

Les représentations du niveau de la mer dans les modèles de circulation générale de l'océan et du climat

Philippe Rogel (Cerfacs)

Journées REFMAR, UNESCO, Paris, 4 février 2016

rogel@cerfacs.fr

Motivations

Quelle type de physique est représentée dans les modèles de circulation générale de l'océan ?

Jusqu'à quel point les résultats de ces modèles peuvent être comparés aux observations locales de type marégraphes ?

Quelle est la représentativité des projections régionales/locales ?

Note: nous ne parlerons pas dans cette présentation des changements du niveau moyen de la mer, mais des variations régionales



Plan

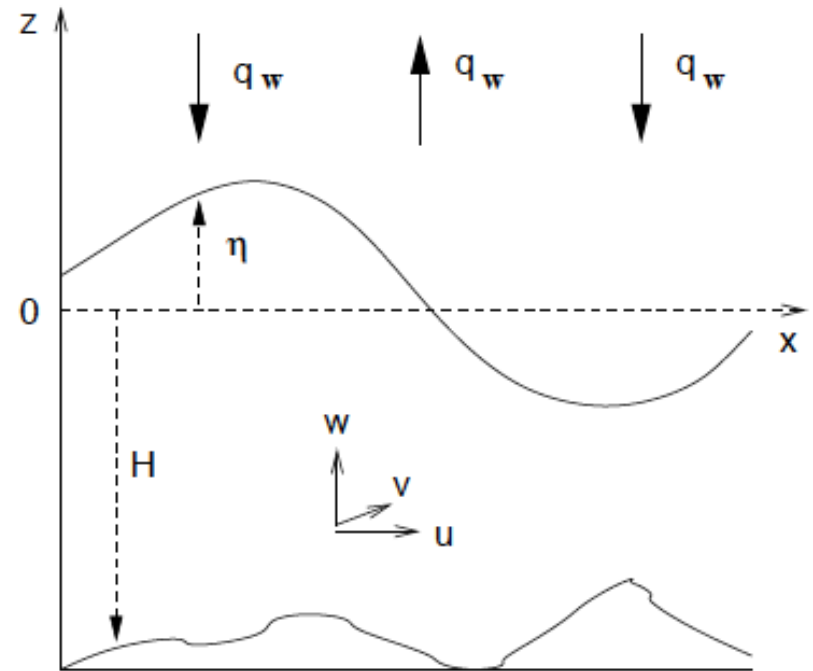
- **Concepts de base en s'appuyant sur le modèle français (NEMO) utilisé pour la recherche et en opérationnel**
- **Exemples climat (Expériences CMIP/Rapports IPCC), traitement des incertitudes**
- **Variabilité interne océanique: quels modèles pour CMIP6 ?**

Quelques equations

$$\frac{d\eta}{dt} = w + q_w$$

+ Equation de continuité

$$\boxed{\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\nabla_h U + q_w} \quad \text{where} \quad \nabla_h U = \frac{\partial}{\partial x} \int_{-H}^{\eta} u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-H}^{\eta} v dz$$



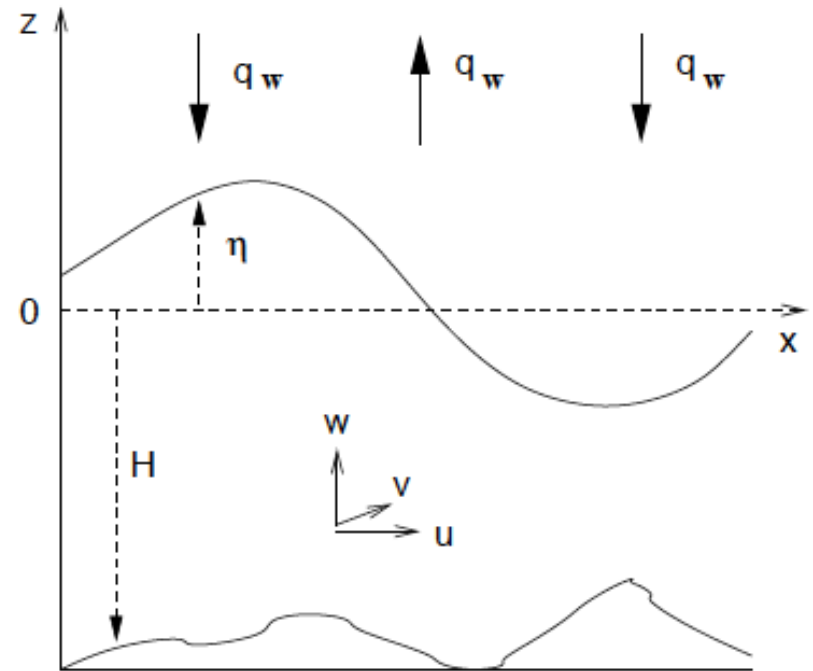
Levier et al. 2007

Quelques equations

+

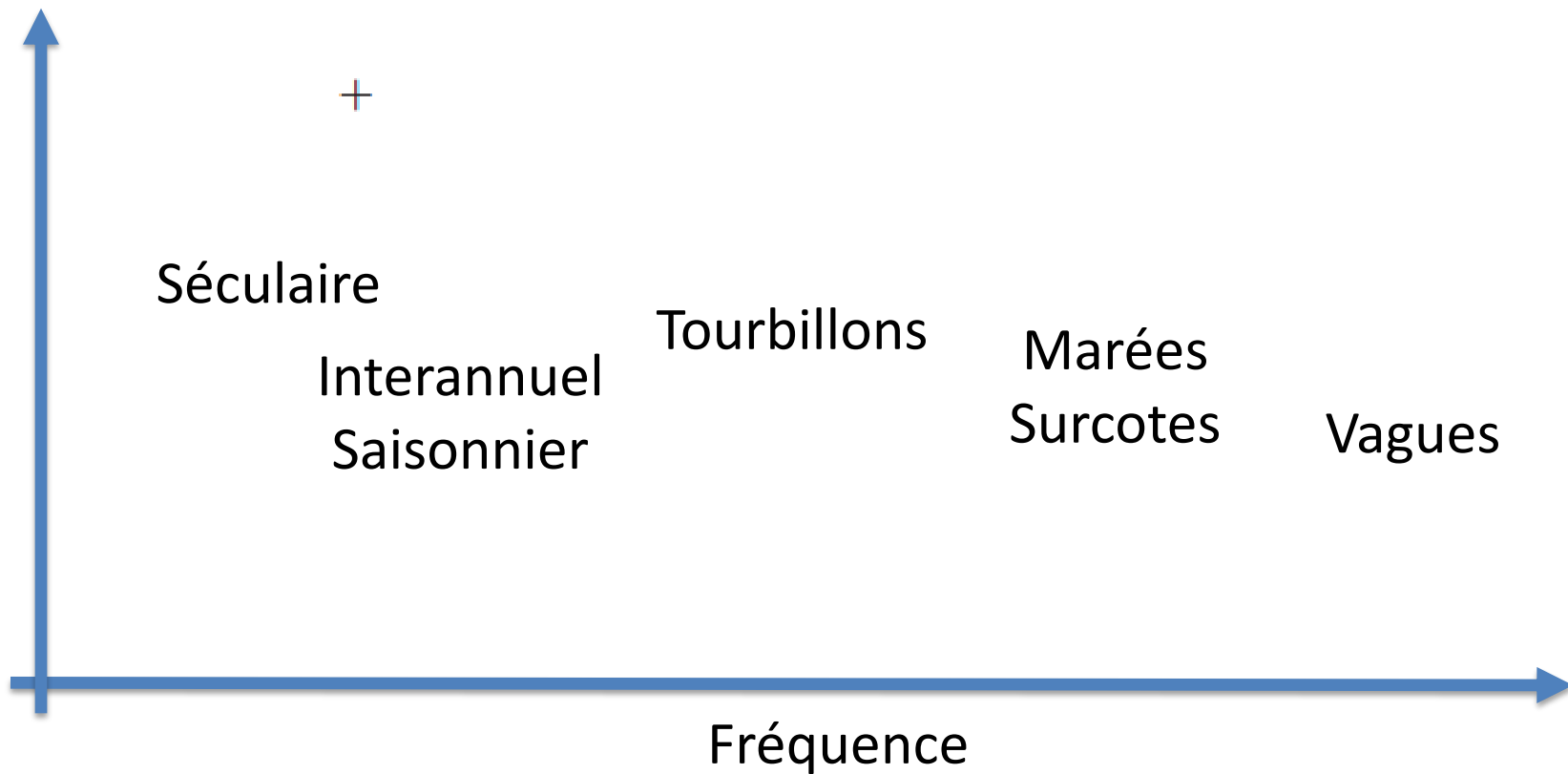
Discretisation sur la verticale
lorsque $H \gg \eta$:

maille de surface de hauteur
variable (Roullet and Madec, 2000)

