

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



Journées du GMMC 206

Toulon

7-9 juin 2016

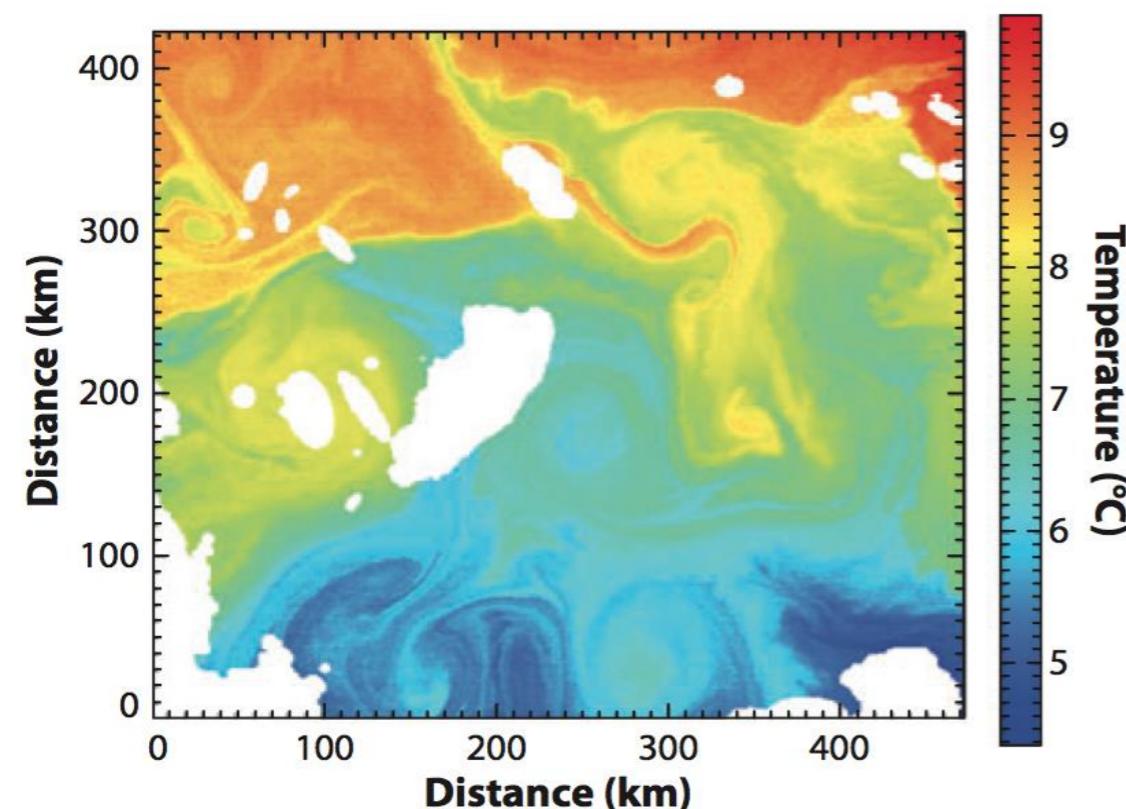
Variabilité simulée de la dynamique de  
Sub-Méso-Echelle (SME)  
dans les couches de surface de l'océan Atlantique Nord

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



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

Signatures clés SME: fronts, filaments, intensification en surface, fortes vitesses verticales (~100m/j) forte vorticité relative (»vorticité planétaire)



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

Injection: Vent et mésoéchelle (> 100 km)

↓  
sous-mésoéchelle (10 km)

Dissipation: turbulence 3D (<< 1 km)

### Impact sur la stratification des couches de surface

- grandes vitesses verticales
- transports verticaux de chaleur et sel
- échanges air mer
- formation des masses d'eau

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

### Impact sur la biogéochimie

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

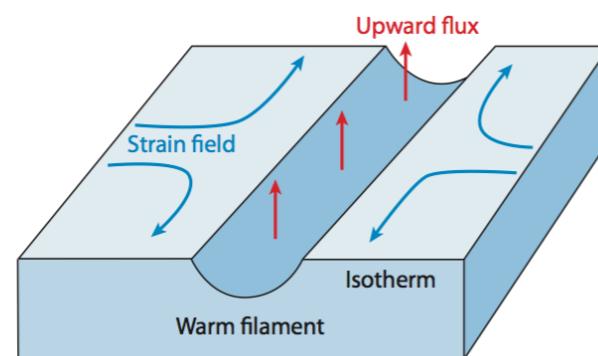
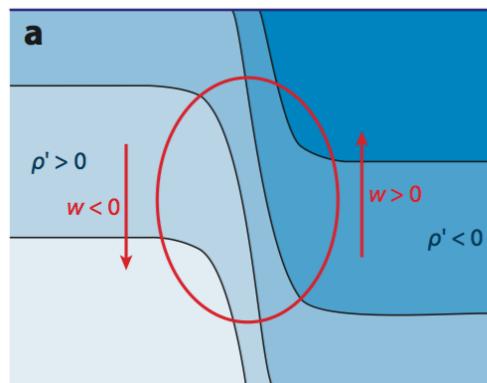
$$\overline{w' c'}$$

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

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

### Frontogenèse par déformation par la mésoéchelle

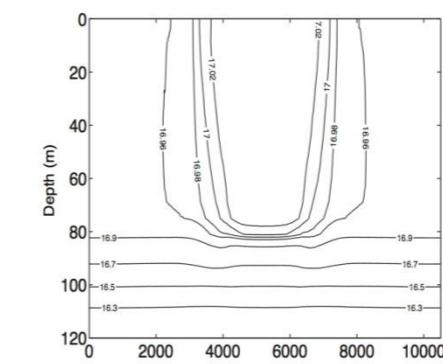
- ajustement « brise » la géostrophie
- dynamique SQG
- grande valeurs de  $W$  et petites échelles spatiales



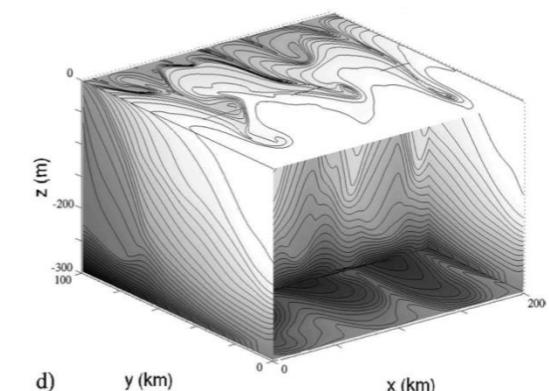
(Klein and Lapeyre, 2009)

### Instabilité barocline de la couche de mélange

- instabilité à croissance rapide (1-10 km)

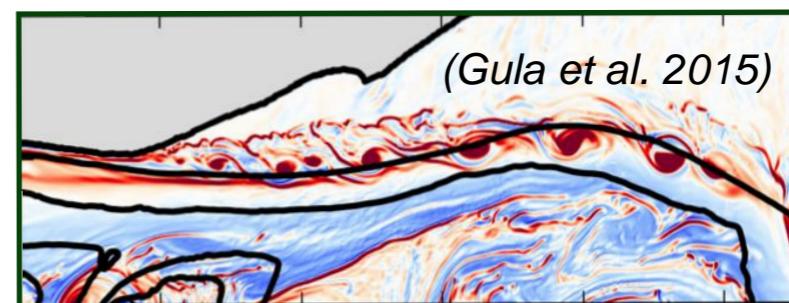


(Skjelvingstad et al. 2012)



(Boccaletti et al. 2007)

