relative  
 $\zeta/f$  à 100 m





Eté  
(Sept.)

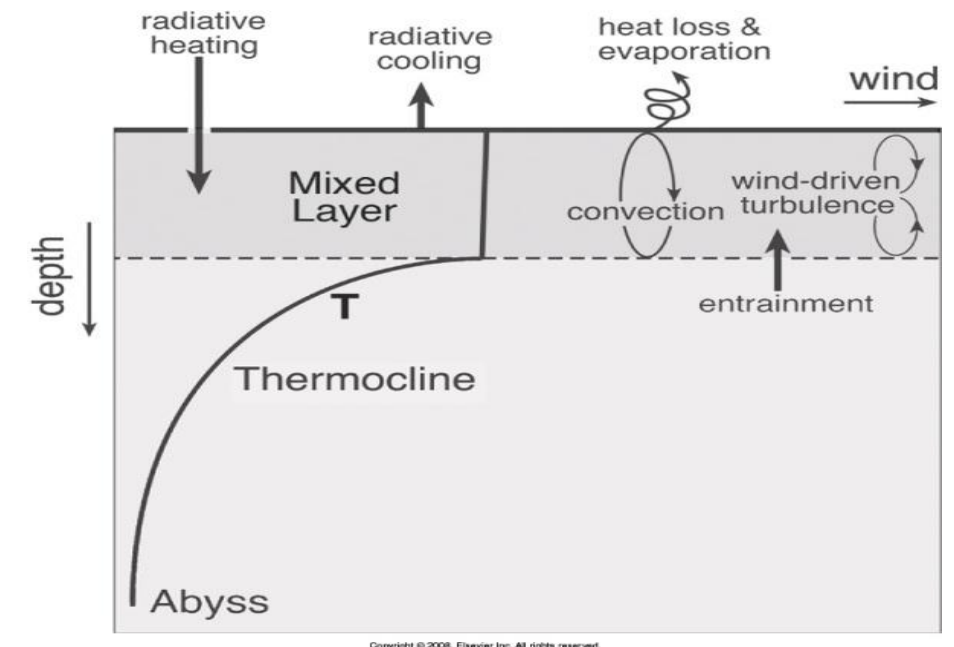
Vorticité relative  
 $\zeta/f$  à 100 m





## ▸ Quel mécanisme physique est la cause de cette saisonnalité?

- forte saisonnalité de la stratification des couches de surface
- impact sur les gradients horiz. et vert. de flottabilité
- conditions favorables aux Instabilités dans la Couche de Mélange en fin d'hiver



## ▸ Forte saisonnalité de la variabilité SME aux latitudes moyennes a été suggérée par plusieurs études récentes:

- *Capet et al. (2009)* : modelling (Argentine Basin)
- *Mensa et al. (2013)* : modelling (Gulf Stream)
- *Sasaki et al. (2014)* : modelling (North Pacific)
- *Callies et al. (2015)* : observation (Gulf Stream)



Hiver  
(Mars)

Vorticité relative  
 $\zeta/f$  à 100 m

Estimation de la variance de SME

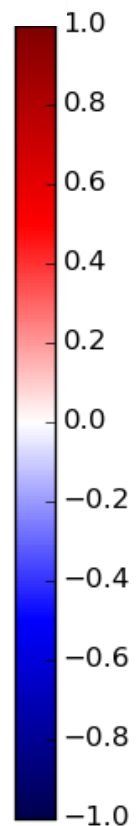


1°

$[\zeta]$  Moyenne spatiale

$$\mathcal{V}_\zeta = \overline{[(\zeta - [\zeta])^2]}^t$$

Moyenne temporelle de la variance  
sur 1 mois

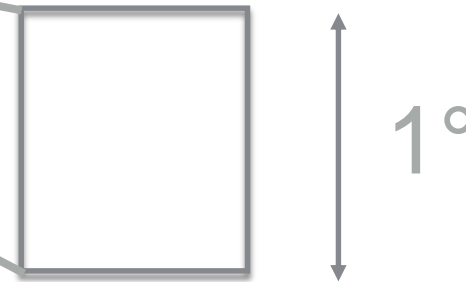




Hiver  
(Mars)