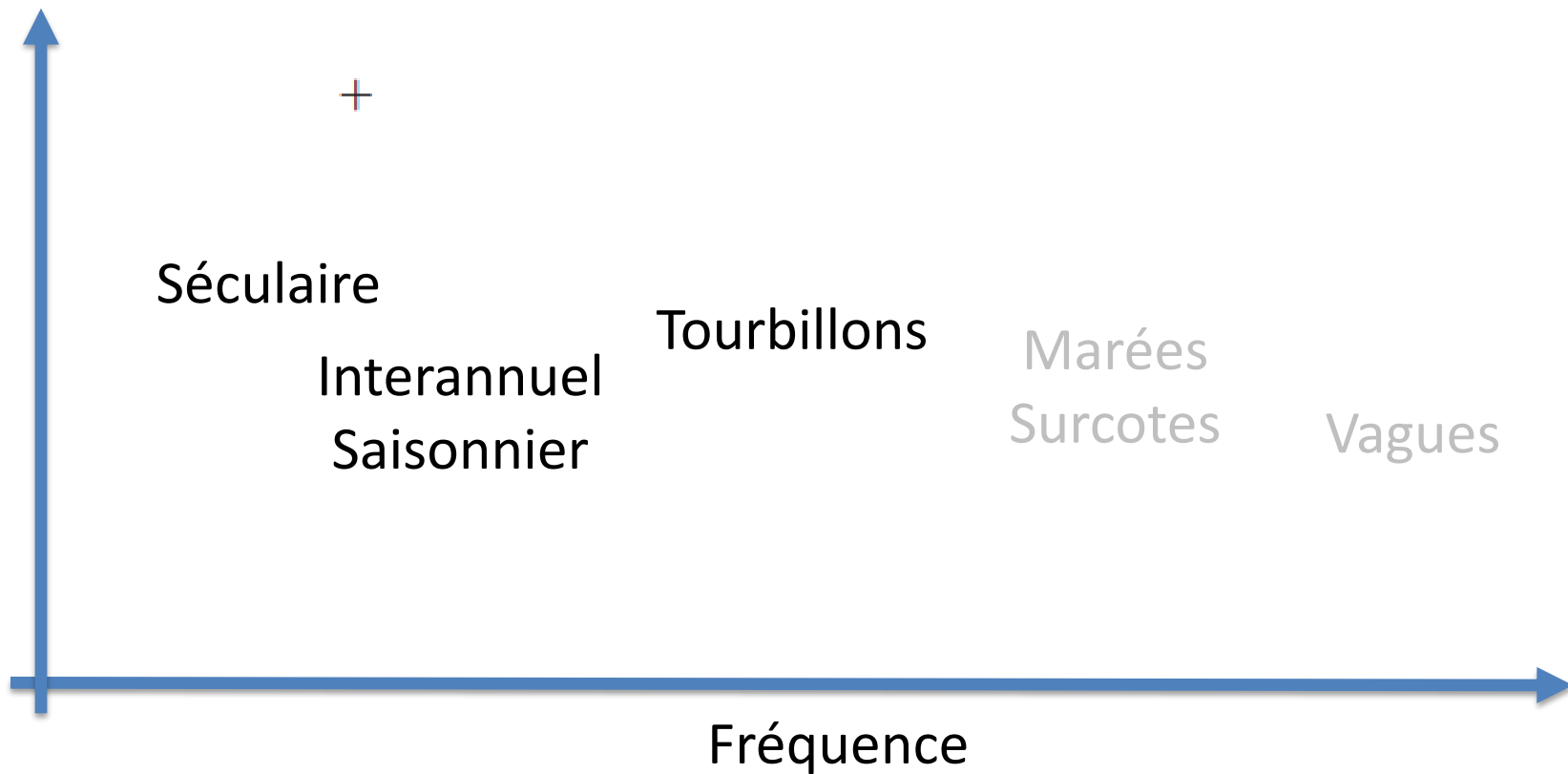


Levier et al. 2007

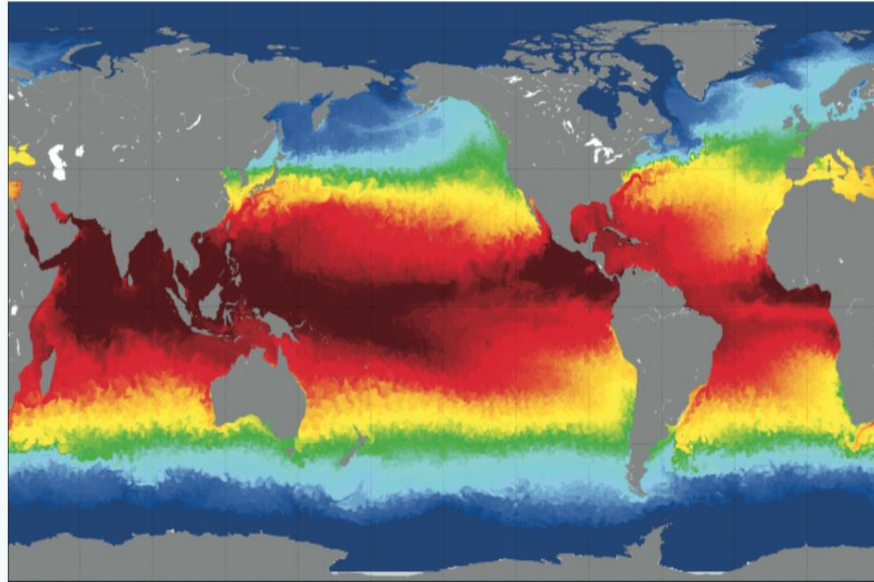
Quels phénomènes peuvent être modélisés ?



Quels phénomènes sont modélisés ?

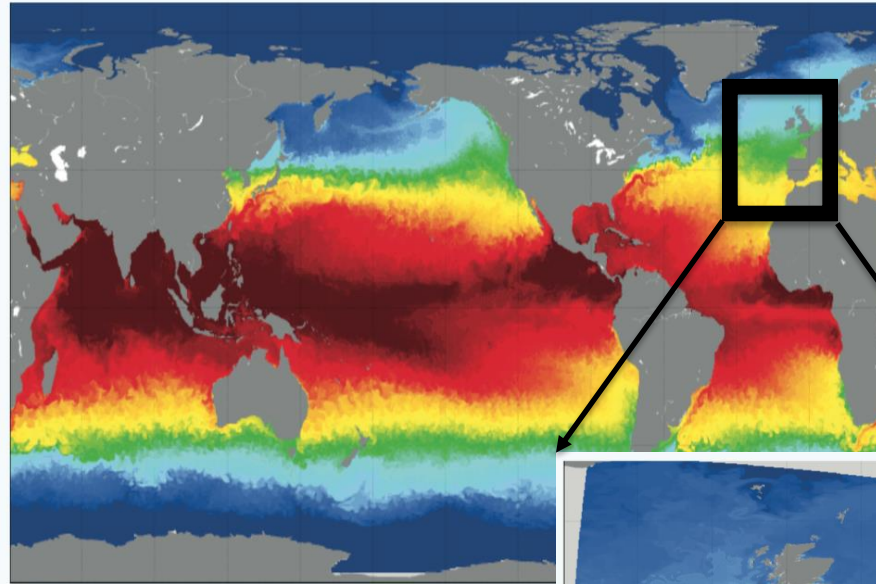


Modèles opérationnels MERCATOR

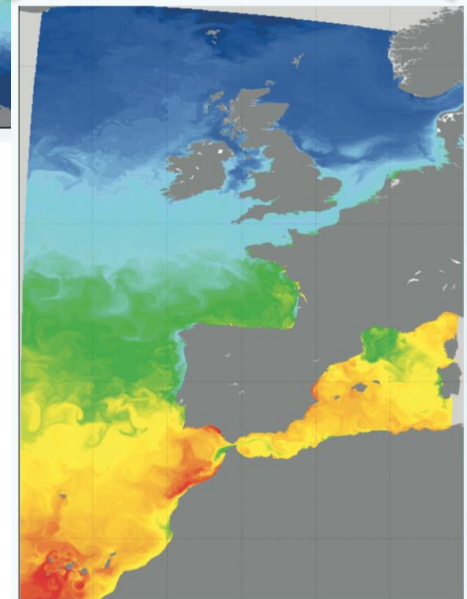


Configurations globales $1/4^\circ$ & $1/12^\circ$
Modes prévisions à court terme
Mode assimilation temps réel et réanalyse

Modèles opérationnels MERCATOR



Configuration
IBI au $1/36^\circ$



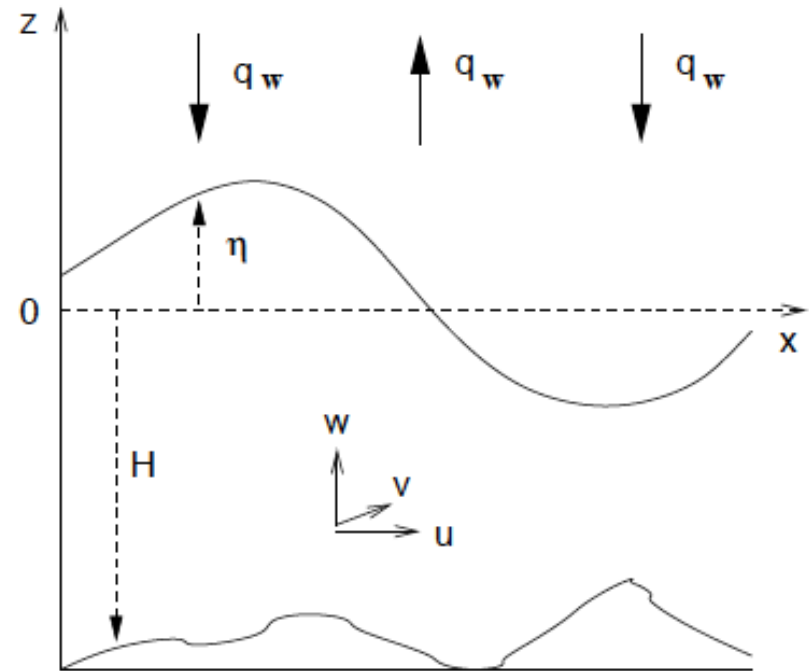
Quelques equations

+

Discretisation sur la verticale
lorsque η n'est plus $\ll H$:

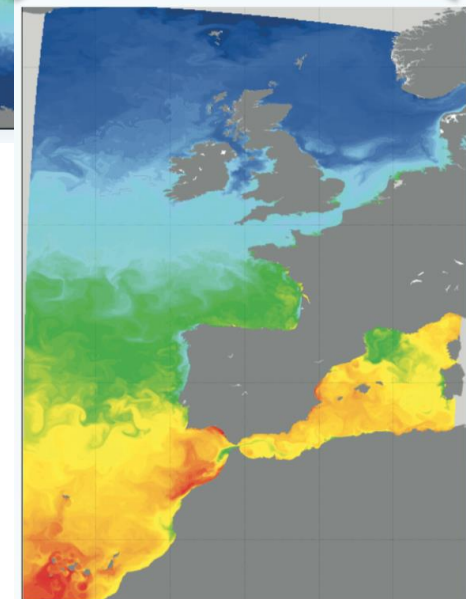
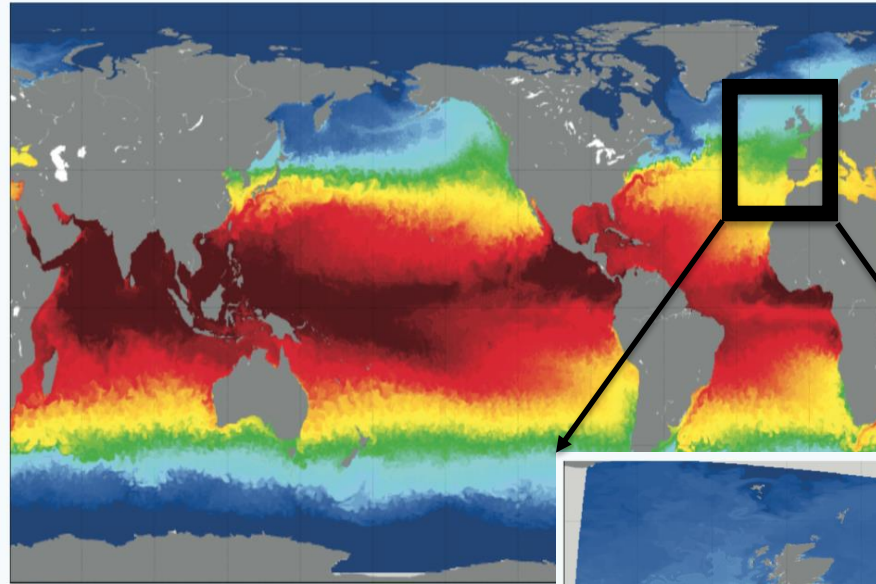
Toutes les mailles sont de hauteur
variable (Griffies et al., 2004)

=> Possibilité de représenter les
ondes de gravité



Levier et al. 2007

Modèles opérationnels MERCATOR



Modèles opérationnels MERCATOR

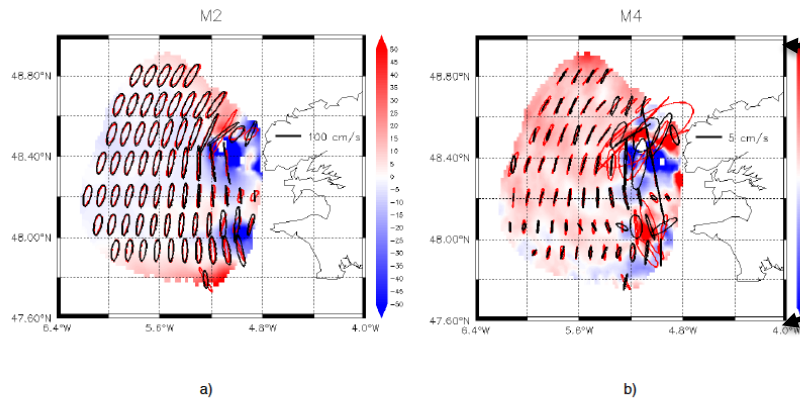
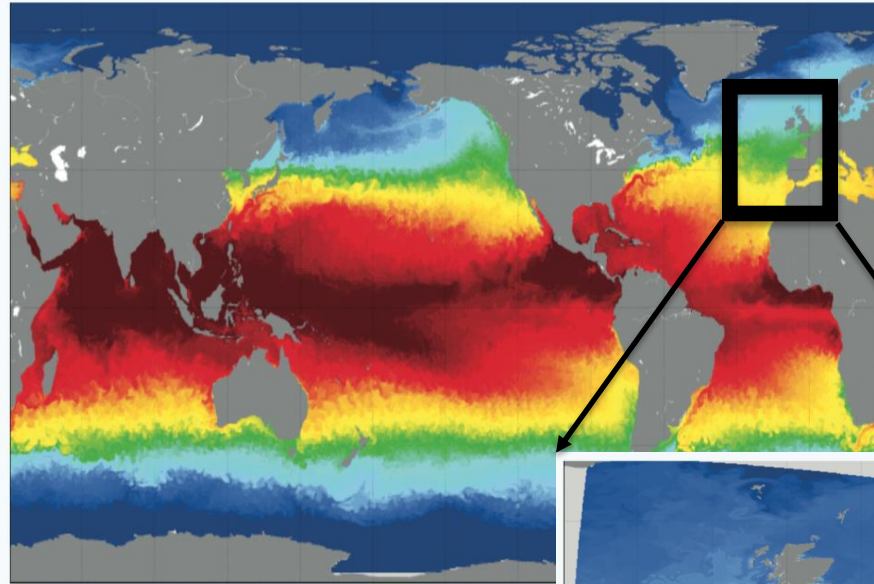
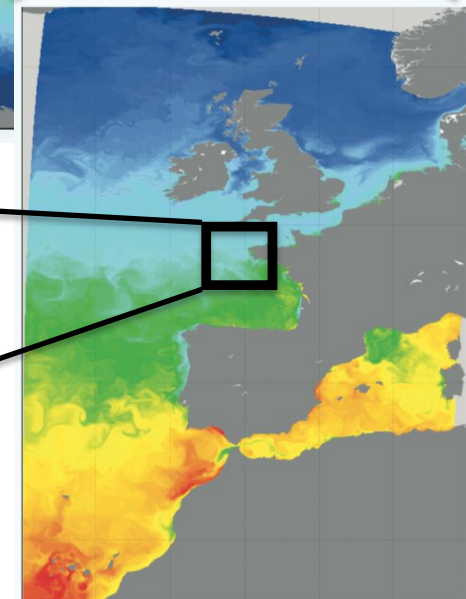
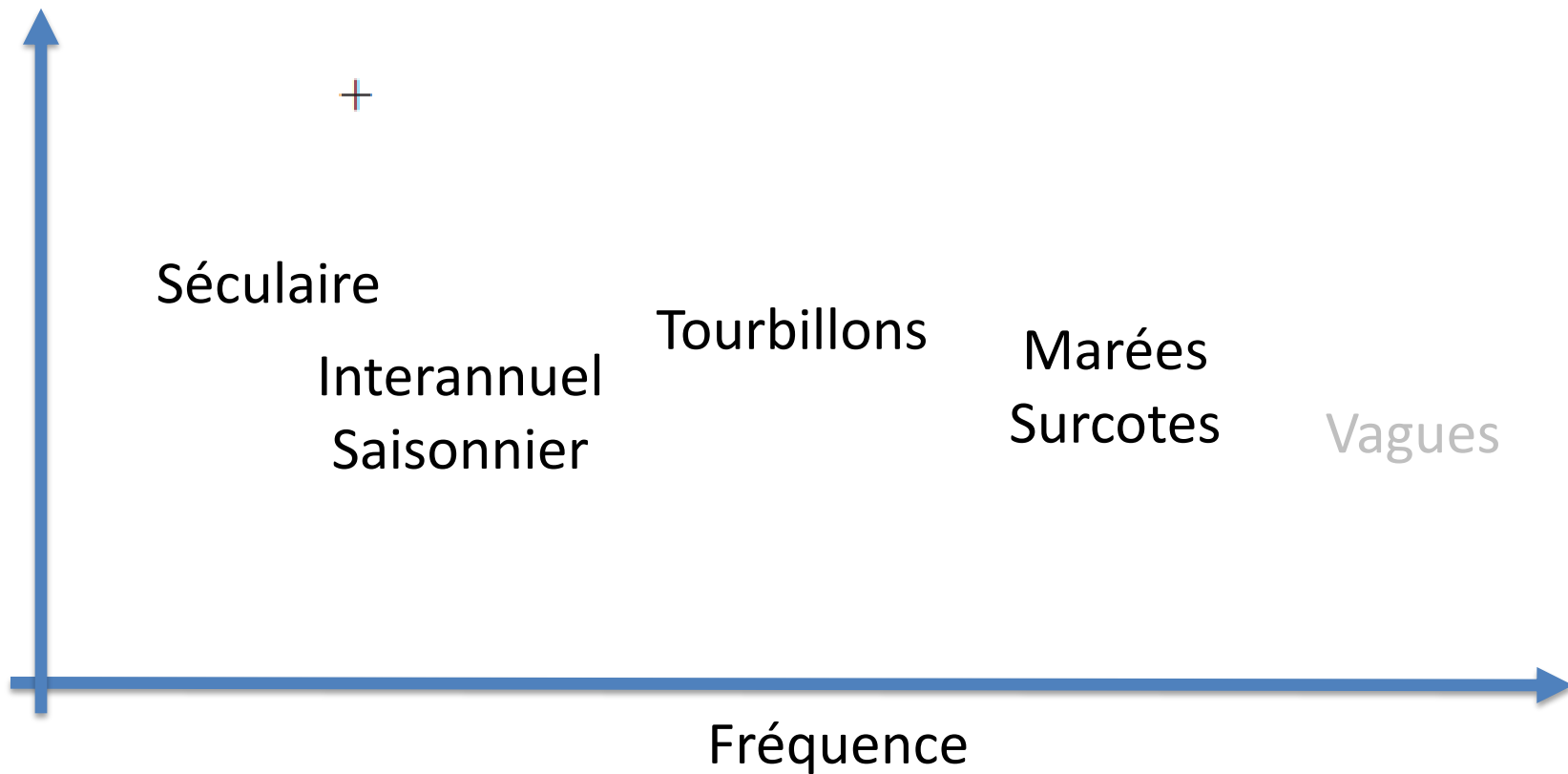


Figure 4 - Modeled (black ellipses) and observed (red ellipses) tidal ellipses for (a) the M2 and (b) M4 components. The background colour fields (in correspondence with the colour palette) represent the difference between the observed and modeled semi major axis (cm/s). Observations come from coastal HF radar.