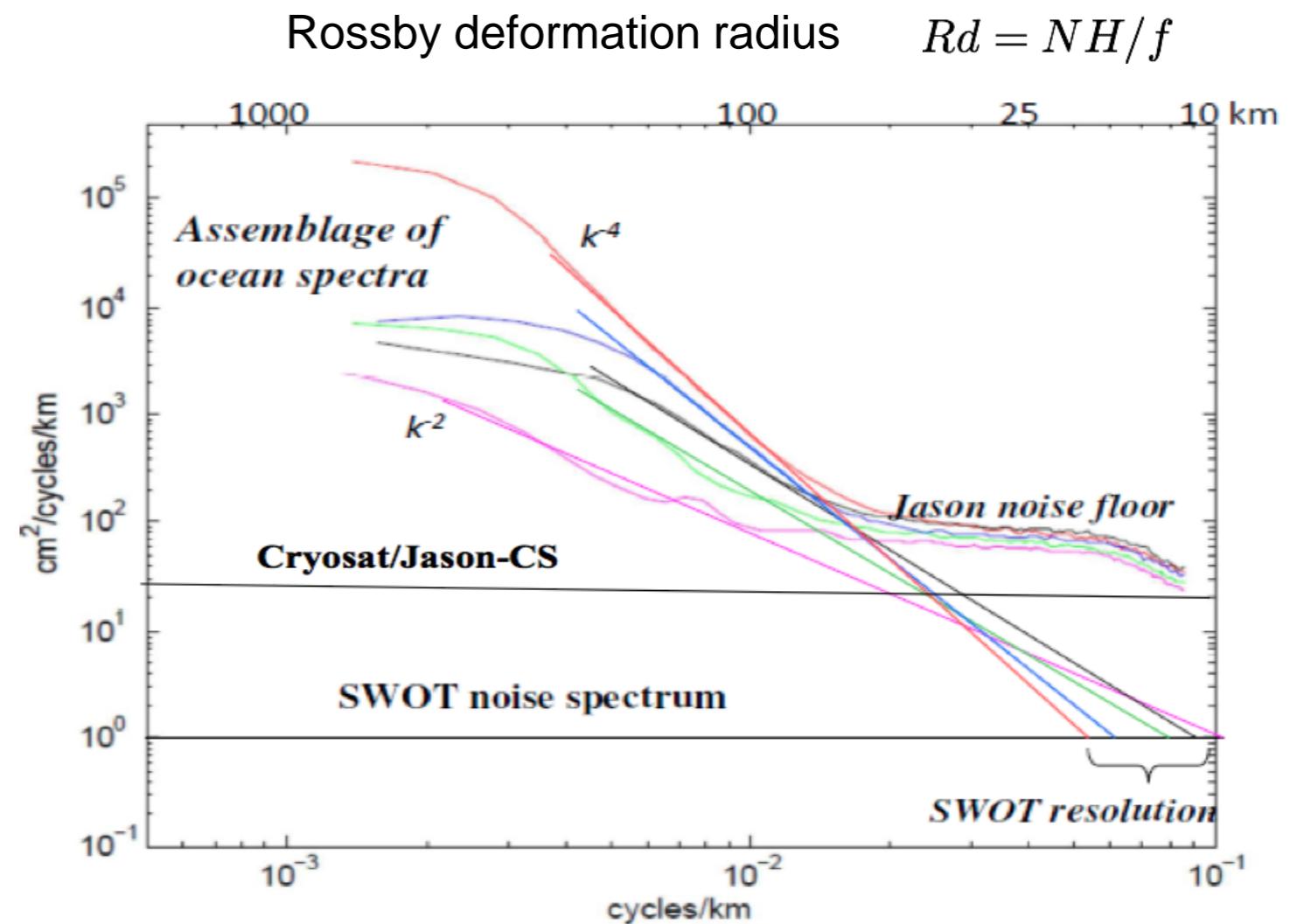
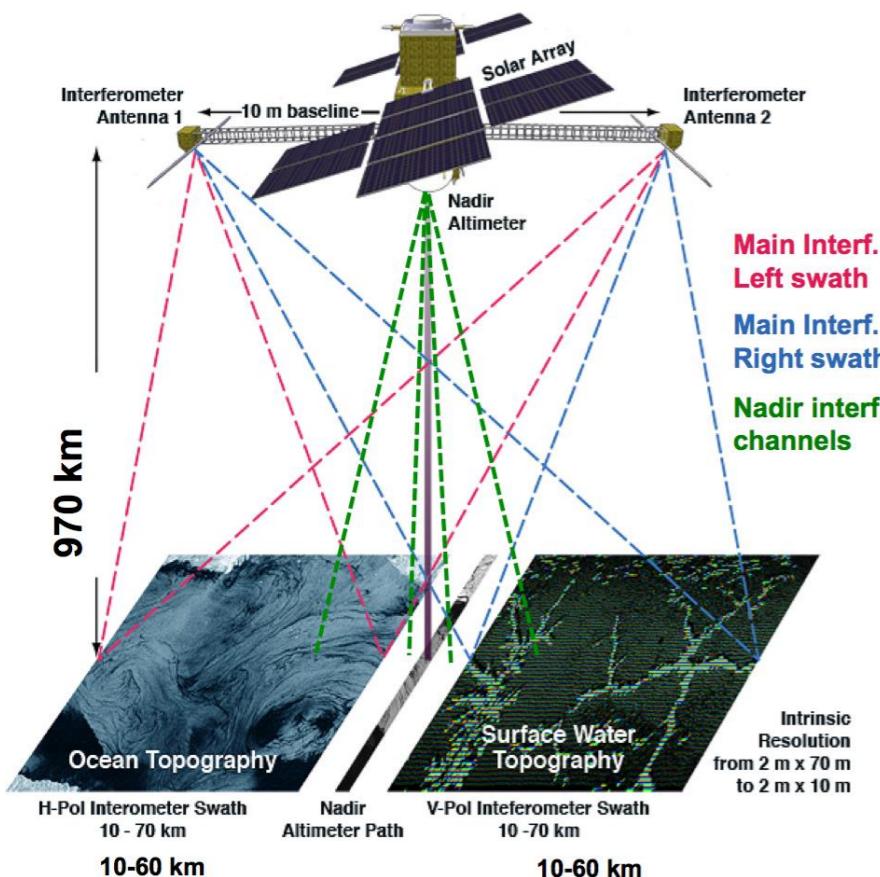
- ▶ Interactions courant / topographie à mésoéchelle
  - Instabilité de cisaillement latéral
  - Extraction de vorticité du courant de bord



Ingrédients clés : gradients latéraux, stratification des couches de surface  
écoulements 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

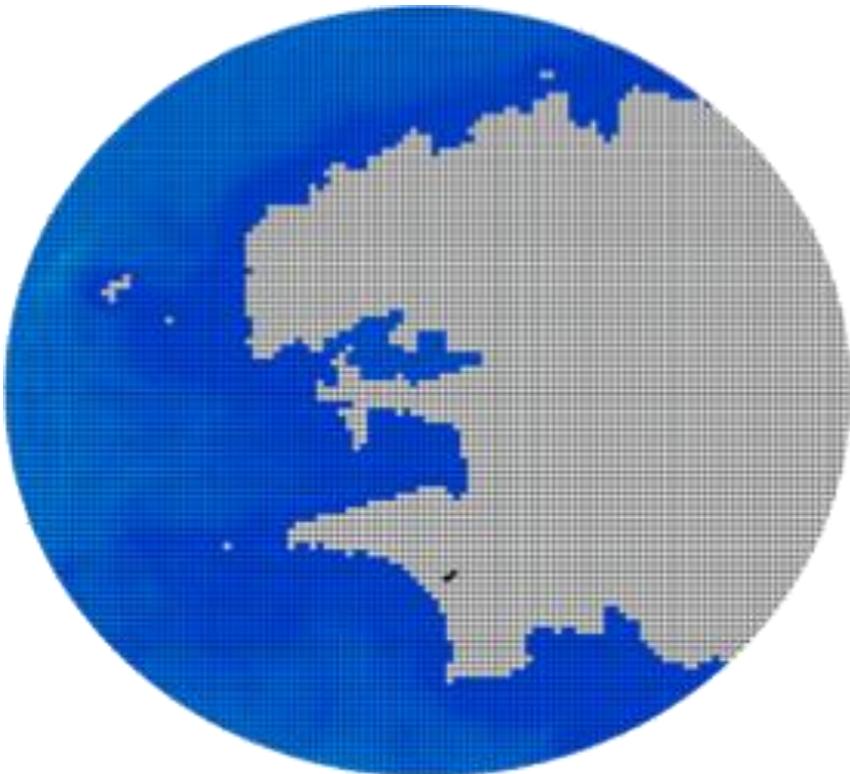
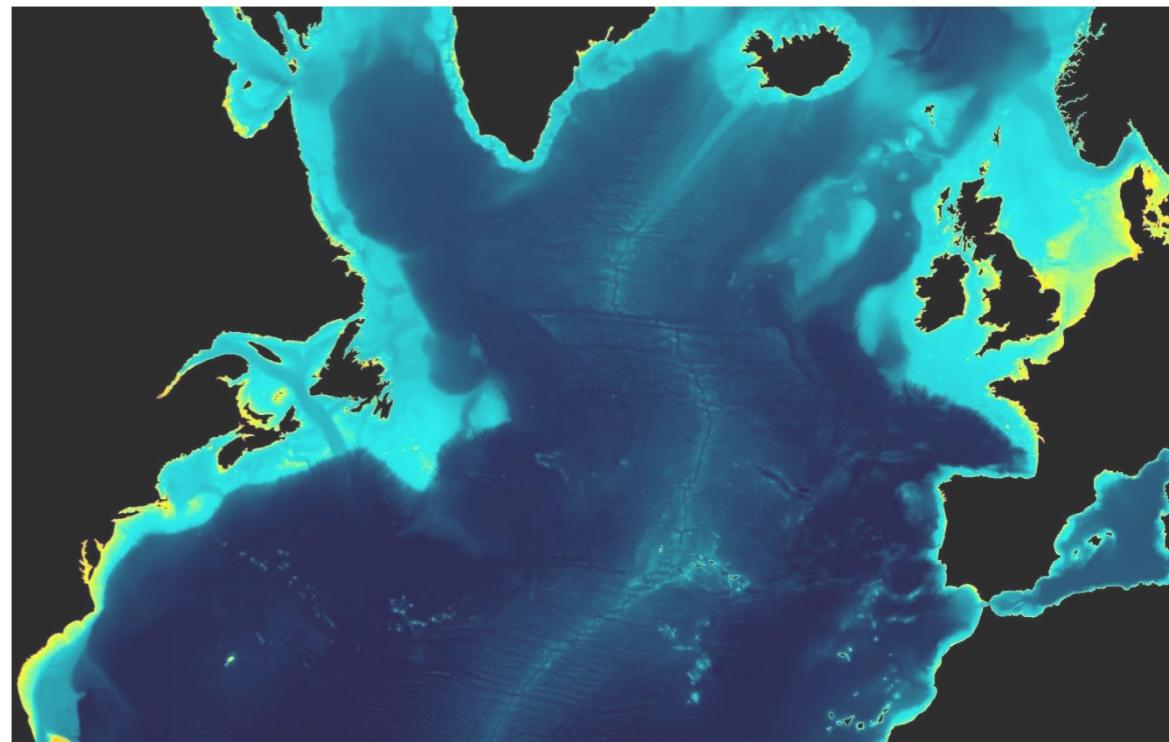
4. Régimes simulés des cascades turbulentes dans l'Atlantique Nord