Vorticité relative  
 $\zeta/f$  à 100 m

Estimation of sub-mesoscale variance



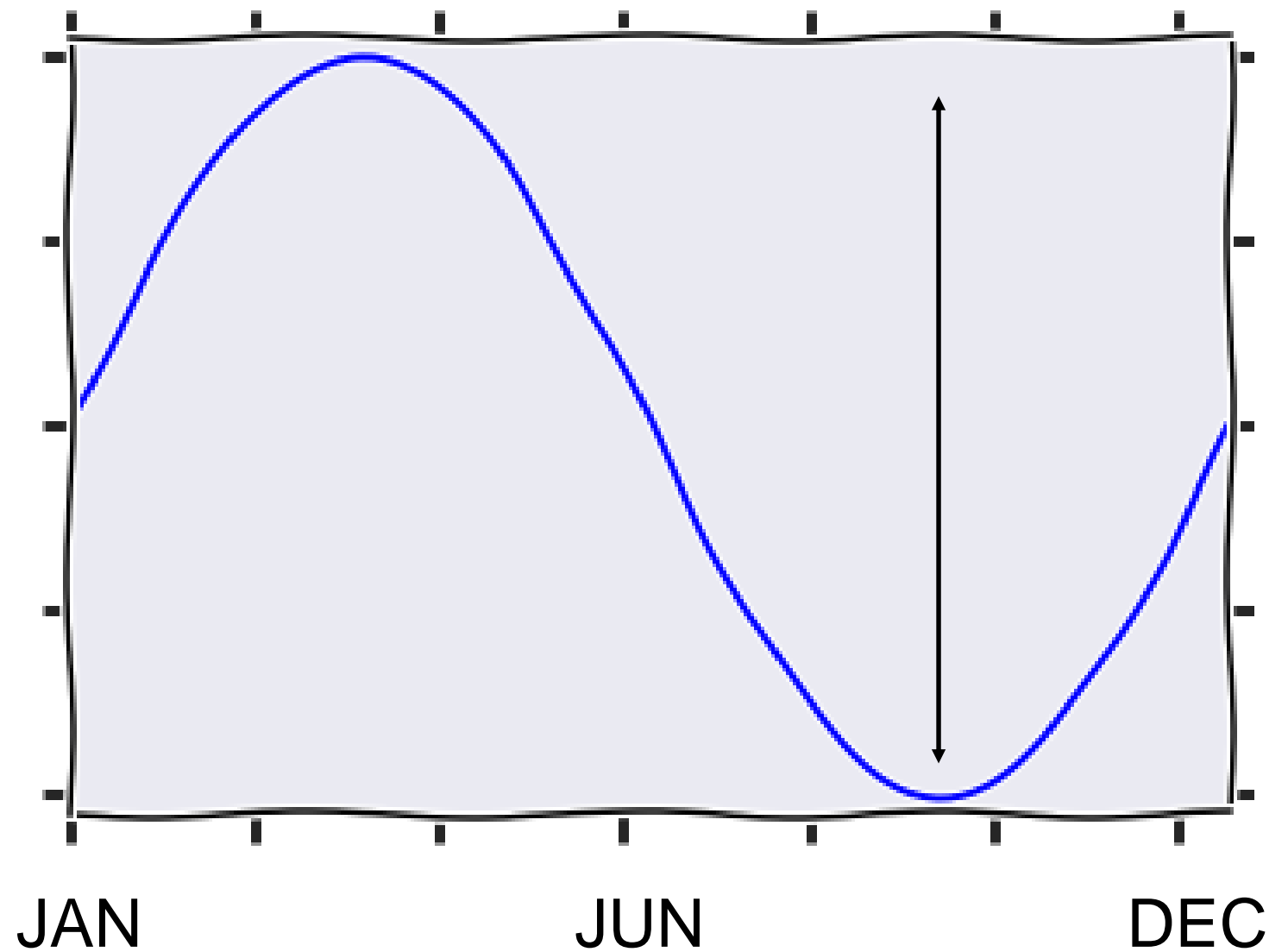
$[\zeta]$  Moyenne spatiale

$$\mathcal{V}_\zeta = \overline{[(\zeta - [\zeta])^2]}^t$$

Moyenne temporelle de la variance  
sur 1 mois

Hiver  
(Mars)

Vorticité relative  
 $\zeta/f$  à 100 m

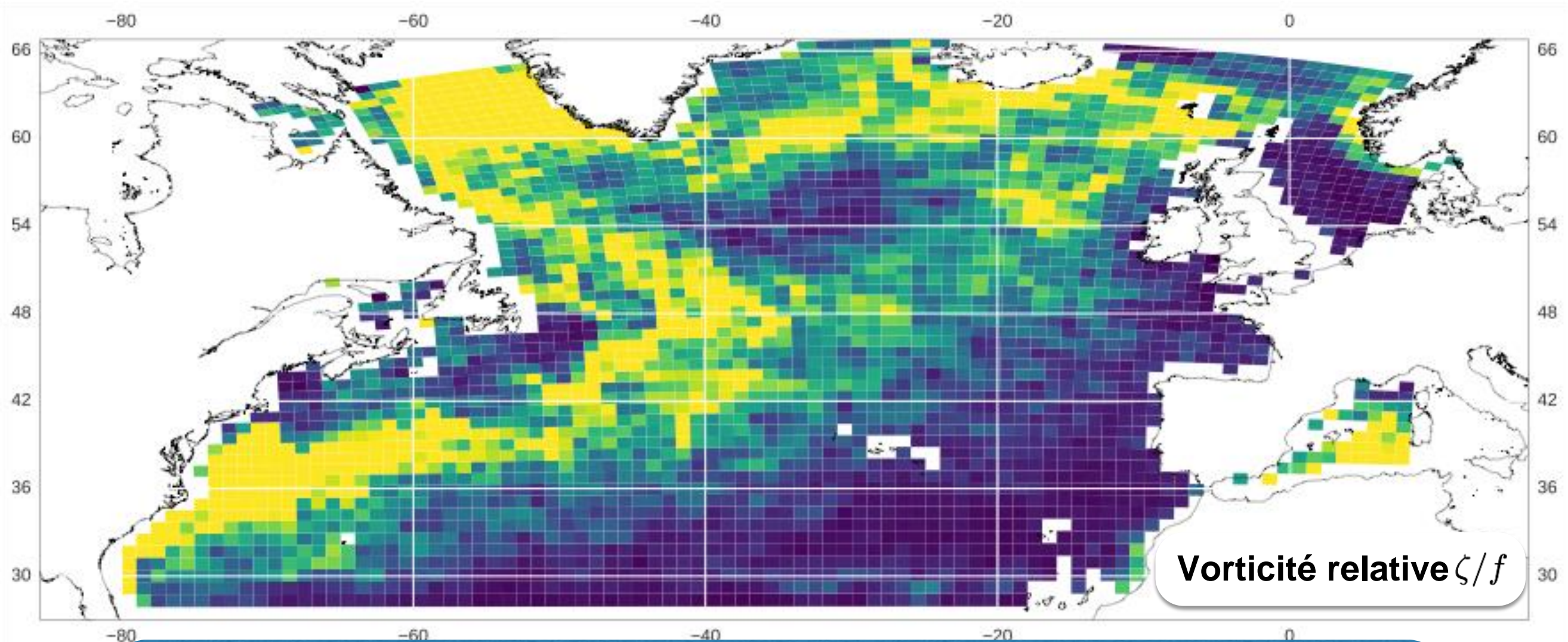


$$\Delta_{\zeta} = \frac{\nu_{\zeta}^{max} - \nu_{\zeta}^{min}}{\nu_{\zeta}^{mean}}$$