Quels phénomènes sont modélisés ?



Problématique climat

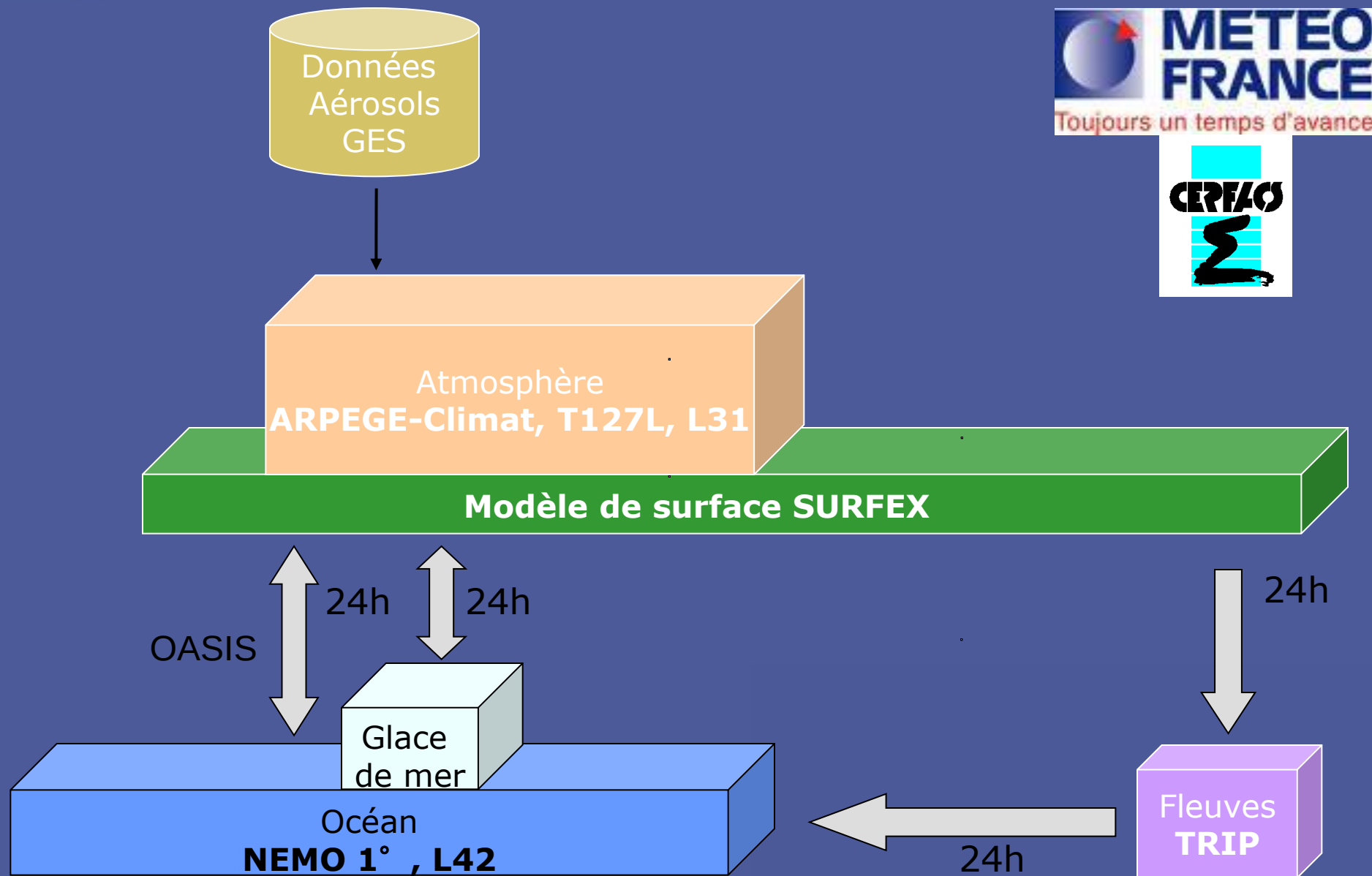
Nécessité de faire des expériences longues (~200 ans)

De plus, la prise en compte des incertitudes (scenarios économiques, erreurs de paramétrisation, de modélisation etc...) oblige à effectuer des ensembles de simulation

=> Résolution nécessairement moindre pour effectuer des expériences représentant 1000 ou 2000 ans de simulations cumulées

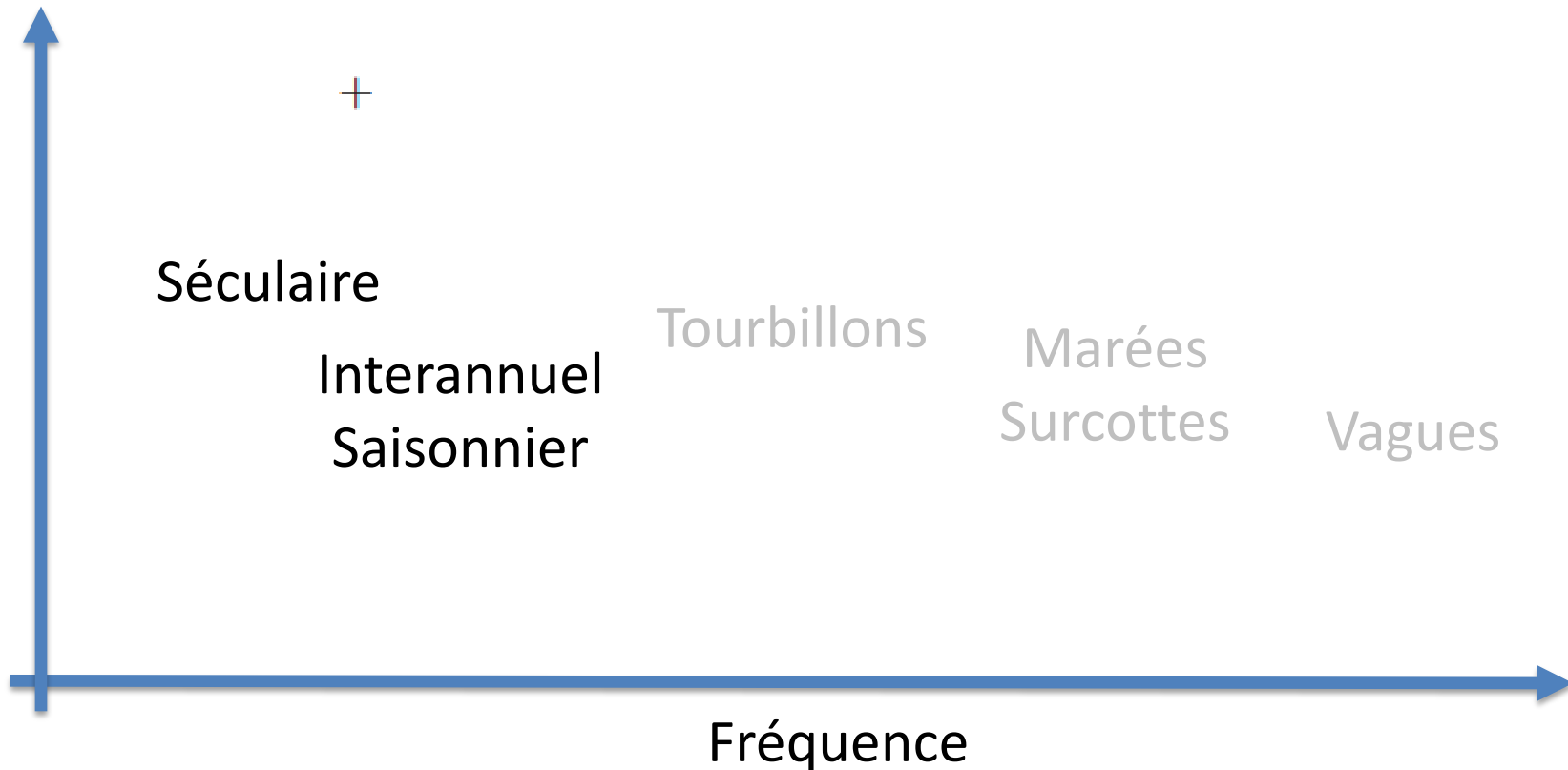
Pour les intercomparaisons de modèles, la hauteur stérique (densité) est utilisée

CNRM-CM5 Coupled model (CMIP5)



Quels phénomènes sont modélisés ?

