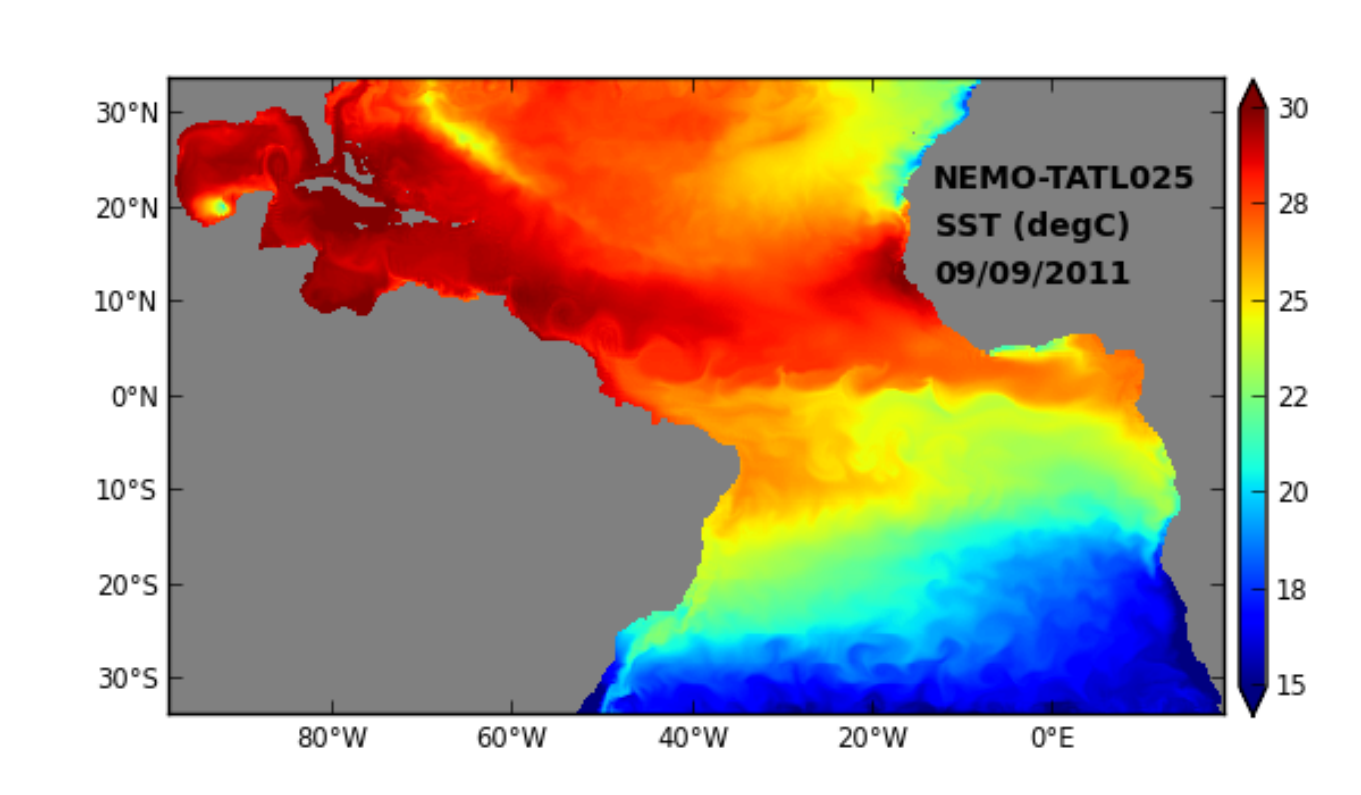
Sensibilité des conditions de surface de l'Atlantique Tropical aux apports d'eau douce et aux concentrations en chlorophylle