## Saisonnalité de la variance de vorticité à fine échelle

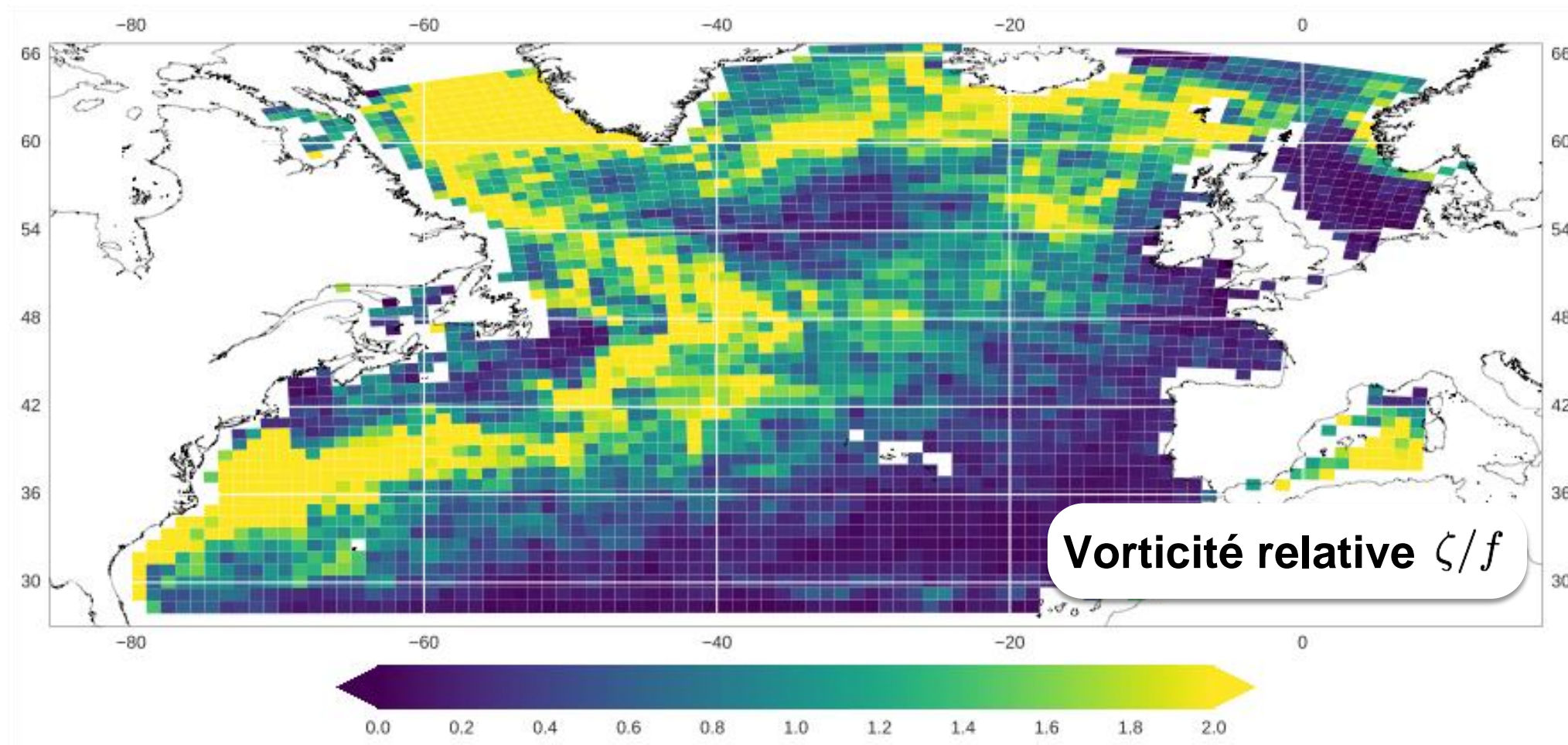
Rapport normalisé variance max/min  $\Delta_{\zeta} = \frac{\nu_{\zeta}^{max} - \nu_{\zeta}^{min}}{\nu_{\zeta}^{mean}}$



- Forte saisonnalité de la variance SME de la vorticité relative
- Différences hiver/été maximale dans le gyre subpolaire