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

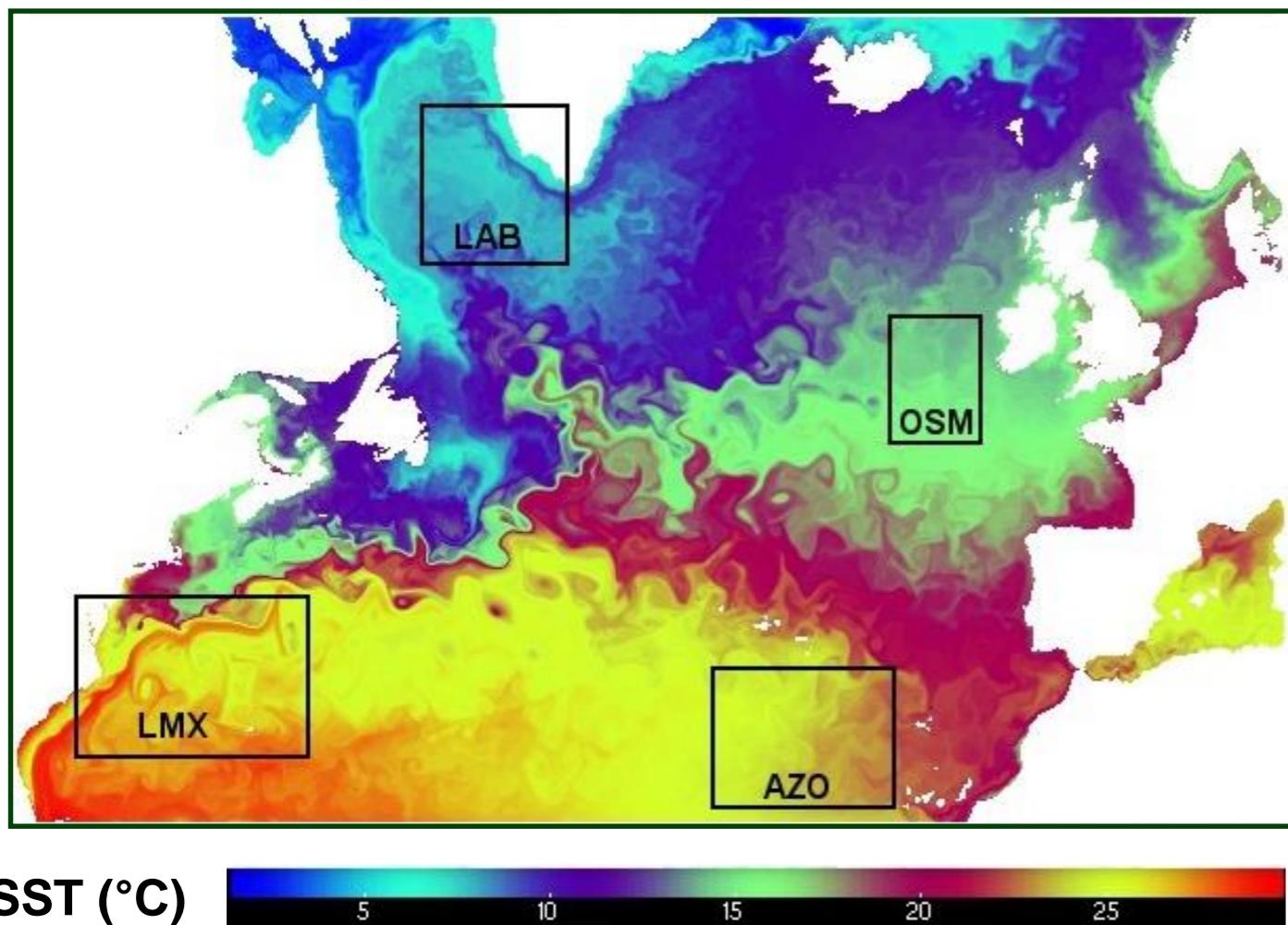
Occigen au CINES, Montpellier

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  $|u| = \sqrt{u^2 + v^2}$



## 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**

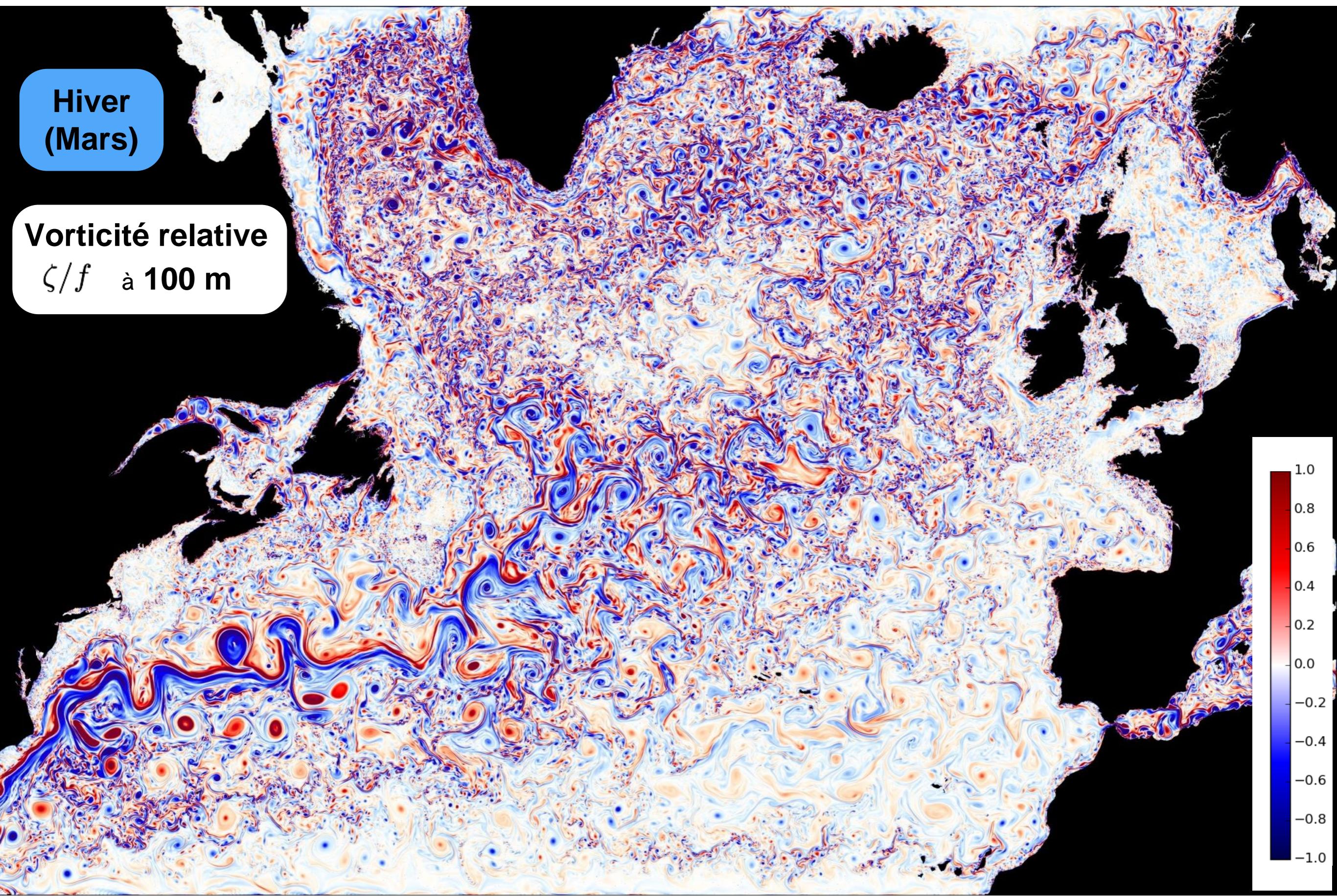
4. Régimes simulés des cascades turbulentes dans l'Atlantique Nord

5. Conclusions and perspectives

# Saisonnalité de la turbulence SME (1/4)

Hiver  
(Mars)

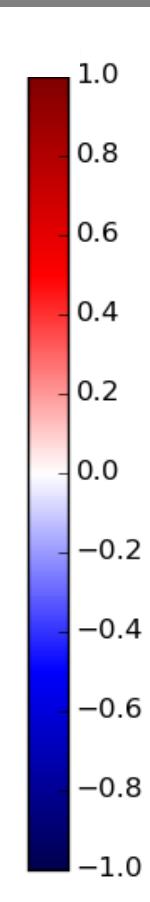
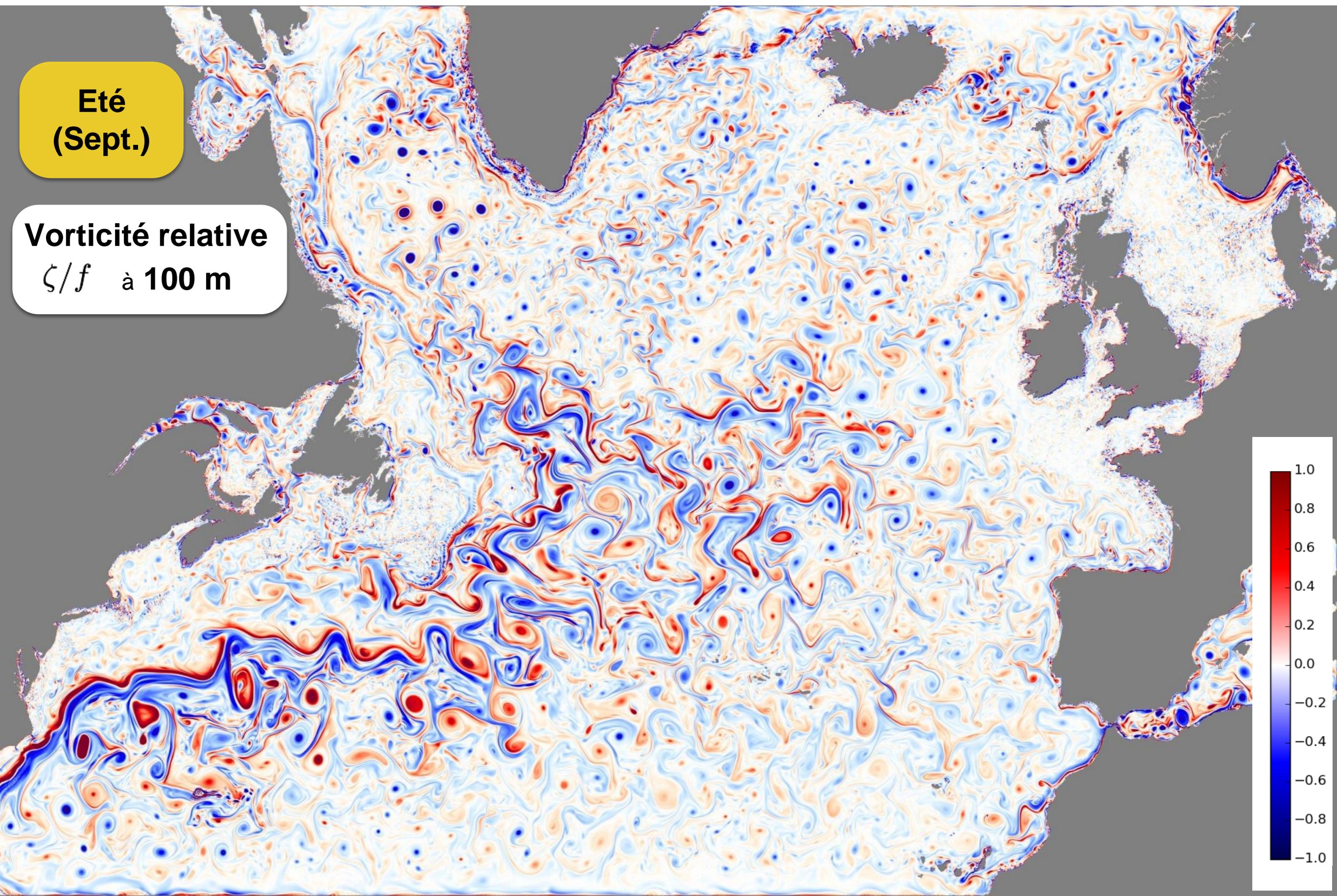
Vorticité relative  
 $\zeta/f$  à 100 m



# Saisonnalité de la turbulence SME (1/4)

Eté  
(Sept.)