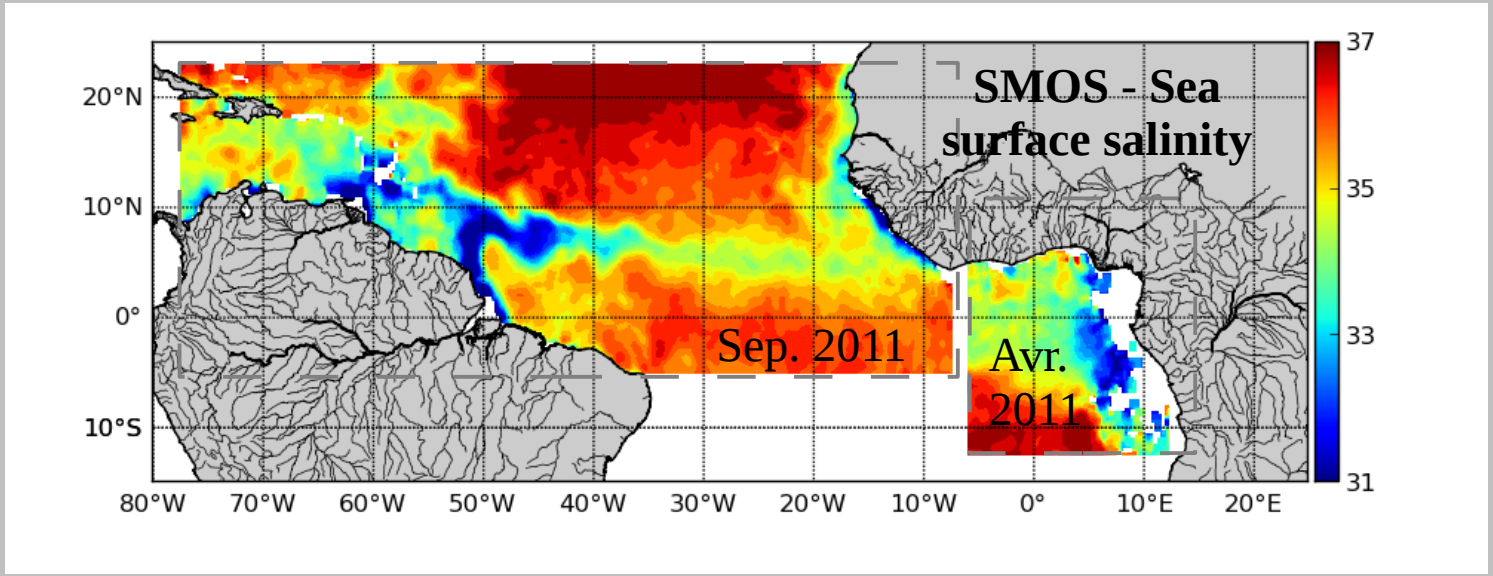
Olga Hernandez, Julien Jouanno, Fabien Durand
LEGOS

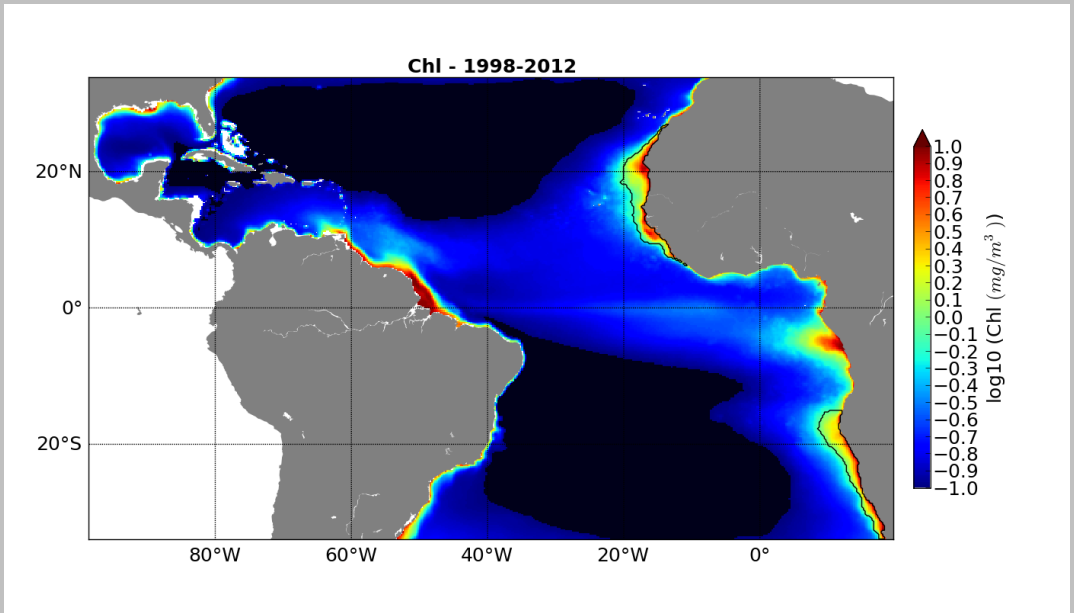
EU project PREFACE = Enhancing **PRE**diction o**F** Tropical **A**tlantic **C**limat**E** and its impacts