Depuis les premières expériences couplées
jusqu'aux expériences CMIP5



Modèles climatiques AR2 (1995)

Effet d'un doublement du CO₂

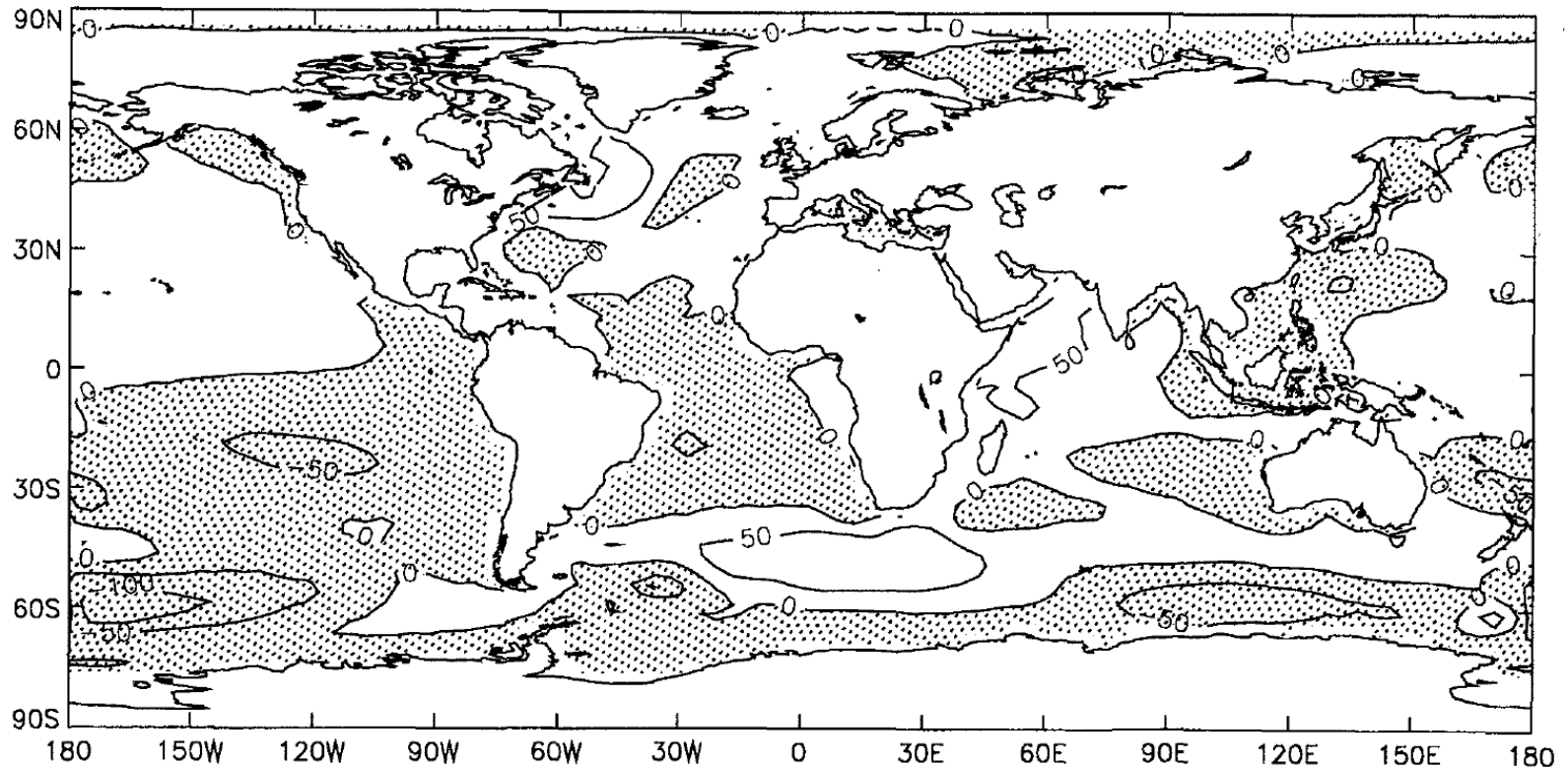


Figure 7.15: Relative sea level change from a transient AOGCM experiment over the years 66–75 (the decade centred on the time of CO₂ doubling). Relative sea level change here is calculated as the difference between the anomaly and control minus the change in global average sea level of 10.2 cm (source: Gregory, 1993).

Modèles climatiques AR3 (2001)

Scenarios IS92a

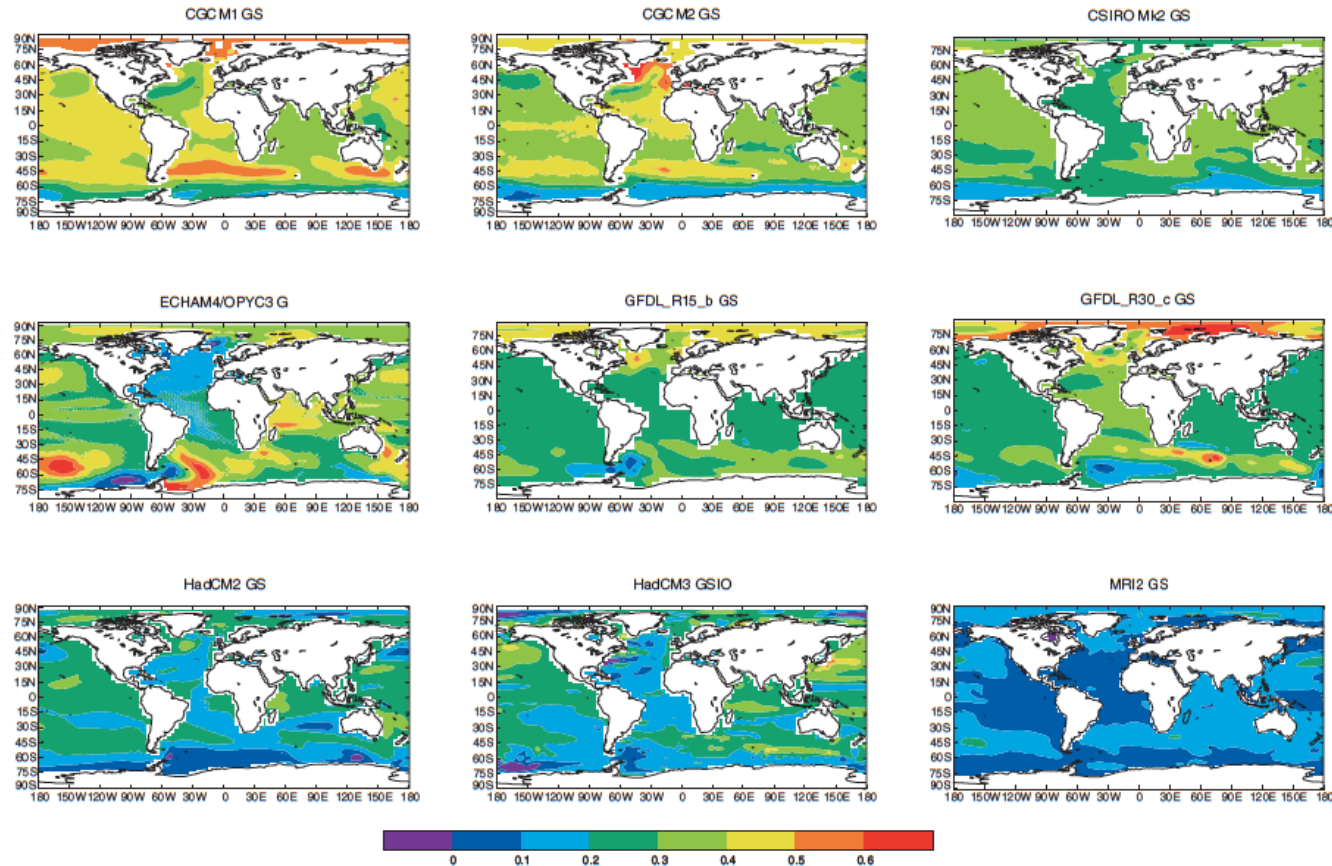


Figure 11.13: Sea level change in metres over the 21st century resulting from thermal expansion and ocean circulation changes calculated from AOGCM experiments following the IS92a scenario and including the direct effect of sulphate aerosol (except that ECHAM4/OPYC3 G is shown instead of GS, because GS ends in 2050). Each field is the difference in sea level change between the last decade of the experiment and the decade 100 years earlier. See Tables 8.1 and 9.1 for further details of models and experiments.

Variété de modèles
encore assez pauvre

Estimations divergentes
de l'expansion
thermique

Modèles climatiques AR4 (2007)

Scenarios SRES

Projection du changement de niveau stérique (densité)

Premières estimations
« multi-modèle »

Points hachurés: signal
plus fort que le bruit
(estimé par la variance
multimodèle)

Effort important de mise
à disposition des
données sur une base
publique

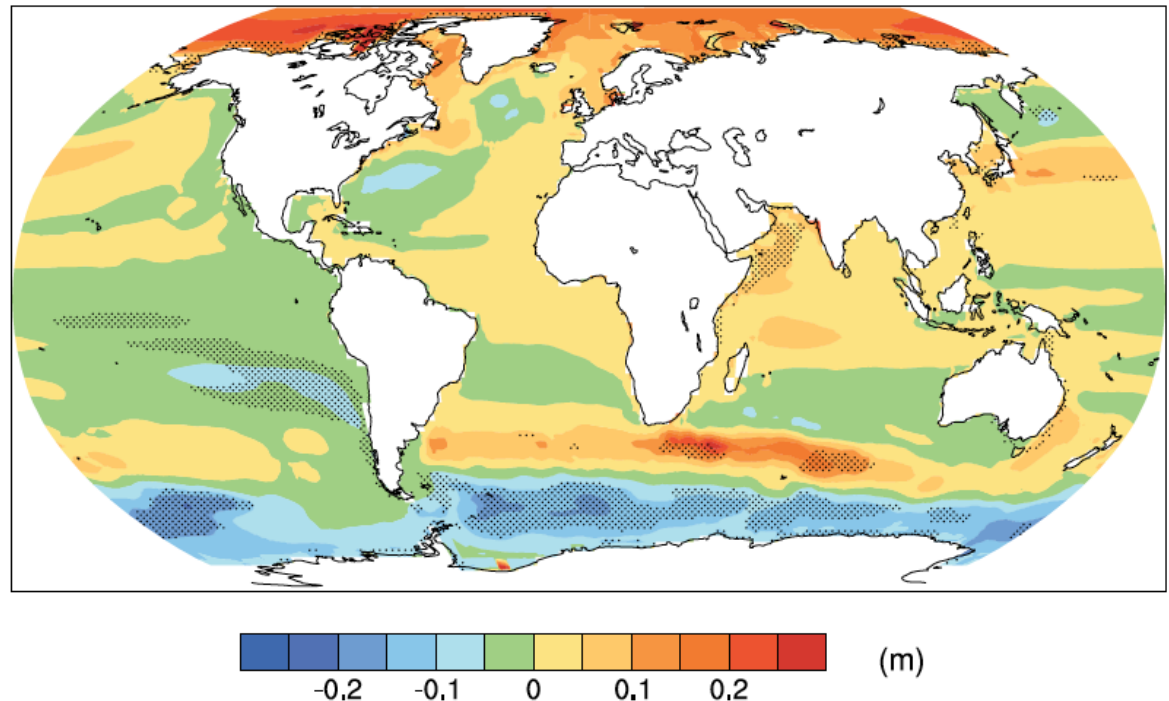


Figure 10.32. Local sea level change (m) due to ocean density and circulation change relative to the global average (i.e., positive values indicate greater local sea level change than global) during the 21st century, calculated as the difference between averages for 2080 to 2099 and 1980 to 1999, as an ensemble mean over 16 AOGCMs forced with the SRES A1B scenario. Stippling denotes regions where the magnitude of the multi-model ensemble mean divided by the multi-model standard deviation exceeds 1.0.