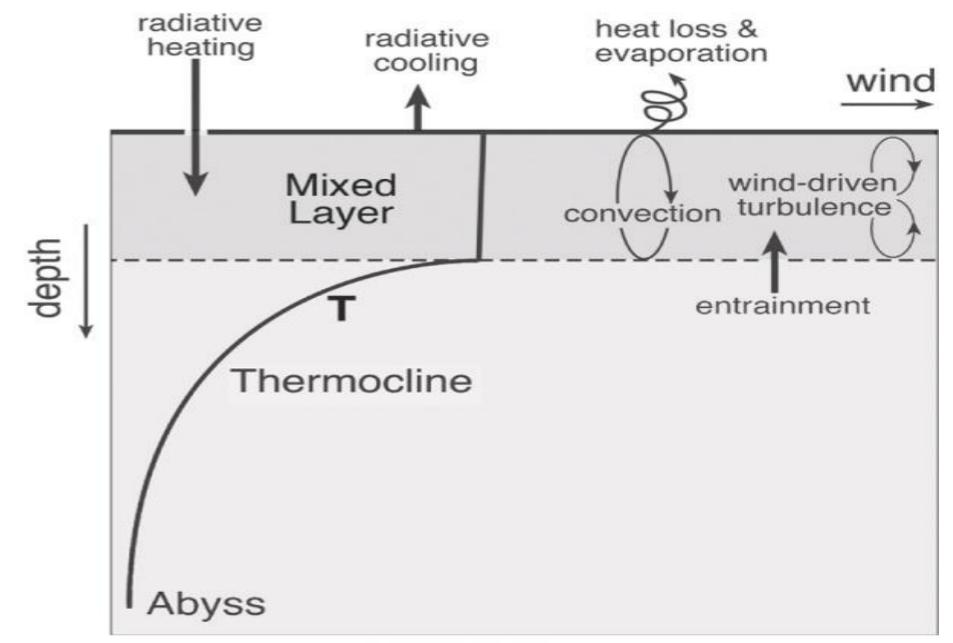
Vorticité relative  
 $\zeta/f$  à 100 m



# Saisonnalité de la turbulence SME (2/4)

- **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)

# Saisonnalité de la turbulence SME (3/4)

Hiver  
(Mars)

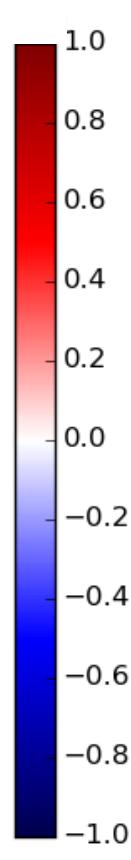
Vorticité relative  
 $\zeta/f$  à 100 m

Estimation de la variance de SME

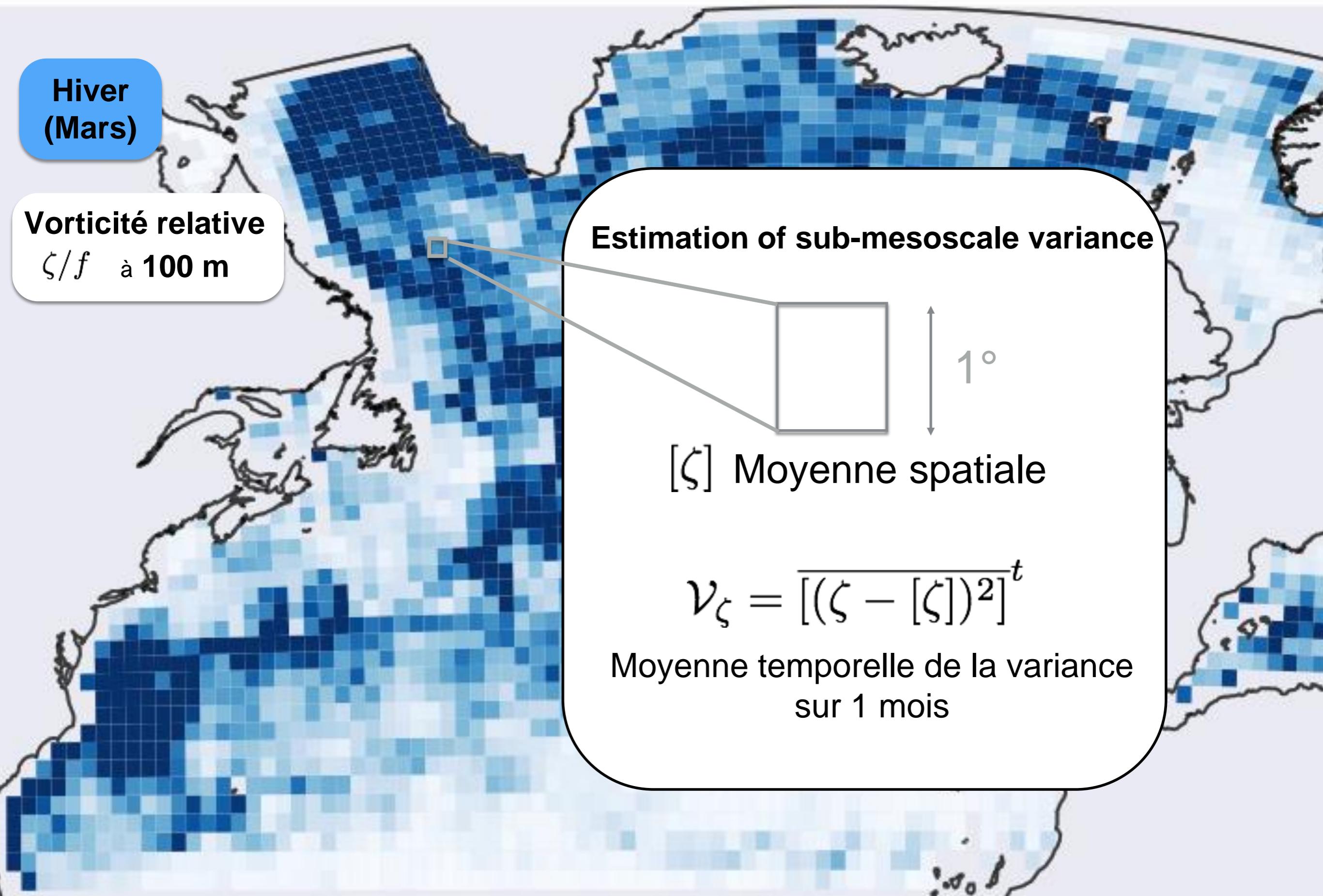
[ $\zeta$ ] Moyenne spatiale

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

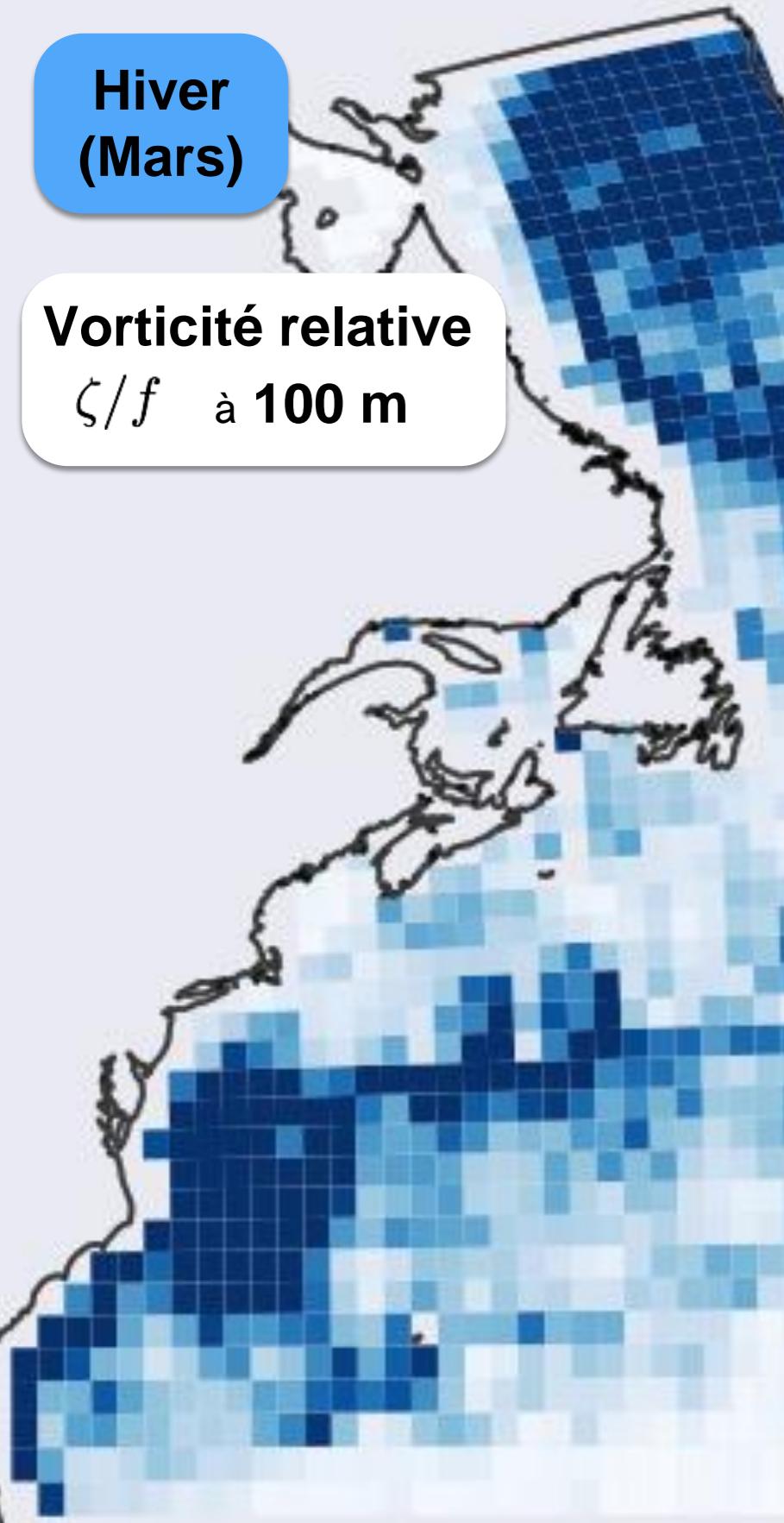
Moyenne temporelle de la variance  
sur 1 mois