Séminaire CERFACS – Jeudi 11 Février 2016

Plan

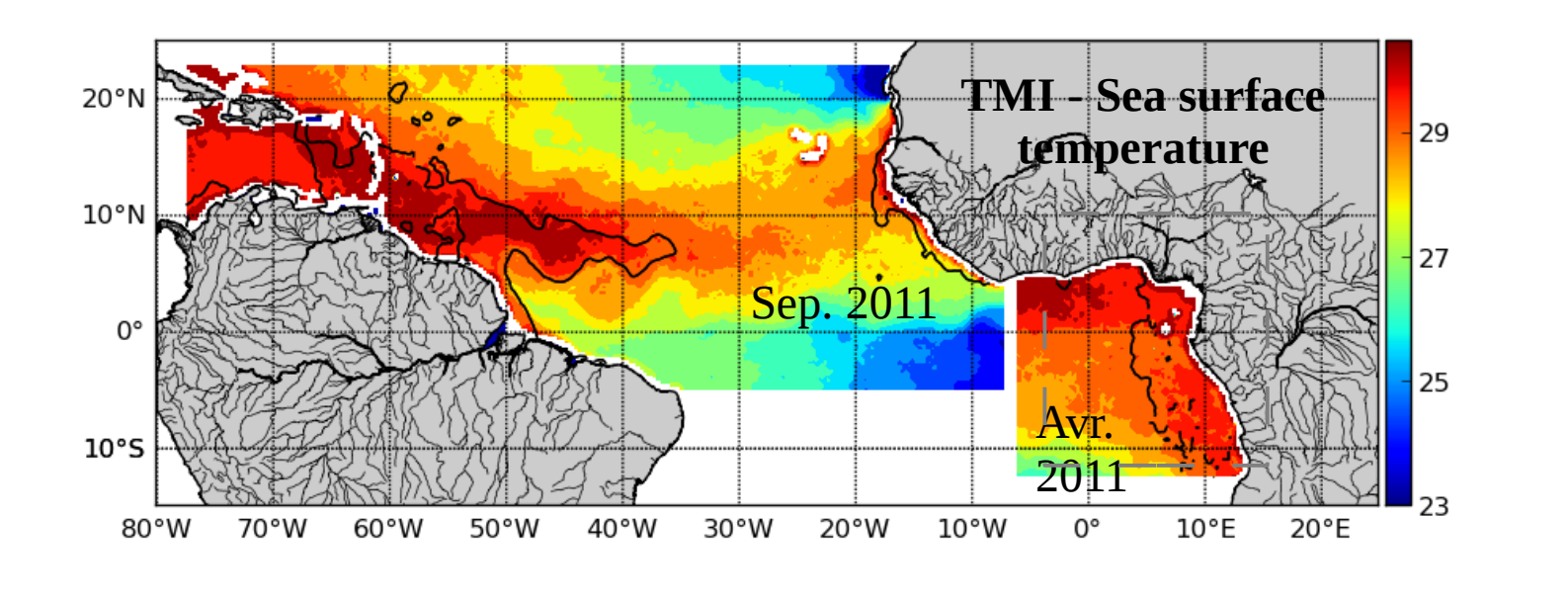
1) Est-ce que les panaches d'eau douce de l'Amazone et de l'Orénoque sont vraiment importants dans le refroidissement de surface induits par les cyclones ?





2) Influence de la distribution de chlorophylle sur le système d'upwelling du Benguela et Sénegal.