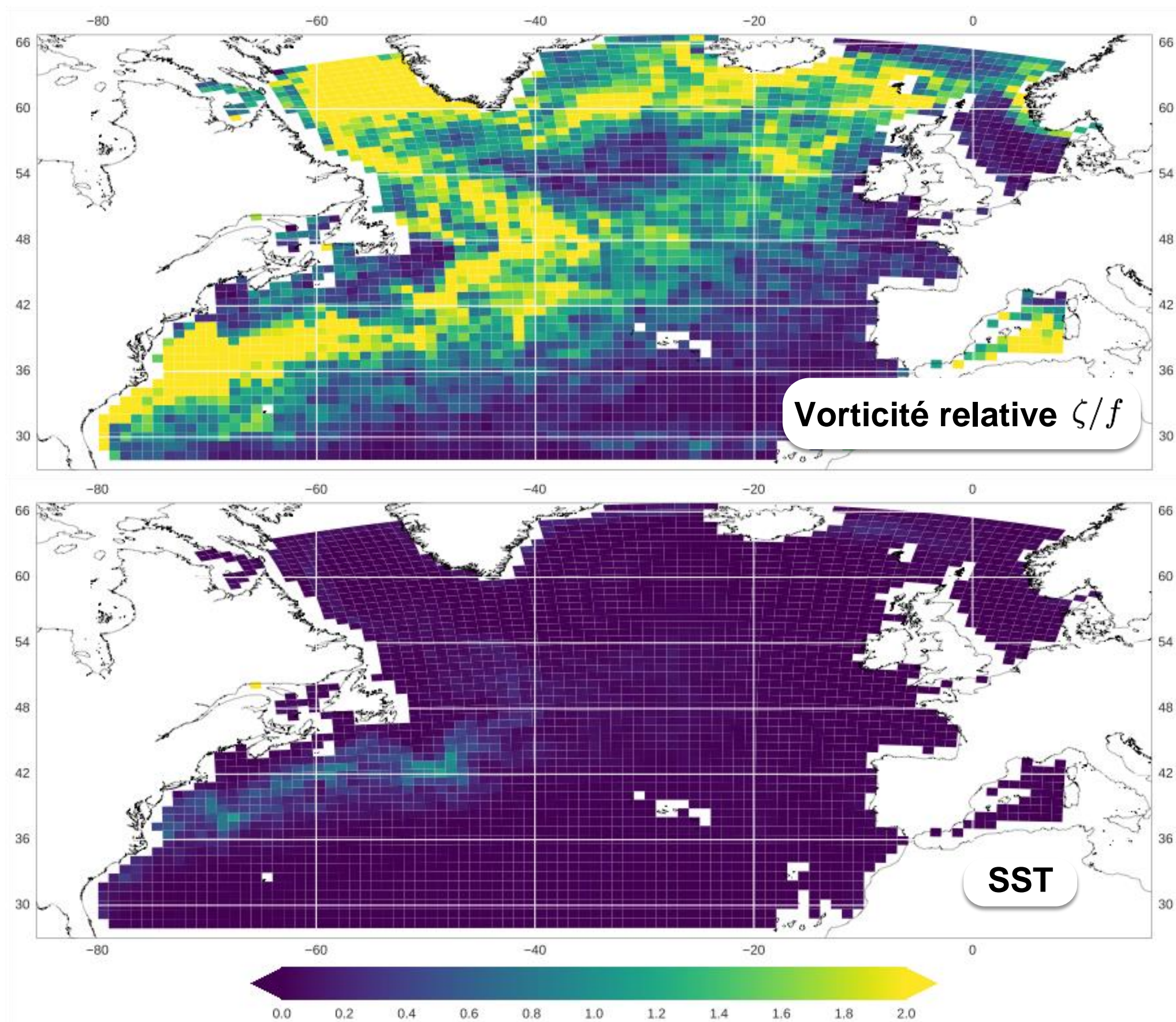


# Saisonnalité de la turbulence SME (4/4)



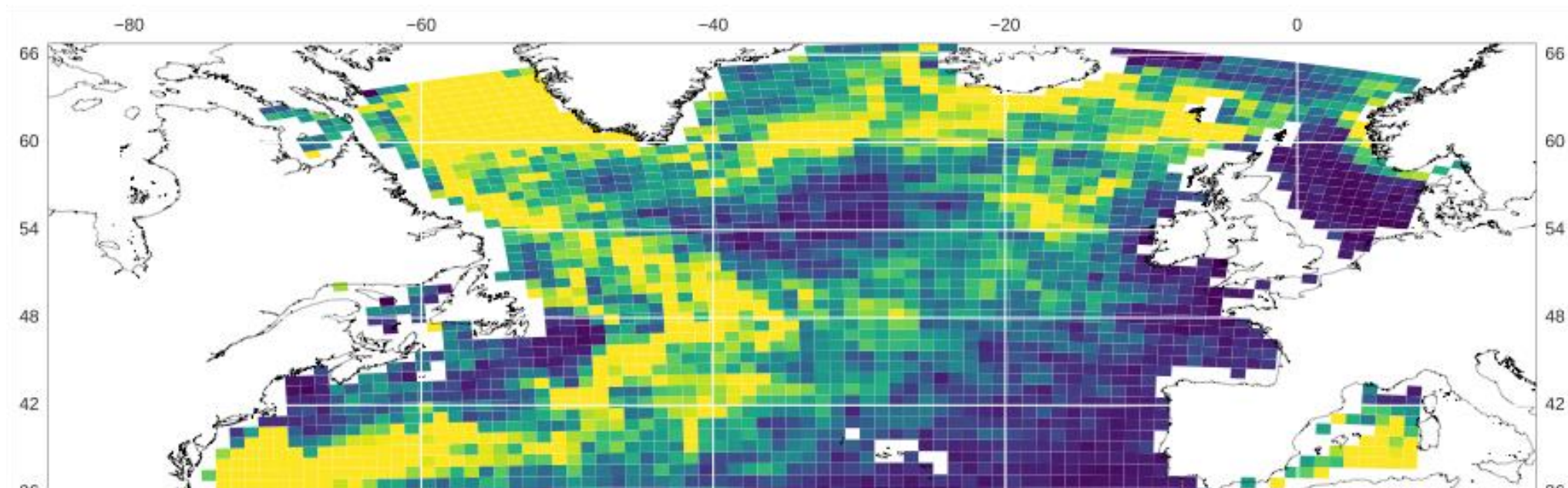


# Saisonnalité de la turbulence SME (4/4)

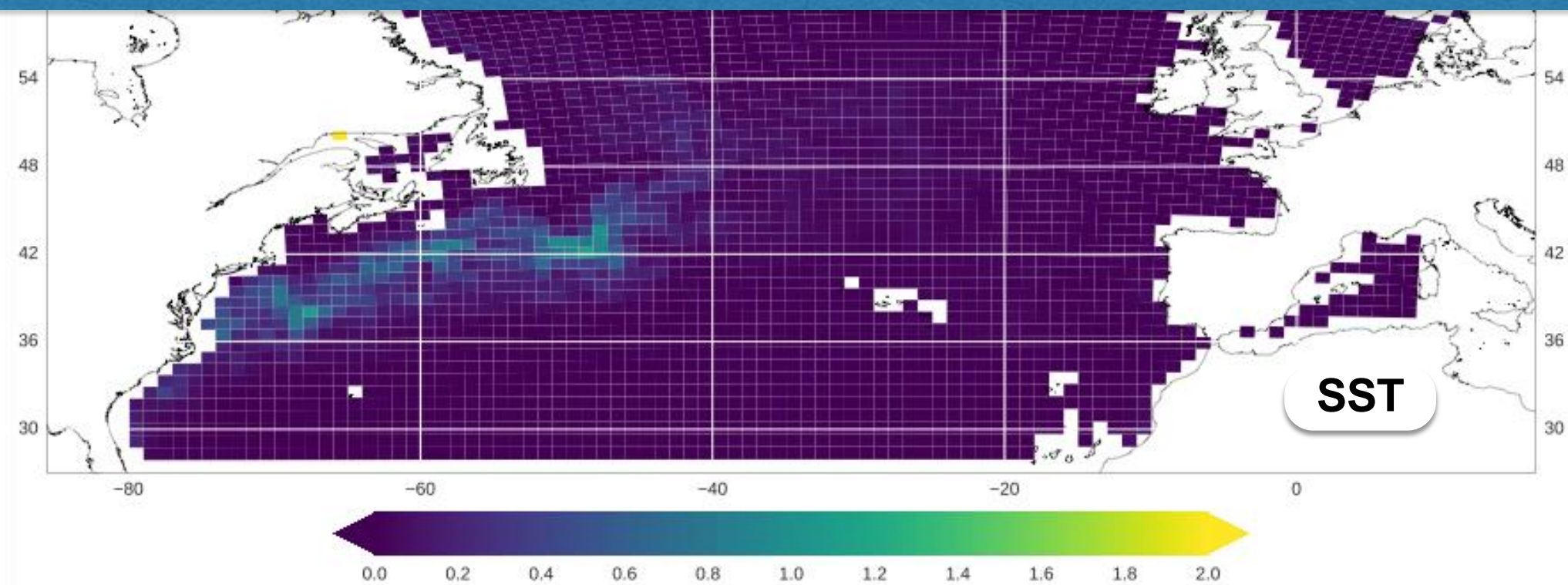




# Saisonnalité de la turbulence SME (4/4)



- ▶ Forte saisonnalité de la variance SME de la vorticité relative
- ▶ Différences hiver/été maximale dans le gyre subpolaire
- ▶ Faible saisonnalité de la variance SME de SST
- ▶ Variance SME de SST dominée par la déformation induite par la mésoéchelle



1. Contexte and motivations
2. Méthodes : modélisation réalistes « sub-mesoscale permitting » à l'échelle de l'océan Atlantique Nord
3. Saisonnalité de la turbulence de sous-mésoéchelle dans l'Atlantique Nord
- 4. Régimes simulés des cascades turbulentes dans l'Atlantique Nord**
5. Conclusions and perspectives



## Equilibre de la cascade turbulent d'énergie à sous-méso-échelle

*Aux échelles proches du rayon de déformation (10km-100km)*

*Capet et al. (2008), Sasaki et al. (2014), Sasaki and Klein (2012)*

### Régime dit de « Phillips »

( « intérieur Quasi-Géostrophique » )

- Intérieur: instabilité barocline
- Conversion PE → KE à mésoéchelle
- **faibles échanges de KE à SME**
- Faible SME
- Pente du spectre de vitesses:

$$PSD_{||u||} \propto k^{-3}$$

### Régime dit de « Charney »

(~ « surface Quasi-Geostrophique »)

- frontogenèse (par la mésoéchelle)
- conversion PE → KE à SME
- **forts échanges de KE à SME**
- Fortes vitesses verticales
- Pente du spectre de vitesses:

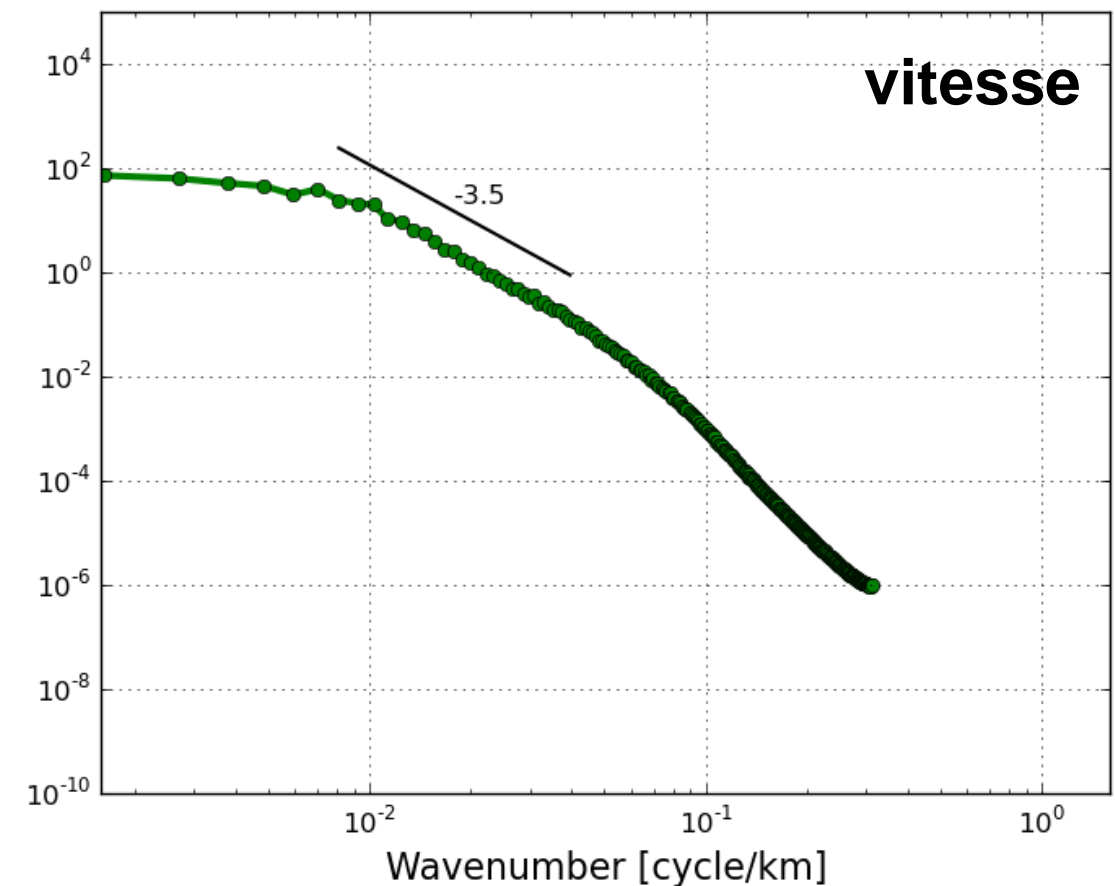
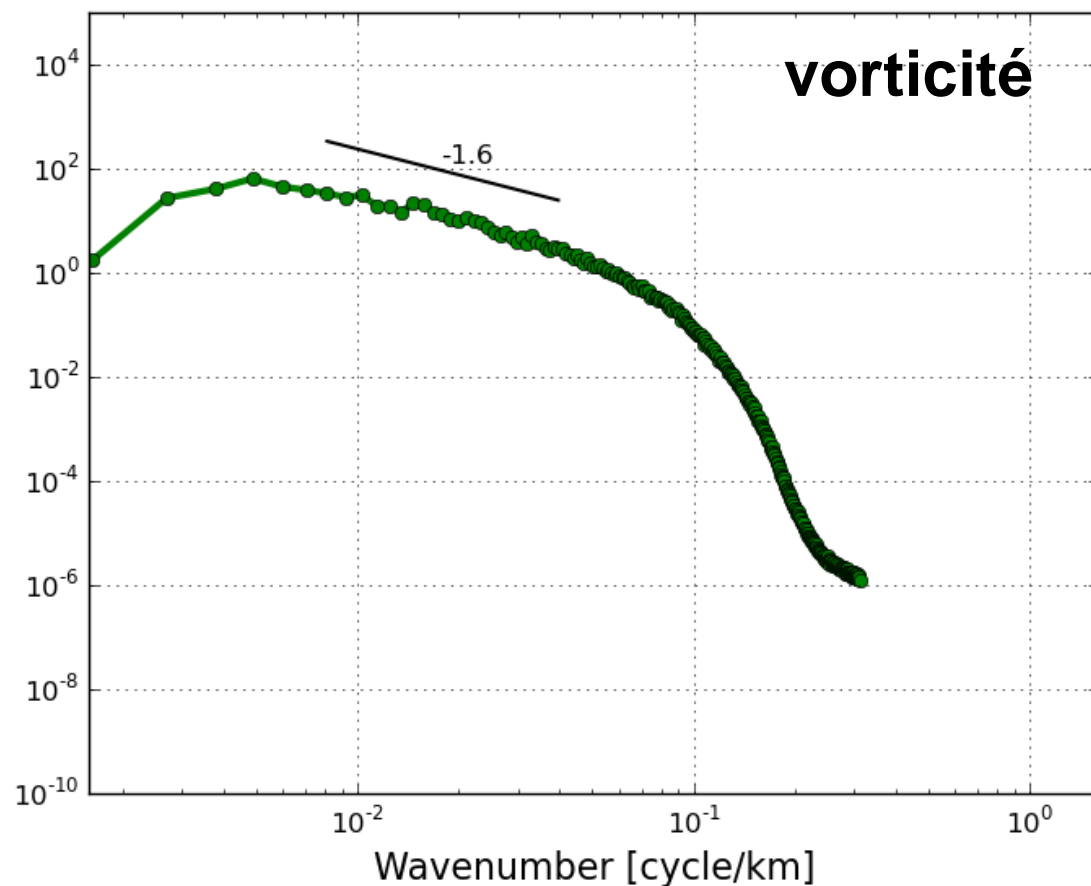
$$PSD_{||u||} \propto k^{-2} \quad (\propto k^{-11/3})$$

Questions ouvertes:

- quelle cascade d'énergie dans l'océan réel?
- cette cascade varie-t-elle selon la saison ou le lieu?