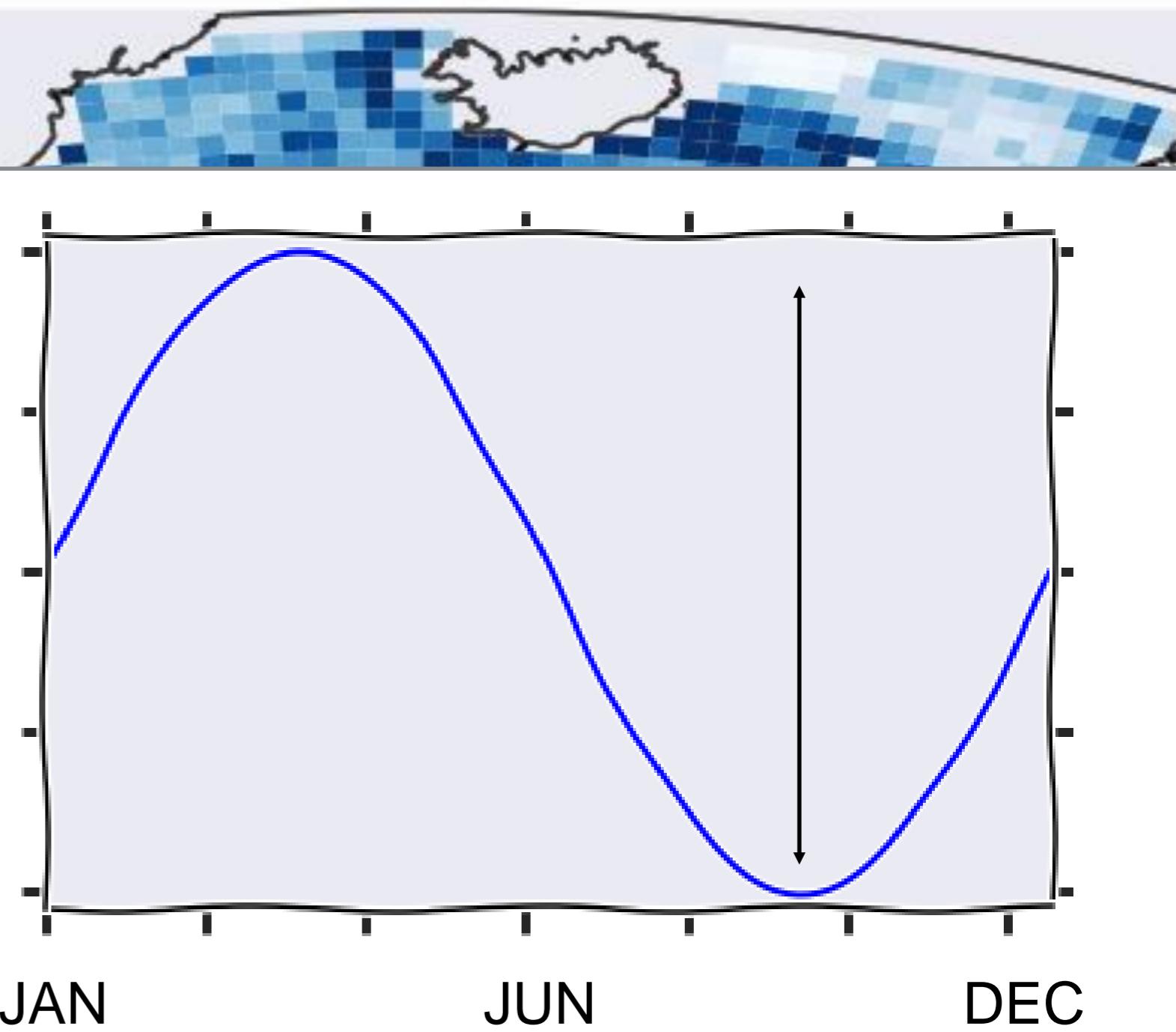
# Saisonnalité de la turbulence SME (3/4)



# Saisonnalité de la turbulence SME (3/4)



**Vorticité relative**  
 $\zeta/f$  à 100 m

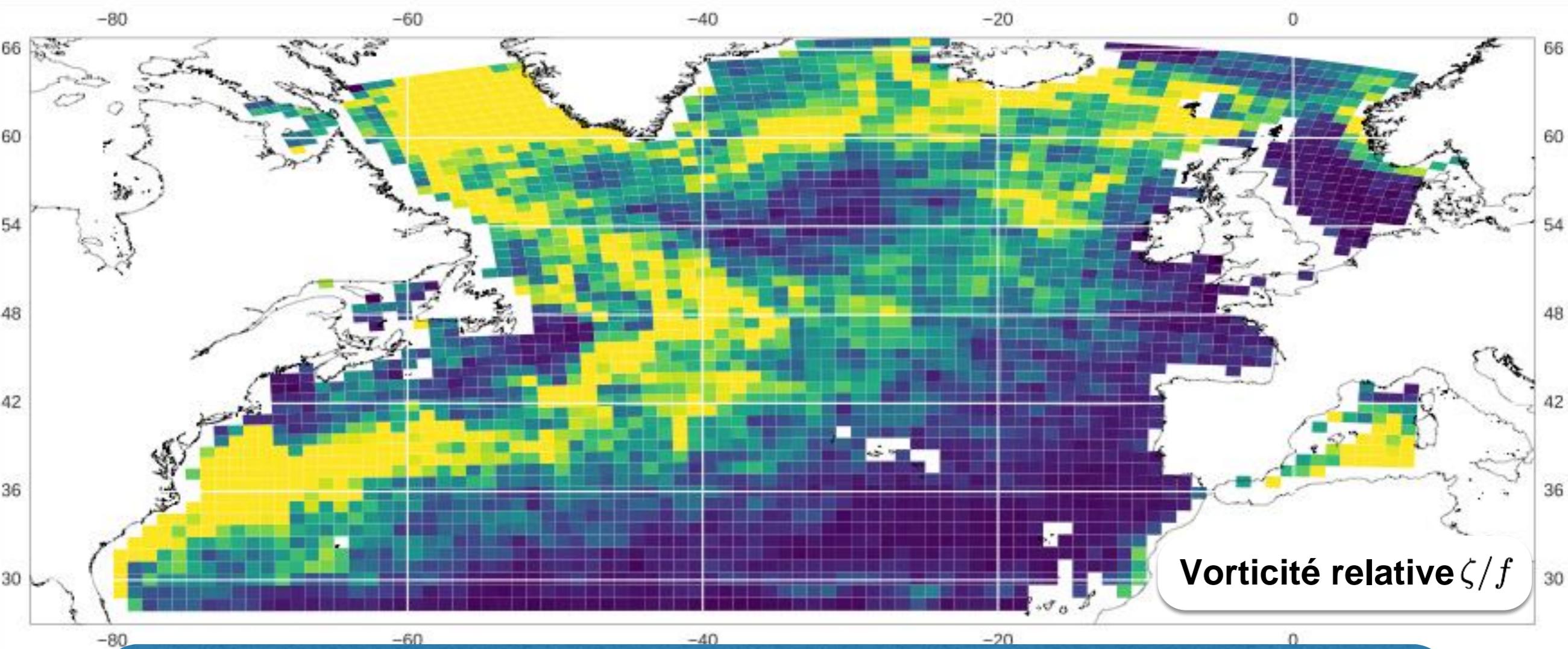


$$\Delta\zeta = \frac{v_{\zeta}^{\max} - v_{\zeta}^{\min}}{v_{\zeta}^{\text{mean}}}$$