Mécanismes



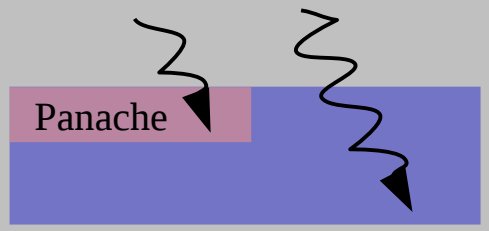
1. La différence de densité entre les eaux du panache et les eaux de subsurface.

→ Limite le mélange vertical et maintient les eaux chaudes en surface

[e.g., Pailler et al. 1999, Foltz et al. 2009, Balagaru et al. 2012]

2. Phytoplancton, matière organique dissoute, sédiments

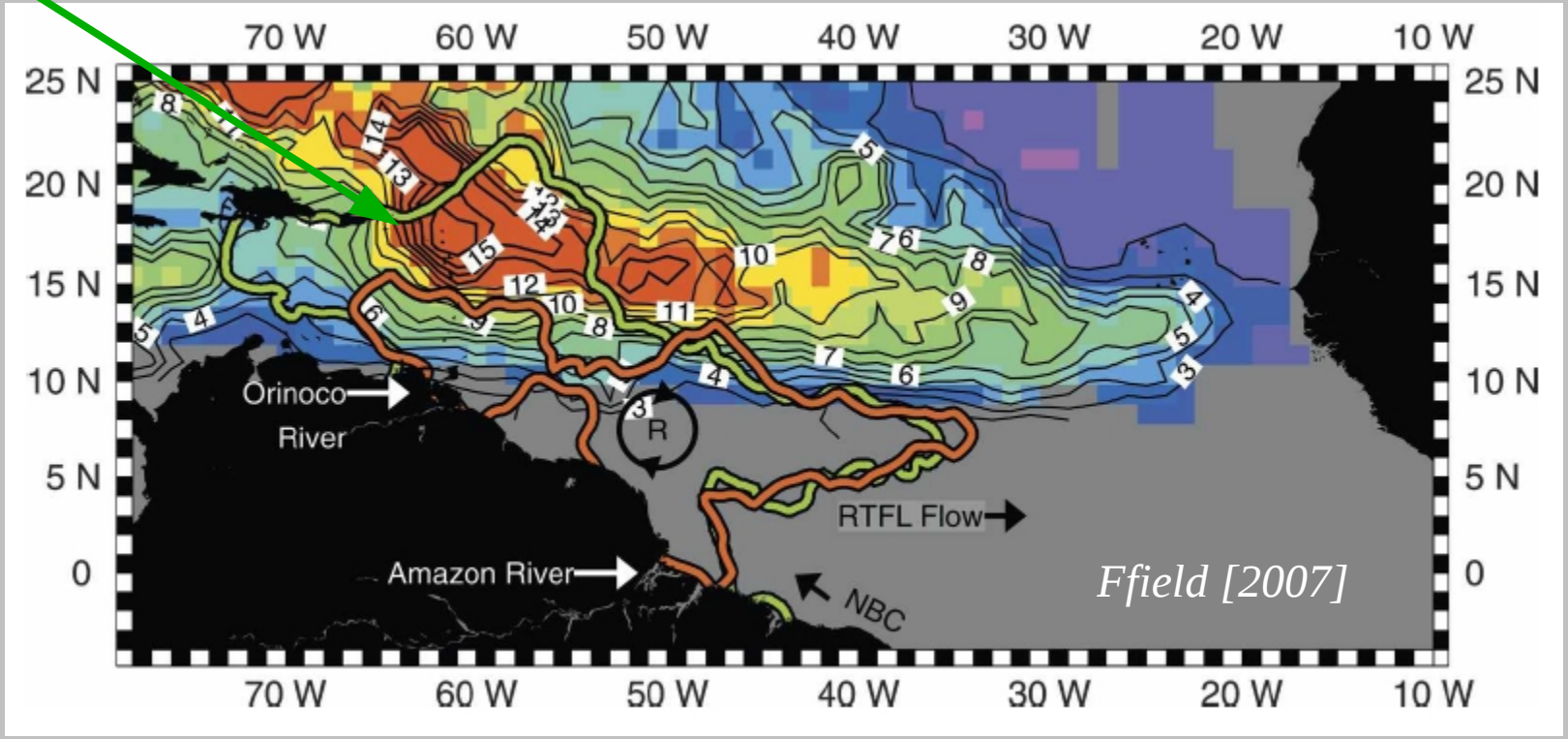
→ Capturent le rayonnement solaire dans les premiers mètres *[Murtugudde et al. 2002, Newinger and Toumi 2015]*