Modèles climatiques AR5 (2013)

Estimations « multi-modèle » de plus en plus riche

Diagnostiques divers

Intégration d'effets additionels (p.ex. signal eustatique du à la fonte des glaciers)

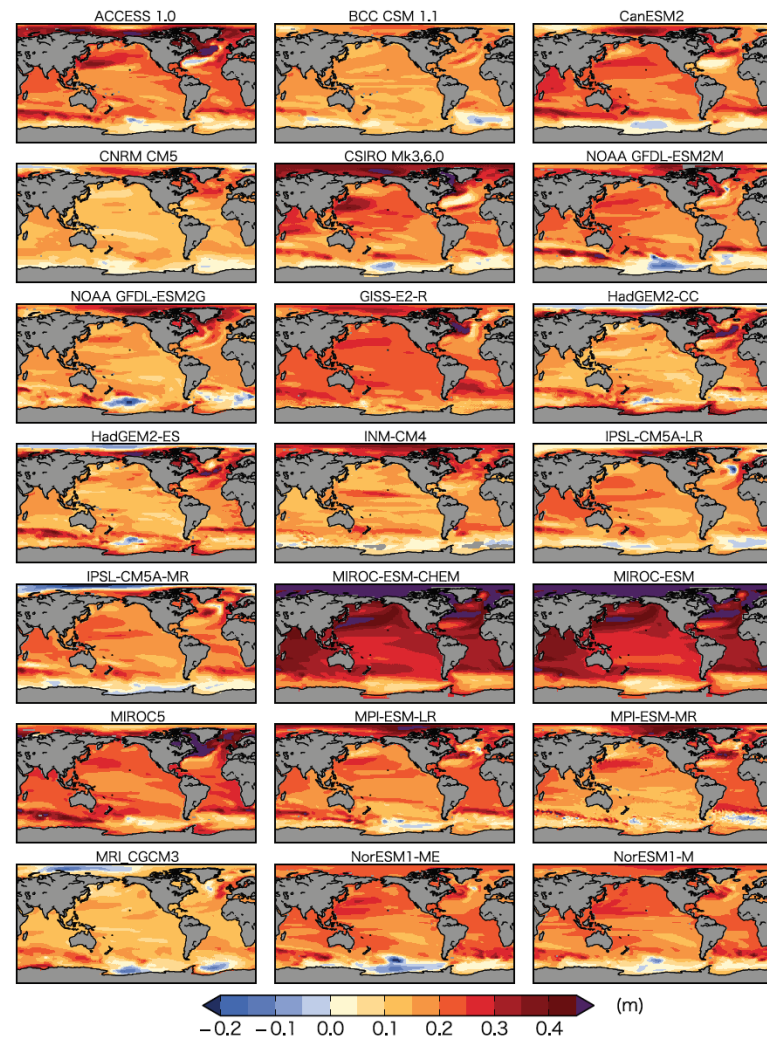
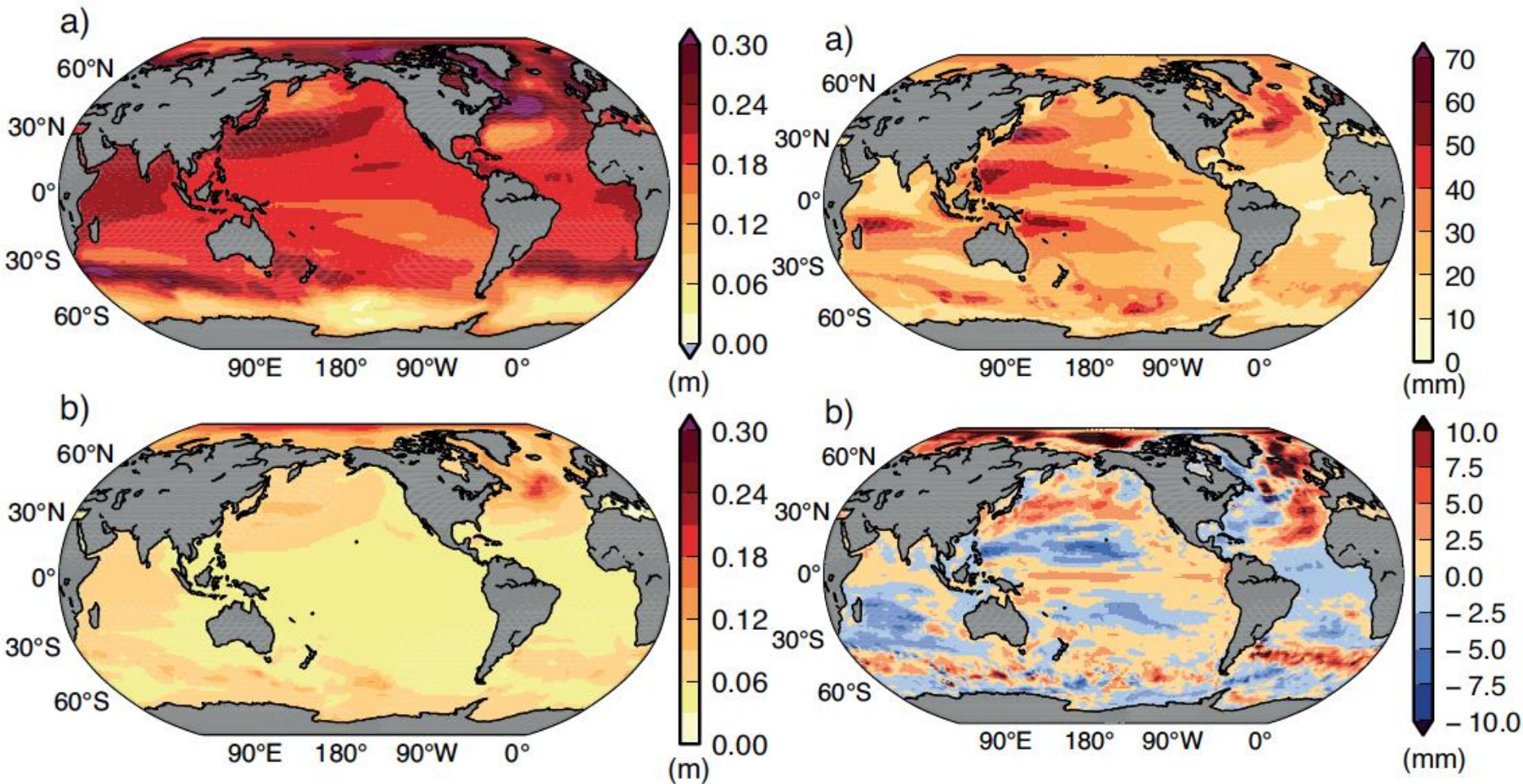


Figure 13.24 | Projected relative sea level change (in m) from the combined global steric plus dynamic topography and glacier contributions for the RCP4.5 scenario over the period from 1986–2005 to 2081–2100 for each individual climate model used in the production of Figure 13.16a.

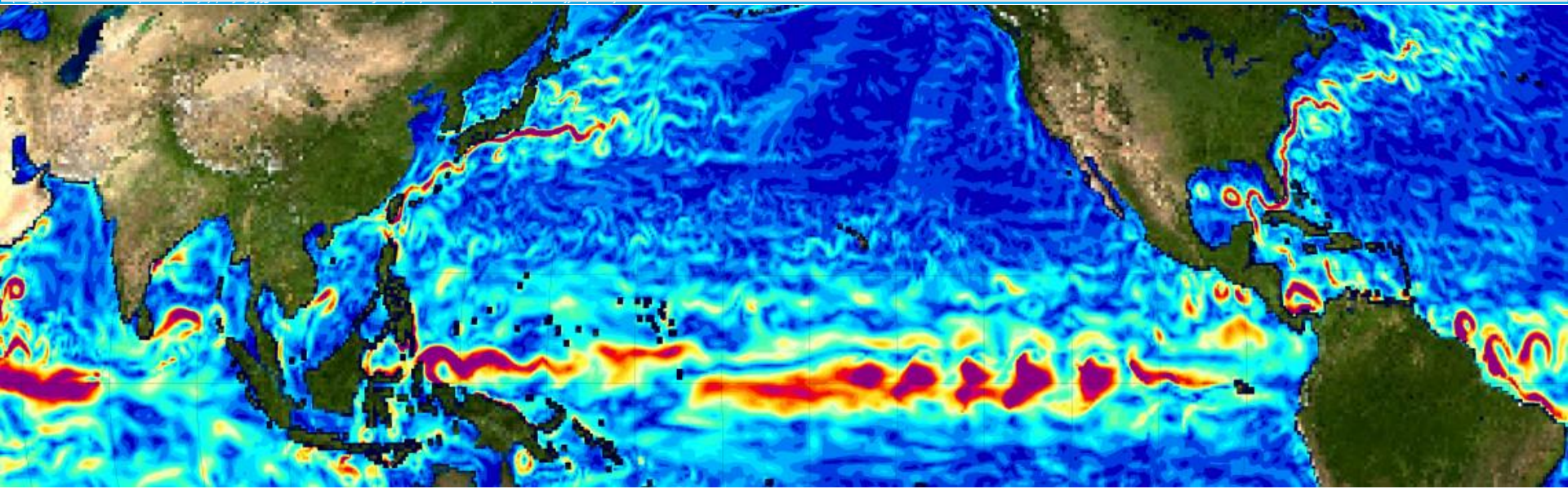
Modèles climatiques AR5 (2013)



Changement moyen

Changement de variabilité interannuelle

Variabilité interne



Capacité d'un système à générer de lui même de la variabilité, toutes choses égales (ou presque) par ailleurs

Par exemple : caractère chaotique de l'atmosphère, du climat...