## Seasonnalité de la variance de vorticité à fine échelle

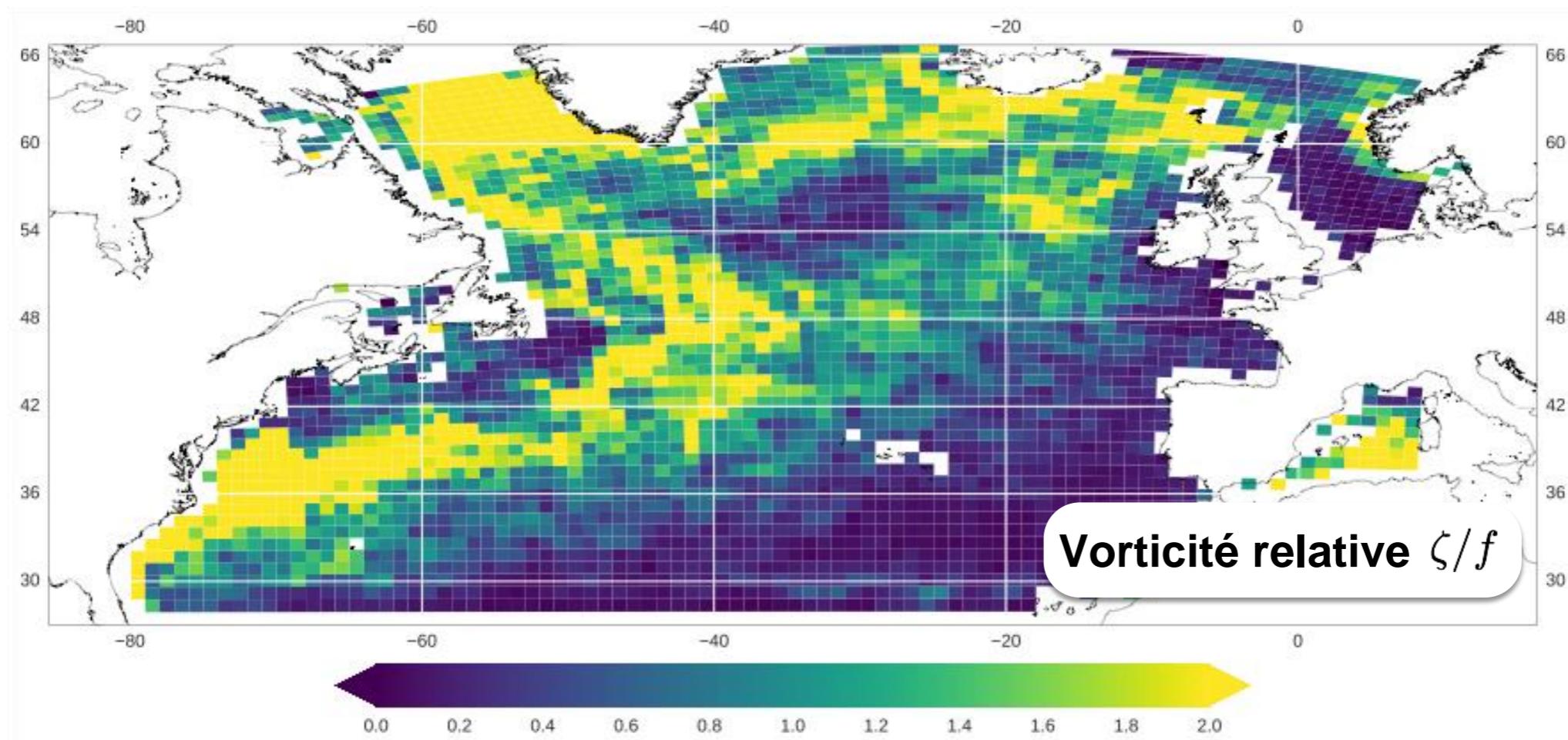
Rapport normalisé variance max/min

$$\Delta_{\zeta} = \frac{\mathcal{V}_{\zeta}^{\max} - \mathcal{V}_{\zeta}^{\min}}{\mathcal{V}_{\zeta}^{\text{mean}}}$$

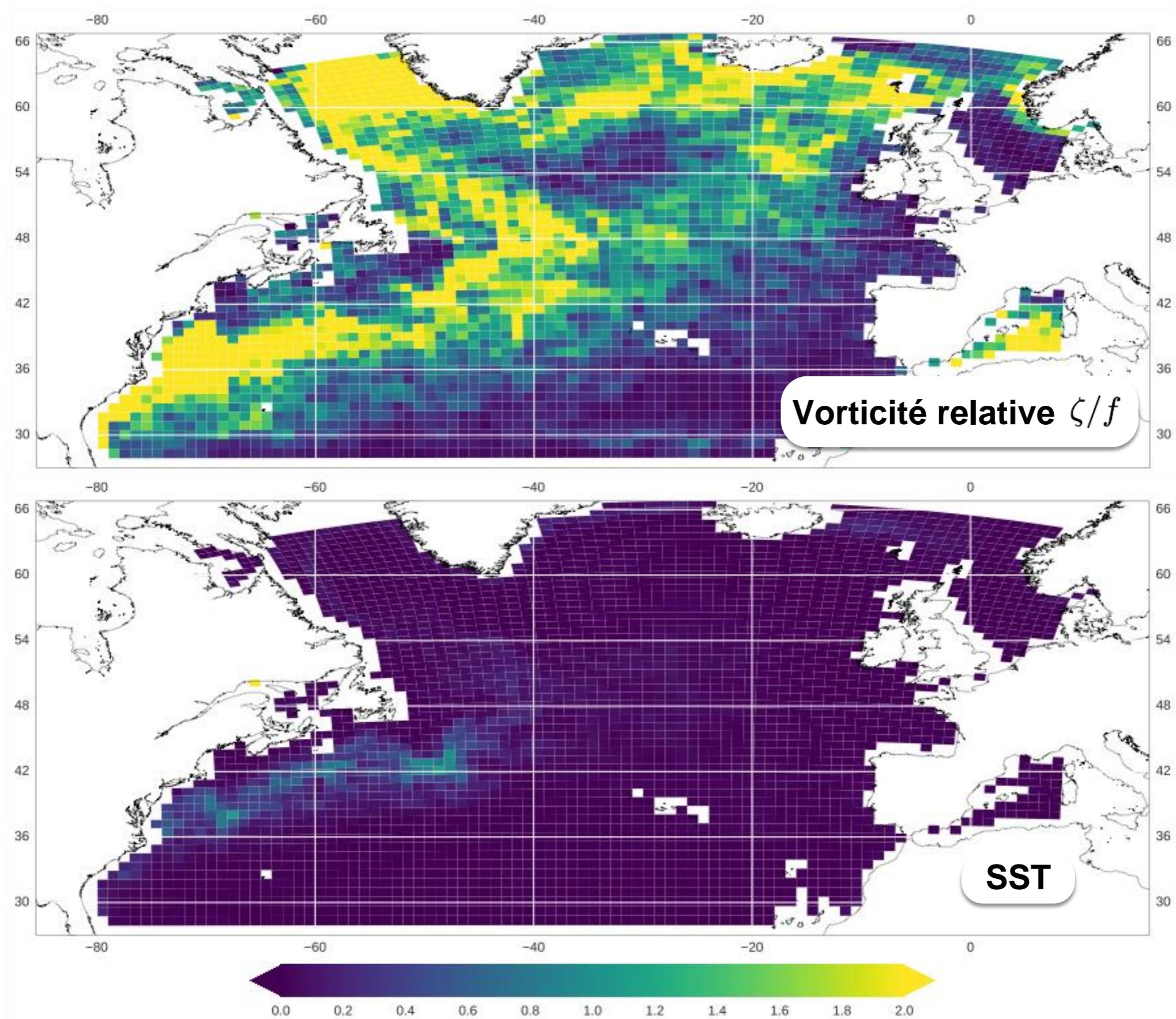


- ▶ Forte saisonnalité de la variance SME de la vorticité relative
- ▶ Différences hiver/été maximale dans le gyre subpolaire

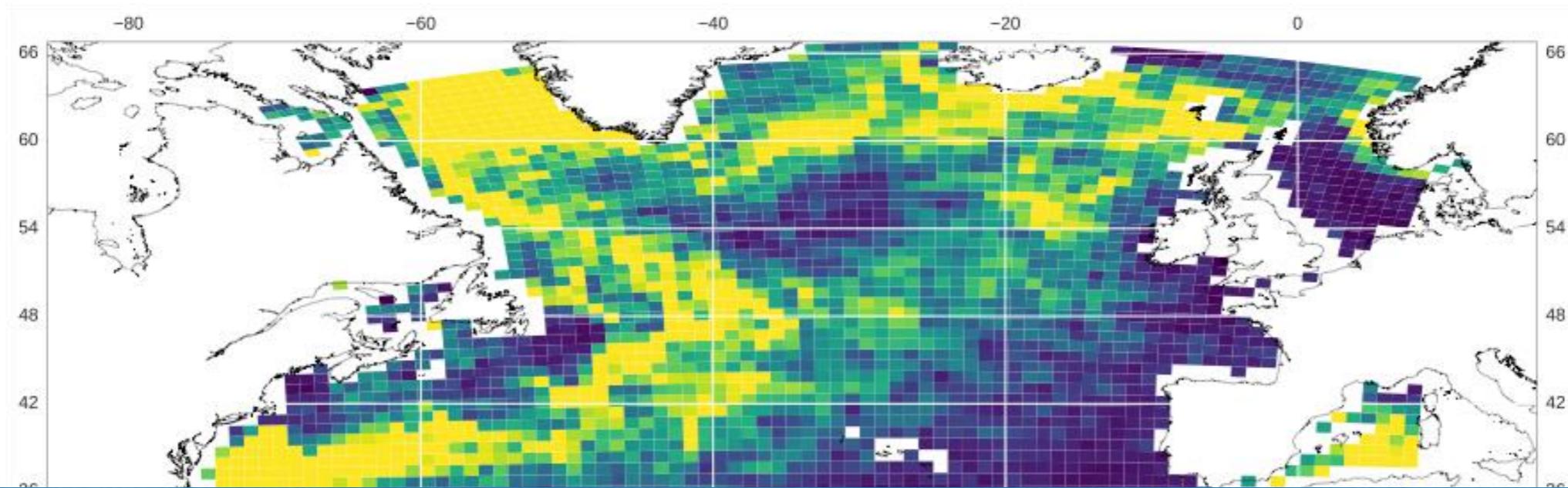
# Saisonnalité de la turbulence SME (4/4)



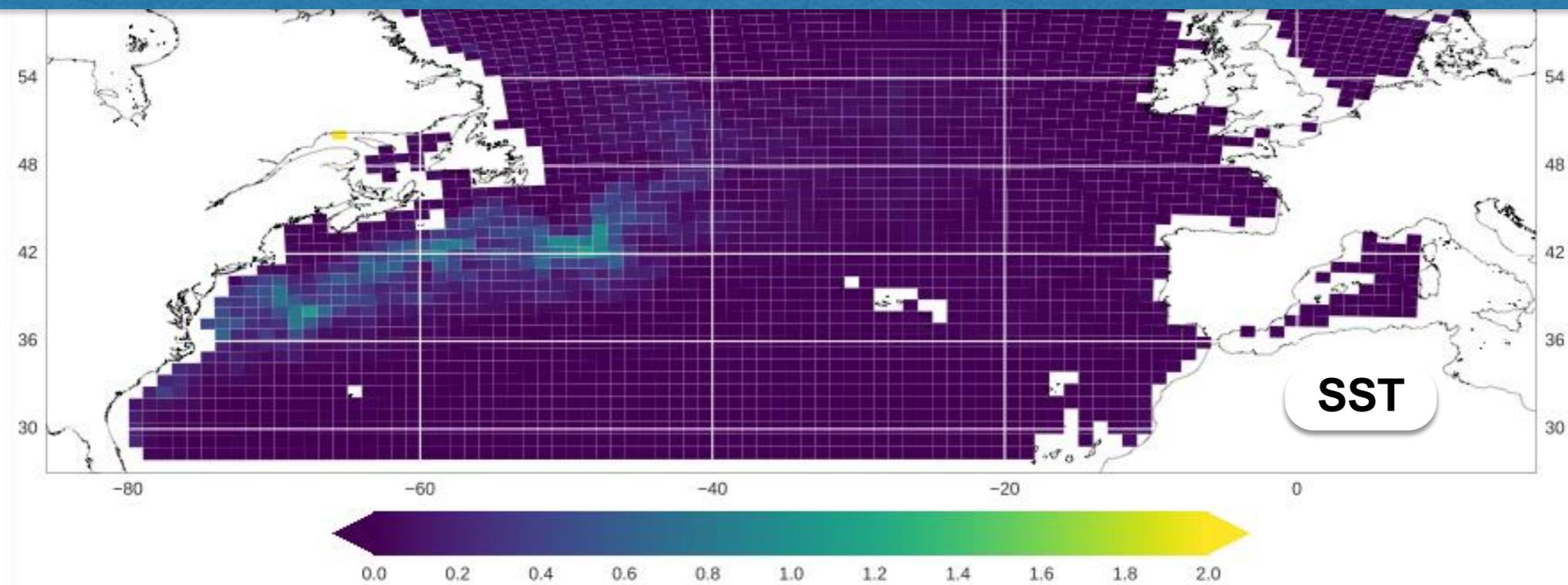
# Saisonnalité de la turbulence SME (4/4)