Les cyclones tropicaux (TC) traversent souvent directement le panache

Contour panache SSS 35.4

Trajectoires des tempêtes tropicales et cyclones 1960-2000



Ffield [2007] observe que 68% des cyclones de catégorie 5 dans l'Atlantique sont passés directement sur la région historique du panache sur la période 1960-2000.

→ **Amazone et Orénoque sont-ils des facteurs clefs de l'intensification des cyclones tropicaux dans la région ?**

Panache des rivières = Facteurs clefs de l'intensification des TC ?

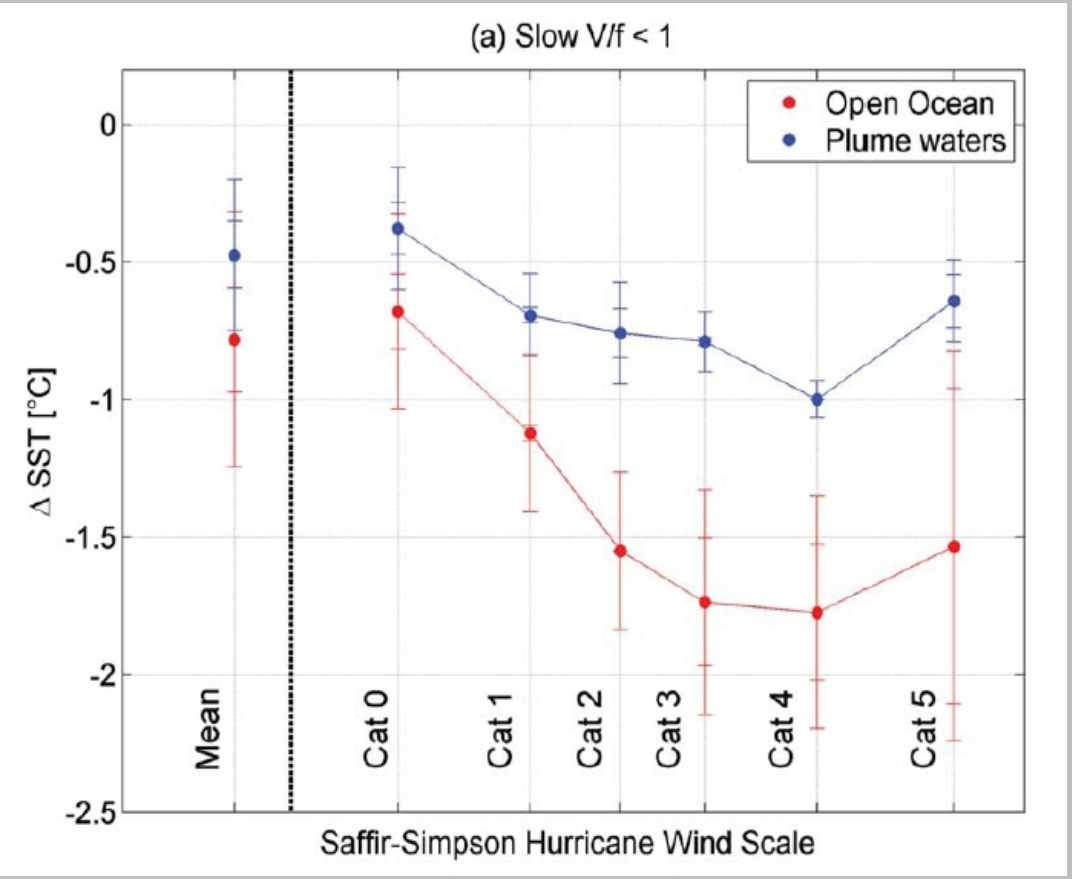
Deux relations causales proposées entre les panaches et la cyclogénèse tropicale :

1) Temperature de surface plus chaude au niveau des panaches → pourrait favoriser le développement des TCs (cf. Vizy and Cook [2010] montrent une forte sensibilité de l'intensité et de la fréquence des cyclones aux anomalies de température dans le panache Amazone-Orénoque)

2) Inhibition du refroidissement de surface induit par les cyclones du fait d'une forte stratification haline et de la présence de couches barrière → intensification des TCs par un affaiblissement du sillage froid (cool wake) [Schade and Emanuel 1999, Balaguru 2012a].