L'océan est-il chaotique ? Si oui, quelle implication pour le niveau de la mer ?

Variabilité interne

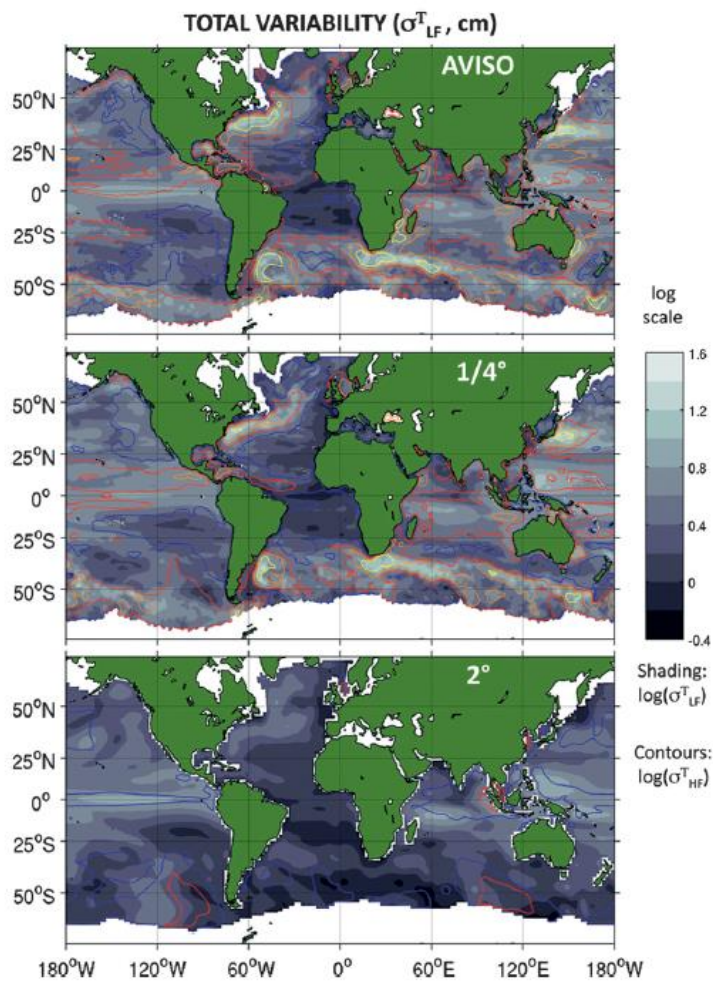


FIG. 2. Total variability (log scale, cm) at LF (gray shading) and HF (selected contours: 0.2 in blue, 0.5 in red, 0.8 in orange, 1.1 in yellow): (top) AVISO, and fully forced model simulations at (middle) $1/4^\circ$ and (bottom) 2° . For clarity, maps have been smoothed.

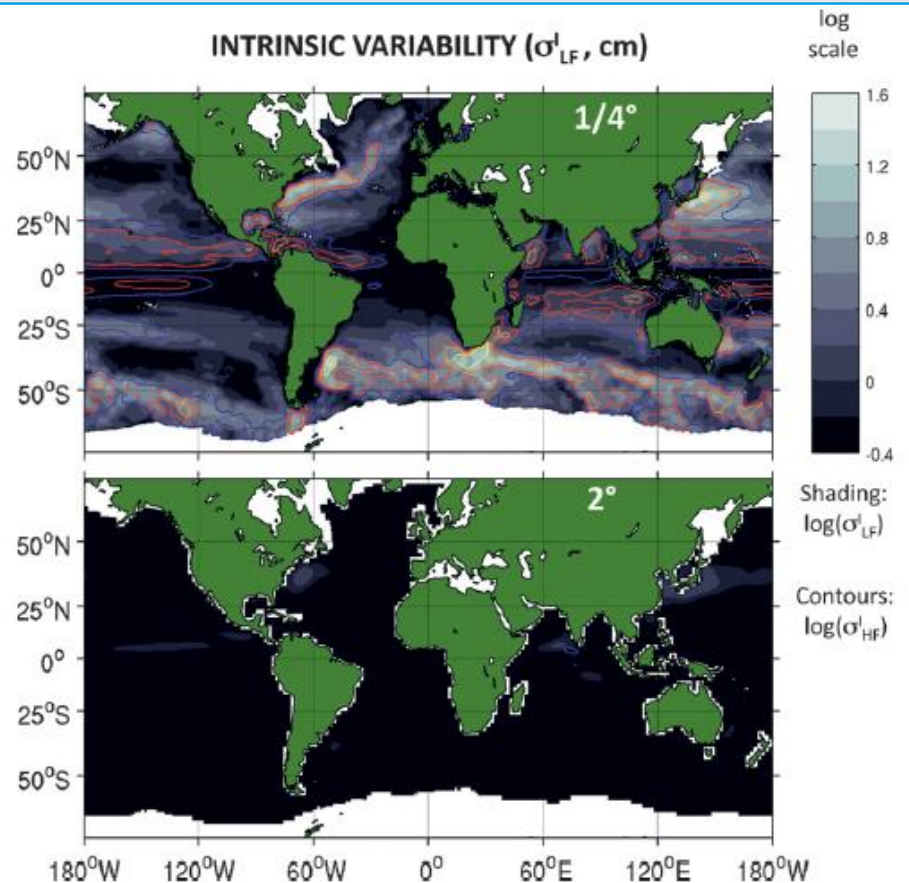


FIG. 3. As in Fig. 2, but for intrinsic variability obtained from seasonally forced simulations (top) $1 - 1/4^\circ$ and (bottom) $1 - 2^\circ$.

Penduff et al. 2011

Variabilité interne

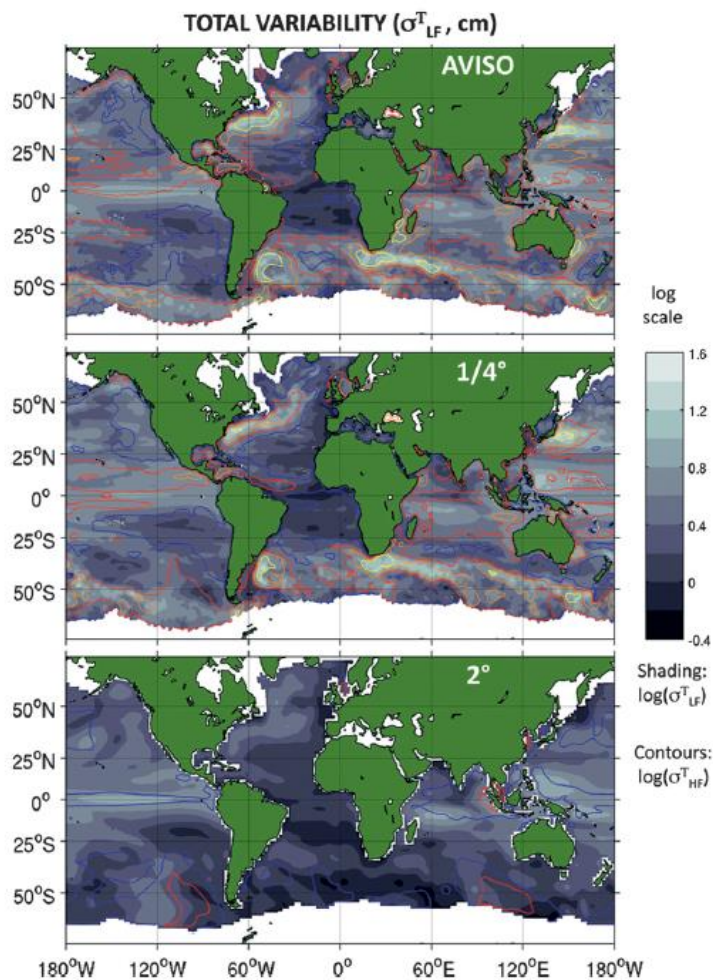


FIG. 2. Total variability (log scale, cm) at LF (gray shading) and HF (selected contours: 0.2 in blue, 0.5 in red, 0.8 in orange, 1.1 in yellow): (top) AVISO, and fully forced model simulations at (middle) $1/4^\circ$ and (bottom) 2° . For clarity, maps have been smoothed.