# 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 mésoscale



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

# Régimes des cascades turbulentes dans l'Atlantic Nord (1/3)

## 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-Géostrophic » )

- Intérieur: instabilité barocline
- Conversion PE  $\rightarrow$  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-Geostrophic »)

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

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

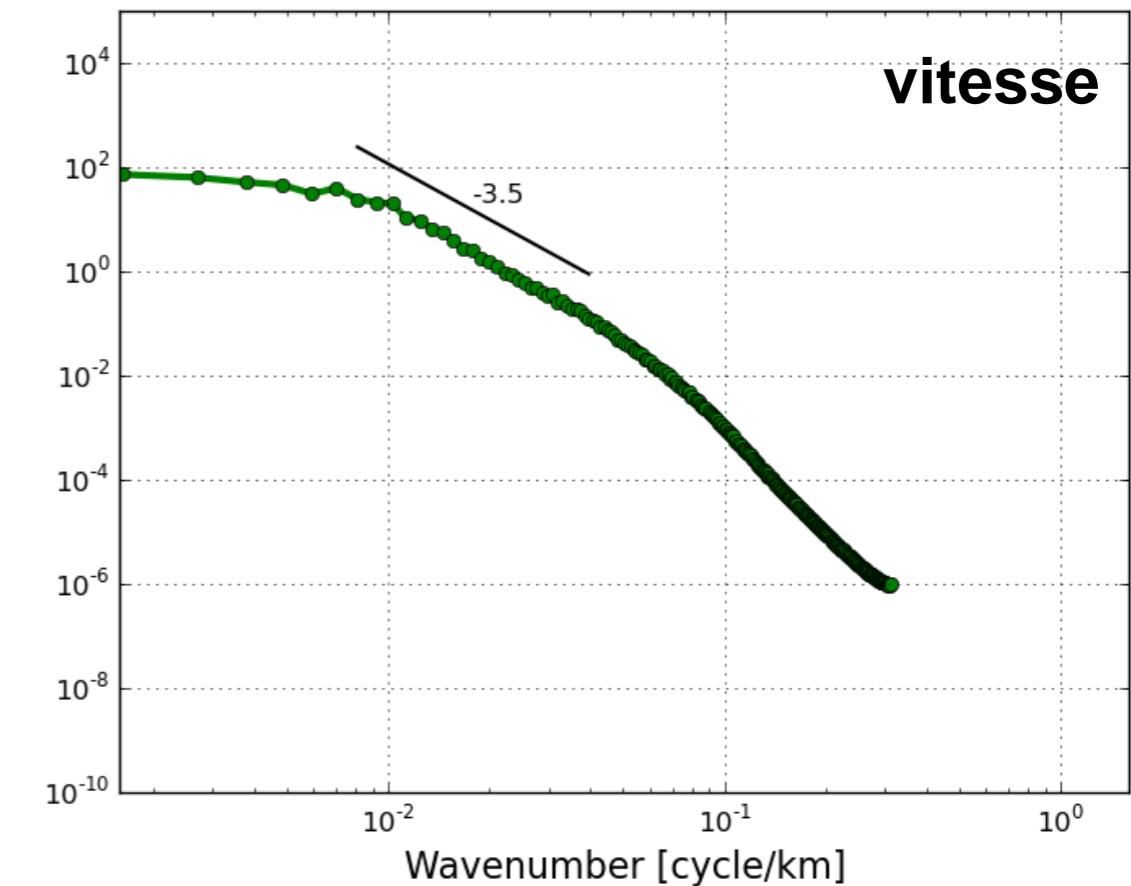
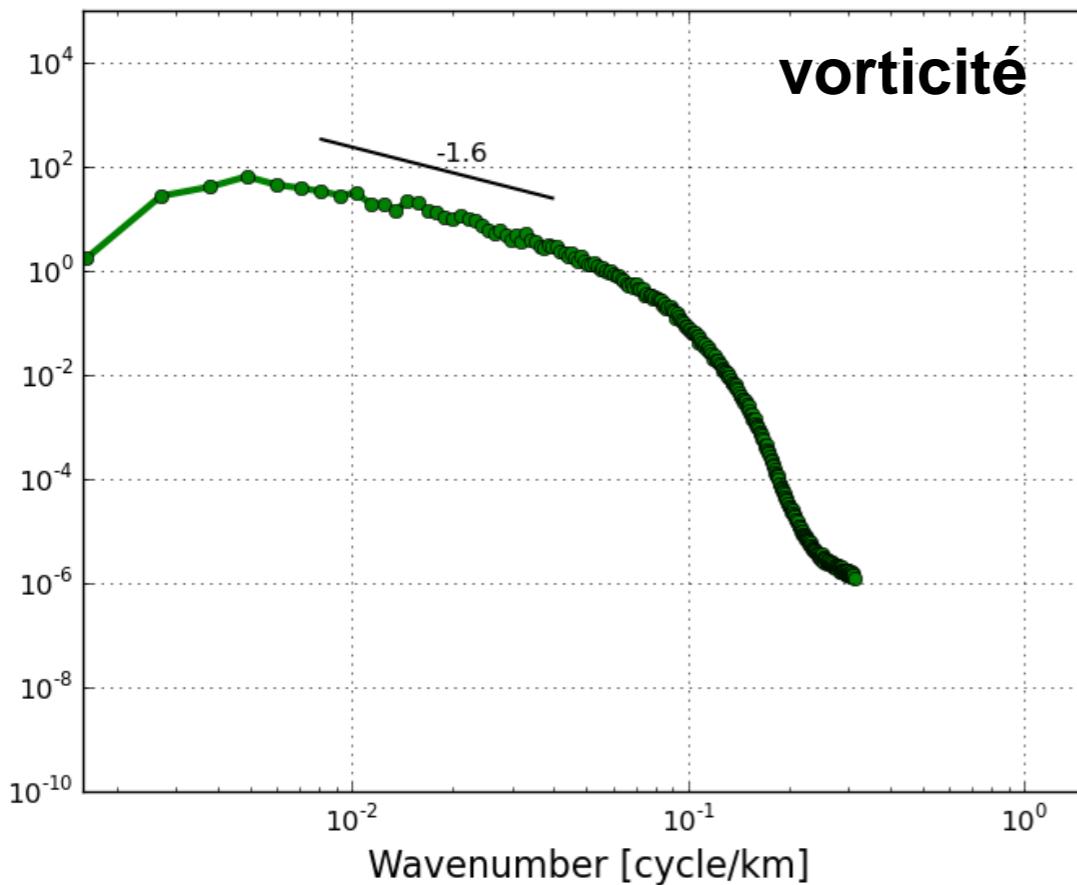
Questions ouvertes: - quelle cascade d'énergie dans l'océan réel?

- cette cascade varie-t-elle selon la saison ou le lieu?