## Variation saisonnière des spectres en nombre d'onde dans la région des Açores

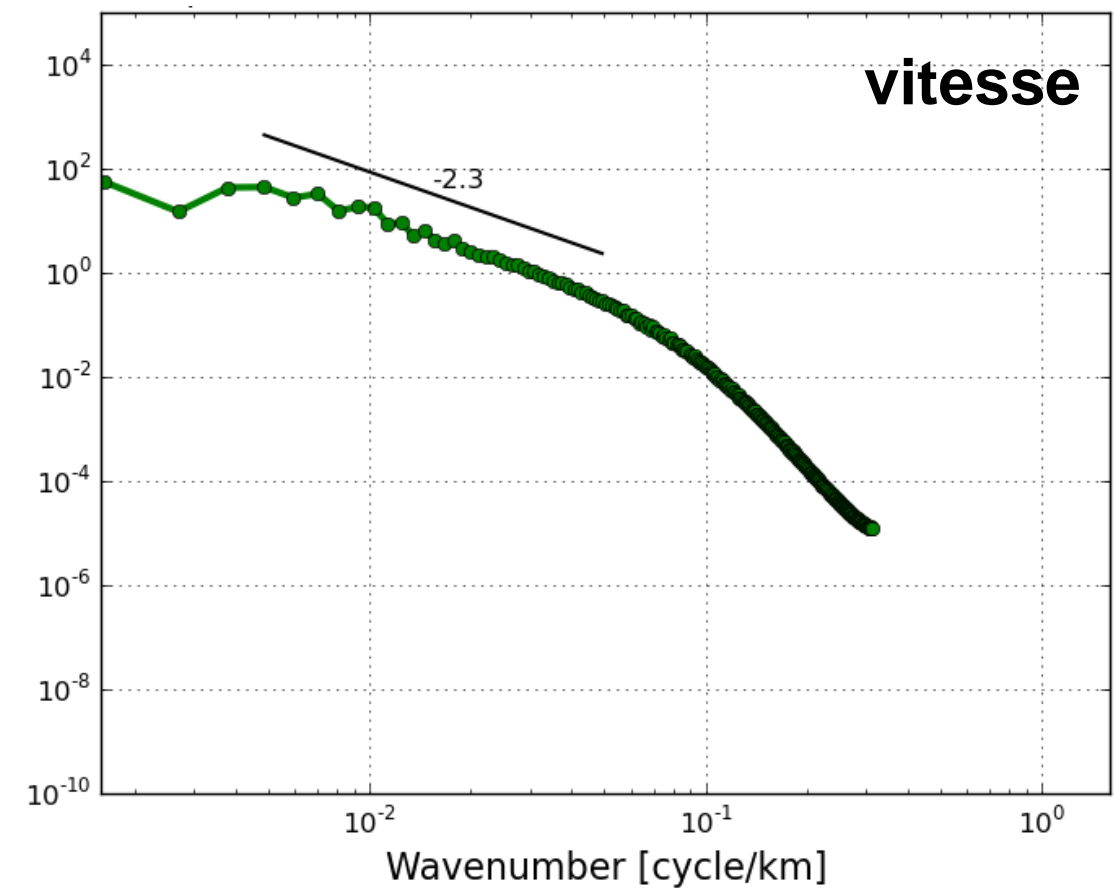
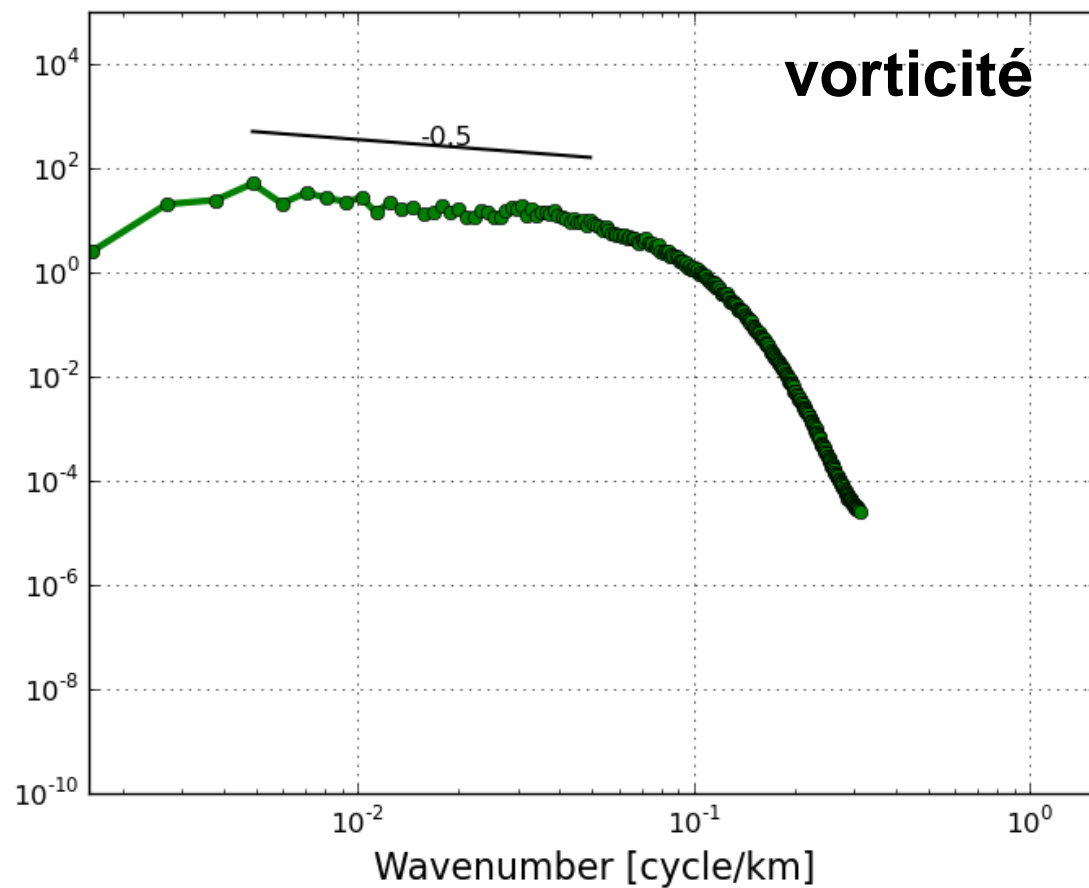
Eté