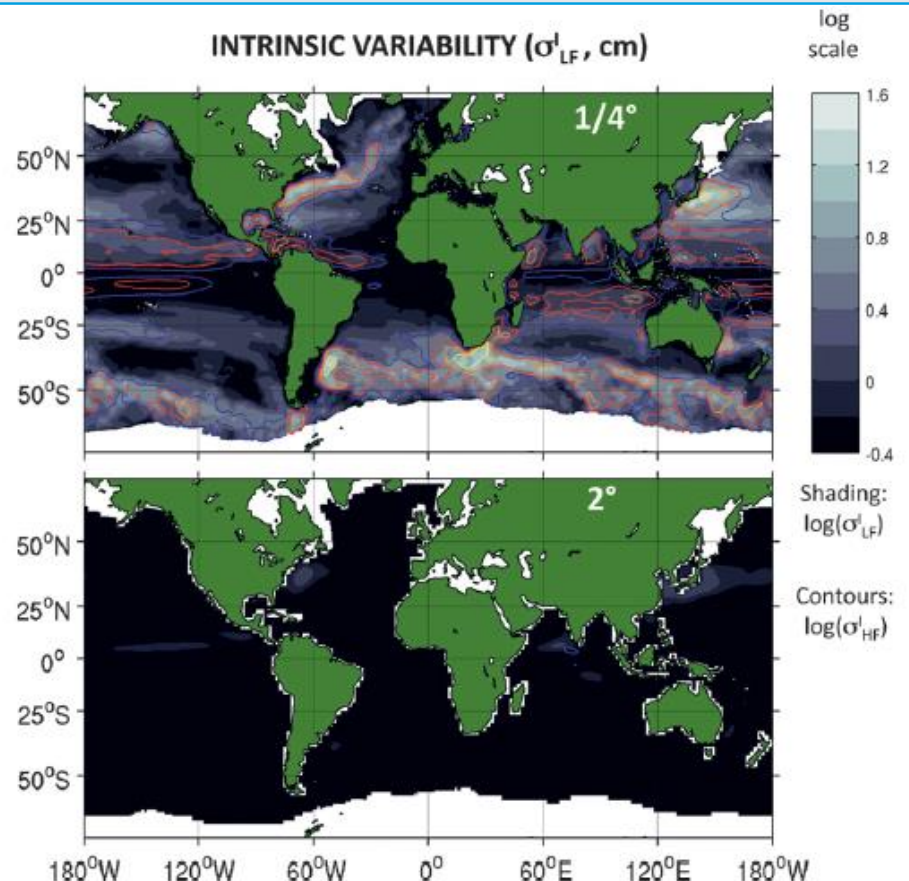
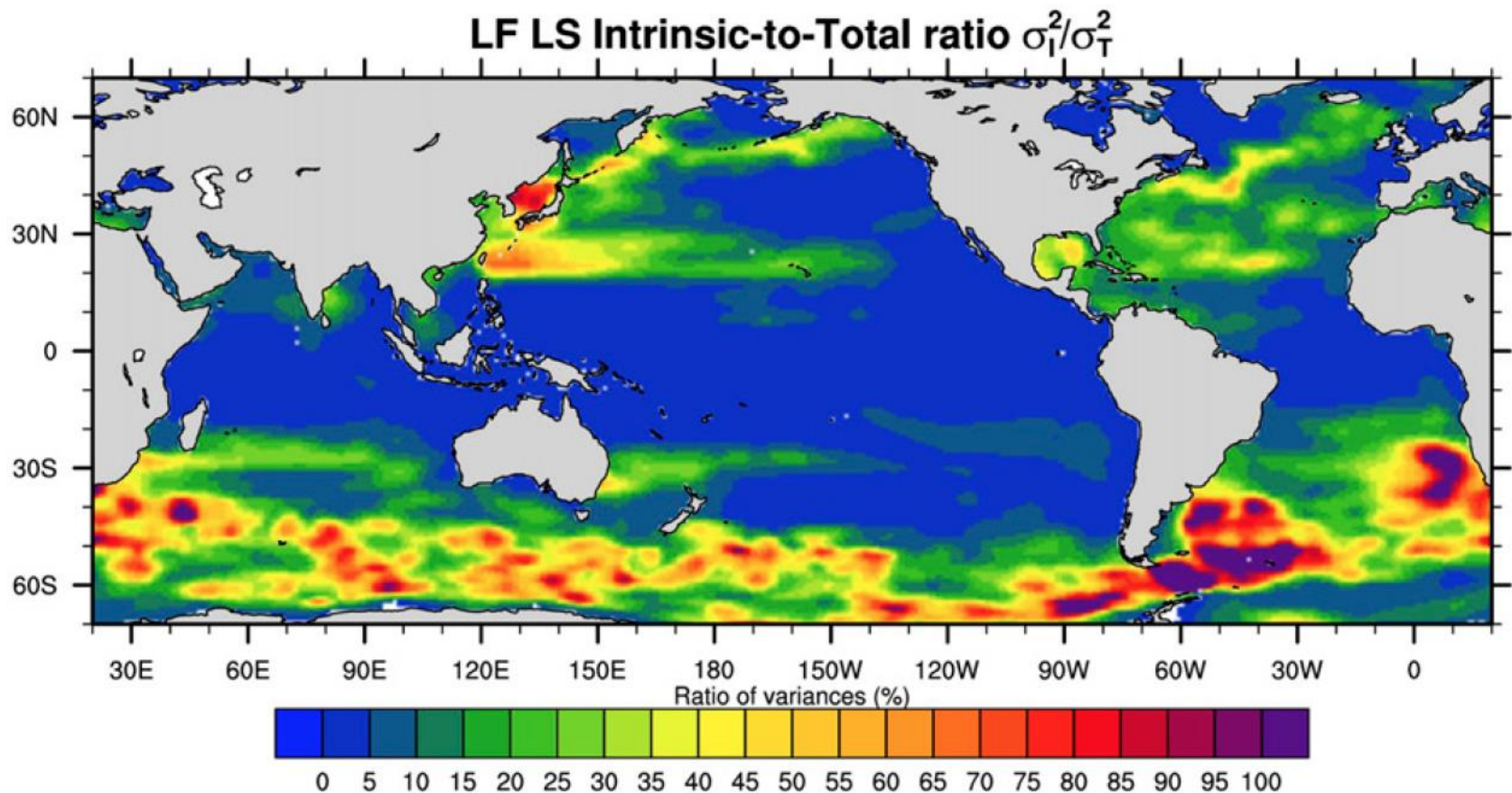


FIG. 3. As in Fig. 2, but for intrinsic variability obtained from seasonally forced simulations (top) $1 - 1/4^\circ$ and (bottom) $1 - 2^\circ$.

=> Projet OCCIPUT: ensemble de 50 simulations de 50 ans.

Penduff et al. 2011

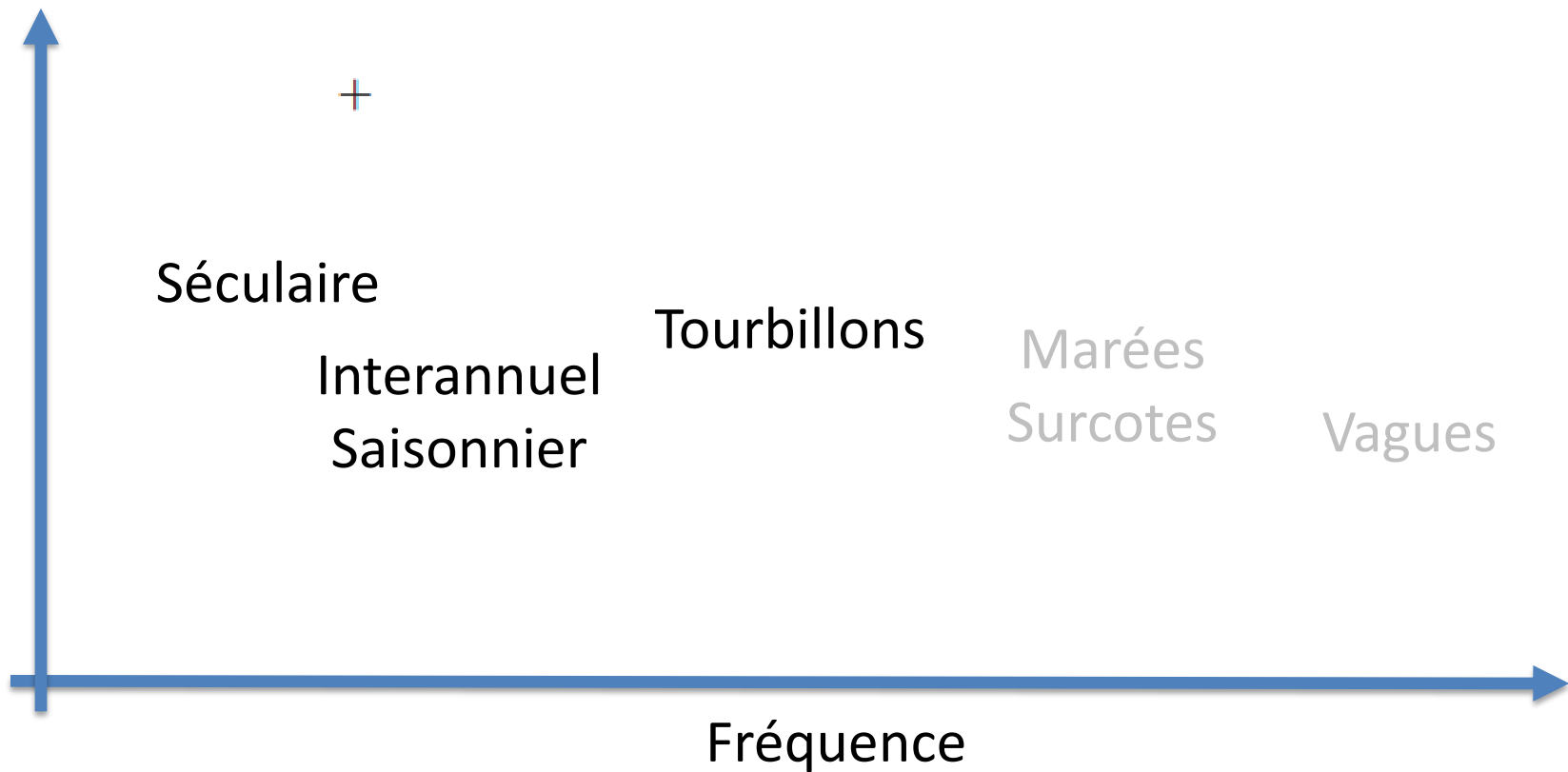
Variabilité interne



Contribution de la variabilité interne à la variabilité totale pour les fréquences > 2 mois et échelles > 12°

Serazin et al. 2015

Quels phénomènes seront modélisés dans CMIP6 ?



Conclusions

Les OGCM incluent des représentations de plus en plus complètes du niveau de la mer

Pour le climat, les contraintes de calcul imposent depuis longtemps une représentation incomplète du niveau de la mer...

... mais les choses vont évoluer pour CMIP6, plusieurs contributeurs ont annoncé inclure la représentation des tourbillons

Mise en évidence de la variabilité interne océanique (projet OCCIPUT)