# Régimes des cascades turbulentes dans l'Atlantic Nord (2/3)

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

Eté

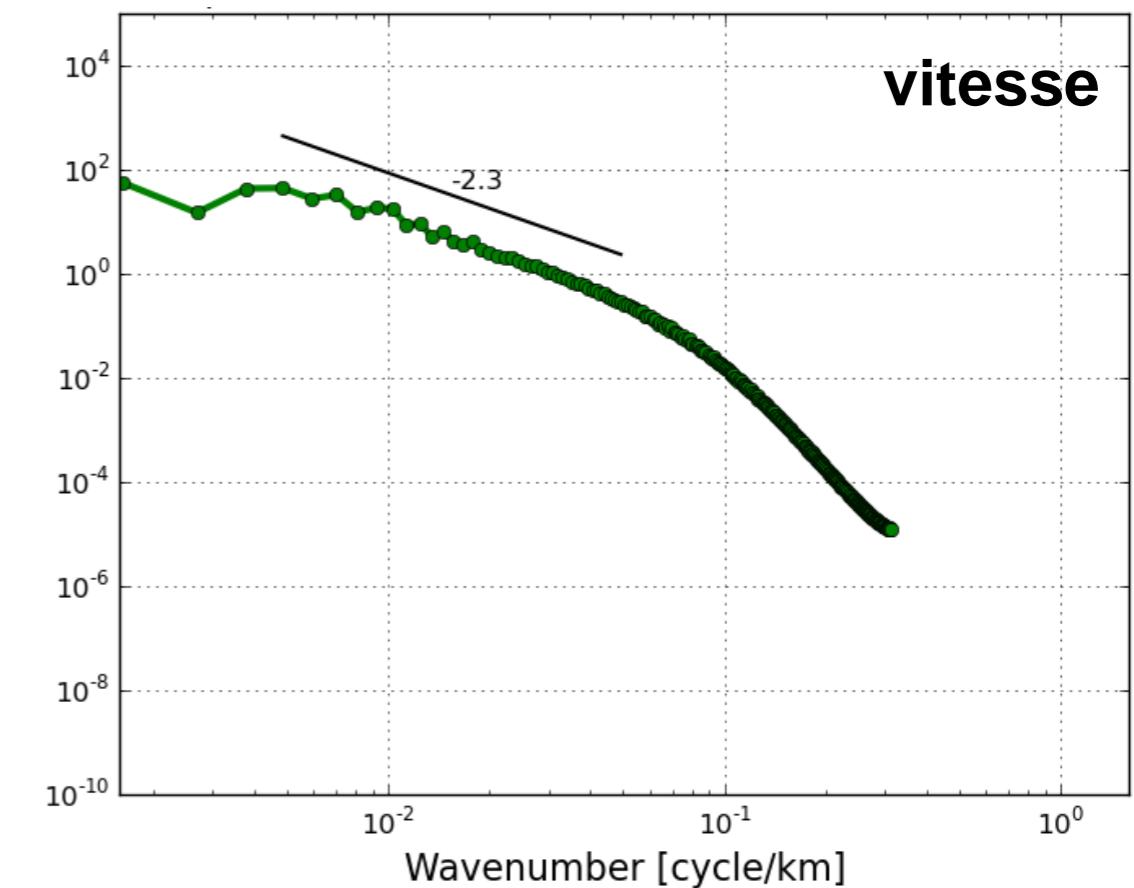
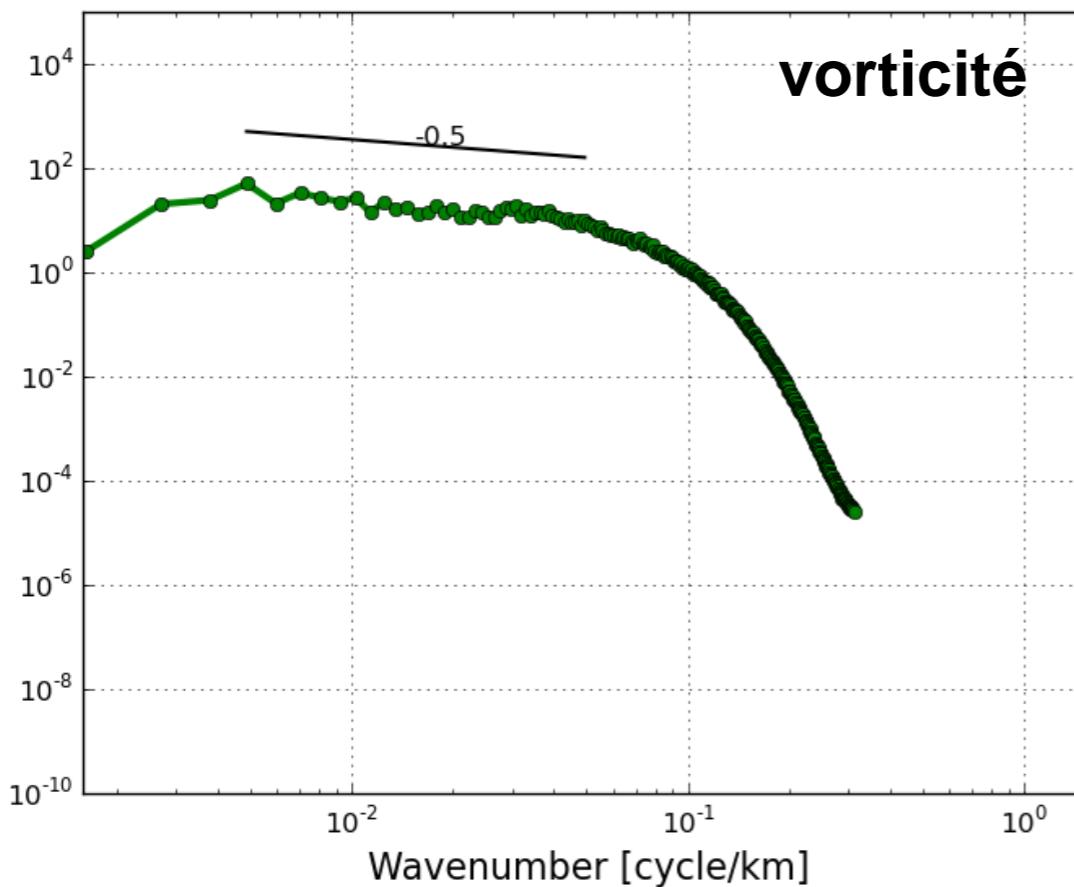


Eté : proche d'un régime de Philips

# Régimes des cascades turbulentes dans l'Atlantic Nord (2/3)

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

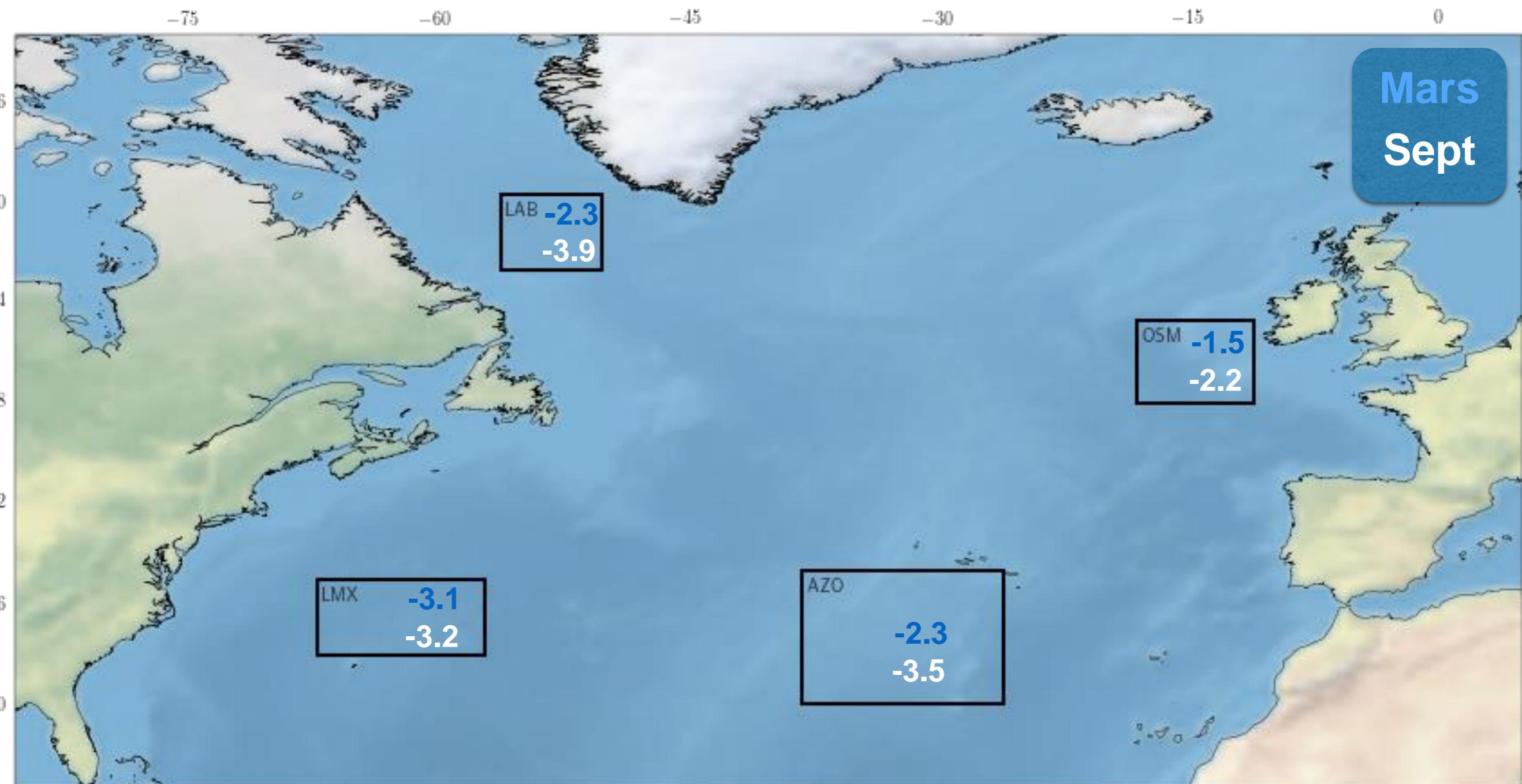
Hiver



Hiver : plutôt un régime de Charney

# Régimes des cascades turbulentes dans l'Atlantic Nord (3/3)

## 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

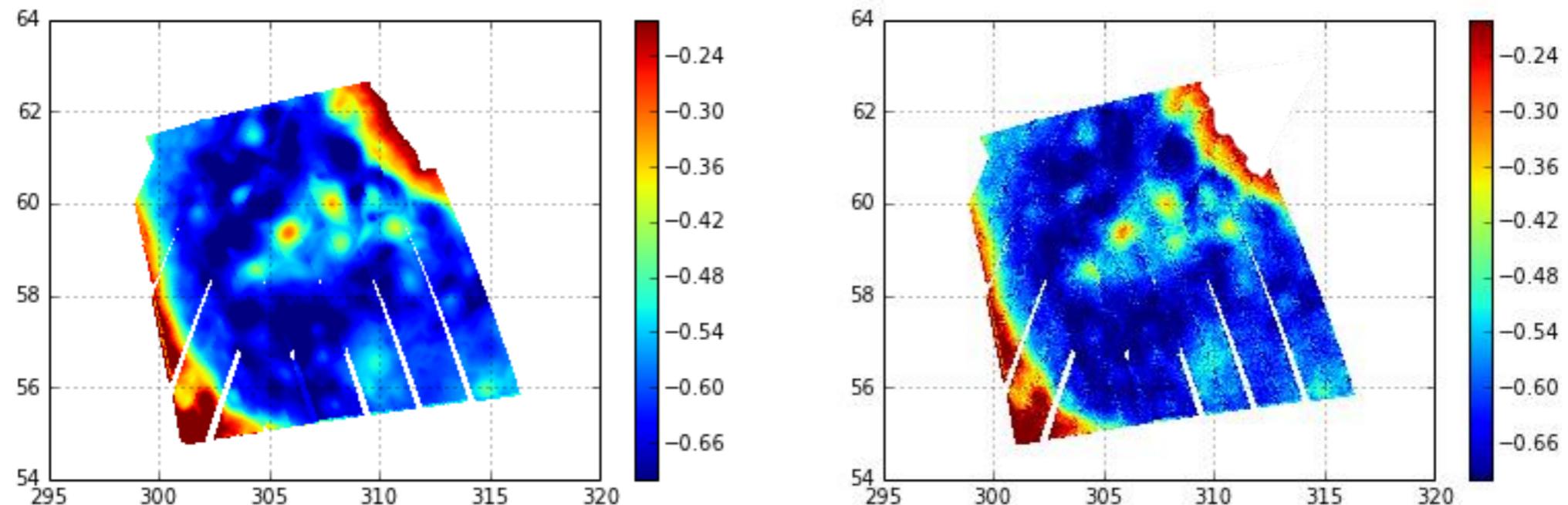
**5. Conclusions and perspectives**

## Conclusions

- Modélisation « sub-mesoscale-permitting » avec grilles hz/vert. cohérentes
- Enorme jeu de données (contrainte sur les diagnostiques – 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



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

**FIN**