Eté : proche d'un régime de Philips

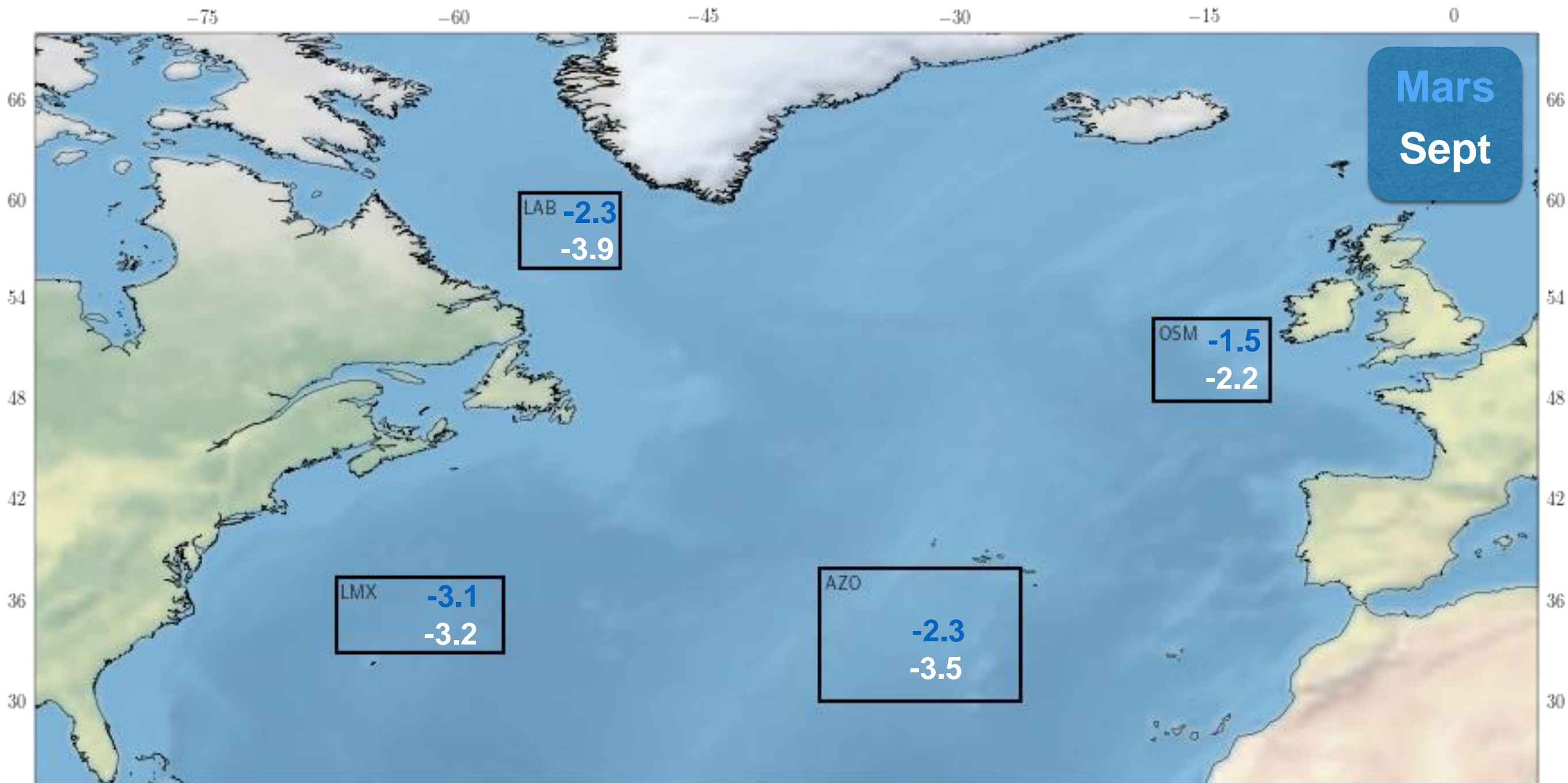
## Variation saisonnière des spectres en nombre d'onde dans la région des Açores

Hiver



Hiver : plutôt un régime de Charney

## Pentes des spectres de vitesse dans l'Atlantique Nord



- Certaines régions: forte variabilité des spectres
- indicative d'une saisonnalité des cascades d'énergie vers les grandes échelles



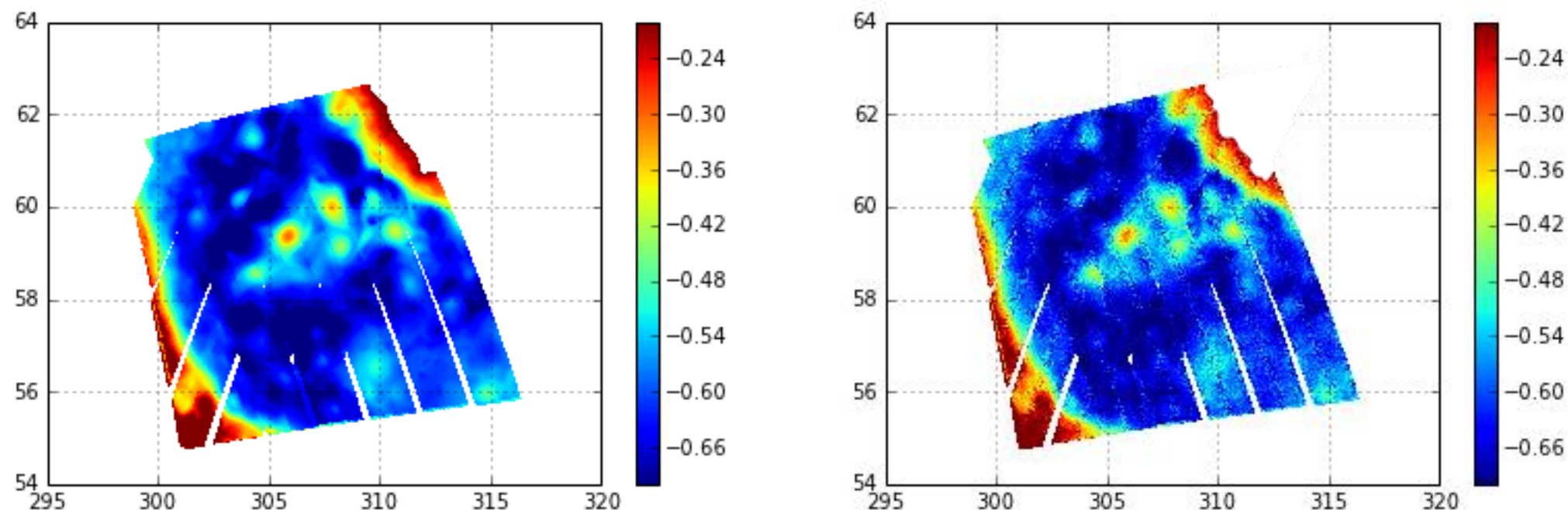
1. Contexte and motivations
2. Méthodes : modélisation réalistes « sub-mesoscale permitting » à l'échelle de l'océan Atlantique Nord
3. Saisonnalité de la turbulence de sous-mésoéchelle dans l'Atlantique Nord
4. Régimes simulés des cascades turbulentes dans l'Atlantique Nord
- 5. Conclusions and perspectives**

## Conclusions

- Modélisation « sub-mesoscale-permitting » avec grilles hz/vert. cohérentes
- Enorme jeu de données (contrainte sur les diagnostics – nouveau outils)
- forte saisonnalité de la variance SME de la vorticité relative
- Différence hiver/été de la SME est maximale dans le gyre subpolaire
- Faible saisonnalité de la variance SME de la SST
- Forte variabilité spatio-temporelle des spectres (variabilité de la cascade inverse)

## Perspective

- Distribution espace / temps des sources de variabilité SME
- Etudier comment les mesures SWOT capturerons la saisonnalité SME



*Sobservations simulées de la SSH SWOT SSH (fenêtre de 5 j - Lab Sea)*

FIN