Observations de l'inhibition du refroidissement de surface

Ensemble des trajectoires des cyclones *[Reul et al. 2014]*



→ Refroidissement systématiquement réduit de ~50% dans les eaux du panache en comparaison aux eaux environnantes

Ces différences sont – elles du à un effet de couche barrière ?

Objectifs de l'étude :

1) Clarifier et quantifier l'impact des flux de l'Amazone et l'Orénoque dans la réponse aux cyclones tropicaux.

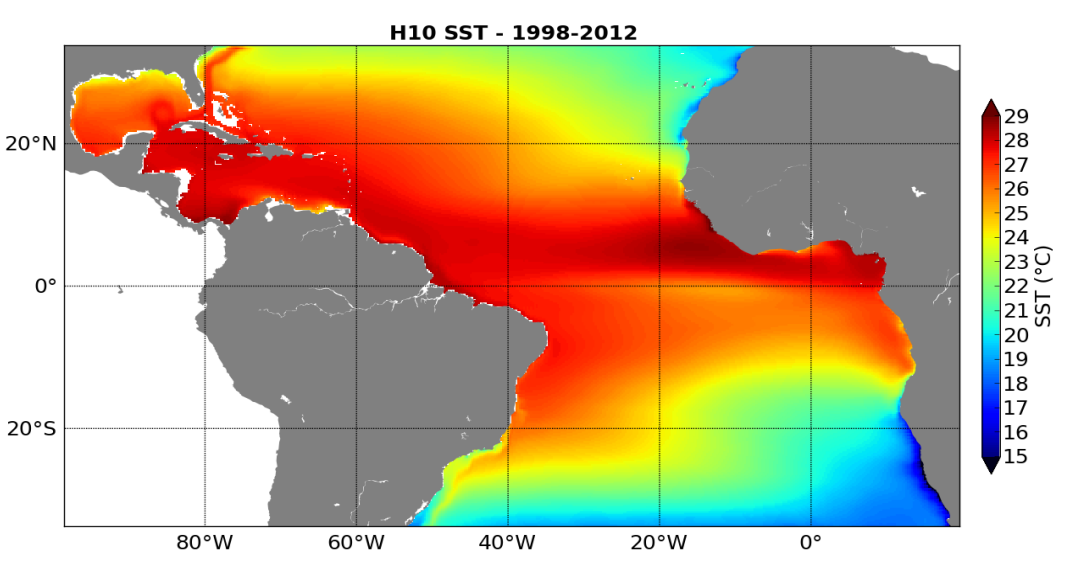
2) Détailler les processus qui sont à l'origine du refroidissement de surface induit par les cyclones tropicaux dans la région du panache de l'Amazone – Orénoque

3) Expliquer la différence de refroidissement entre le panache et les eaux environnantes.

Modèle ocean régional et observations

→ **MODEL OCEAN REGIONAL**

Code : NEMO 3.6
Grille : ORCA025 (1/4°)
N**iveaux verticaux** : 75 (~1m proche de la surface)
Frontières: Réanalyses Journalière/Globale GLORYS2V3
Forçage Atm.: ERA Interim + SW LW and P corrections + Large and Yeager [2009] bulk formula
Periode analysé: 1998 – 2012
Sortie: Moyenne sur 1 jour



Deux experiences : - REF (avec forçages des rivières selon Dai and Trenberth 2002)
- NO-RUNOFF

→ **OBSERVATIONS**

Trajectoires et intensité des cyclones IBTRaCS
Microwave OI SST (TMI+AMSR-E) : ¼ deg
ISAS (Climatologie de T et S basée sur Argo ; Gaillard et al. 2012)
Climatologie MLD et BLT de Boyer Montégut et al 2004, 2007

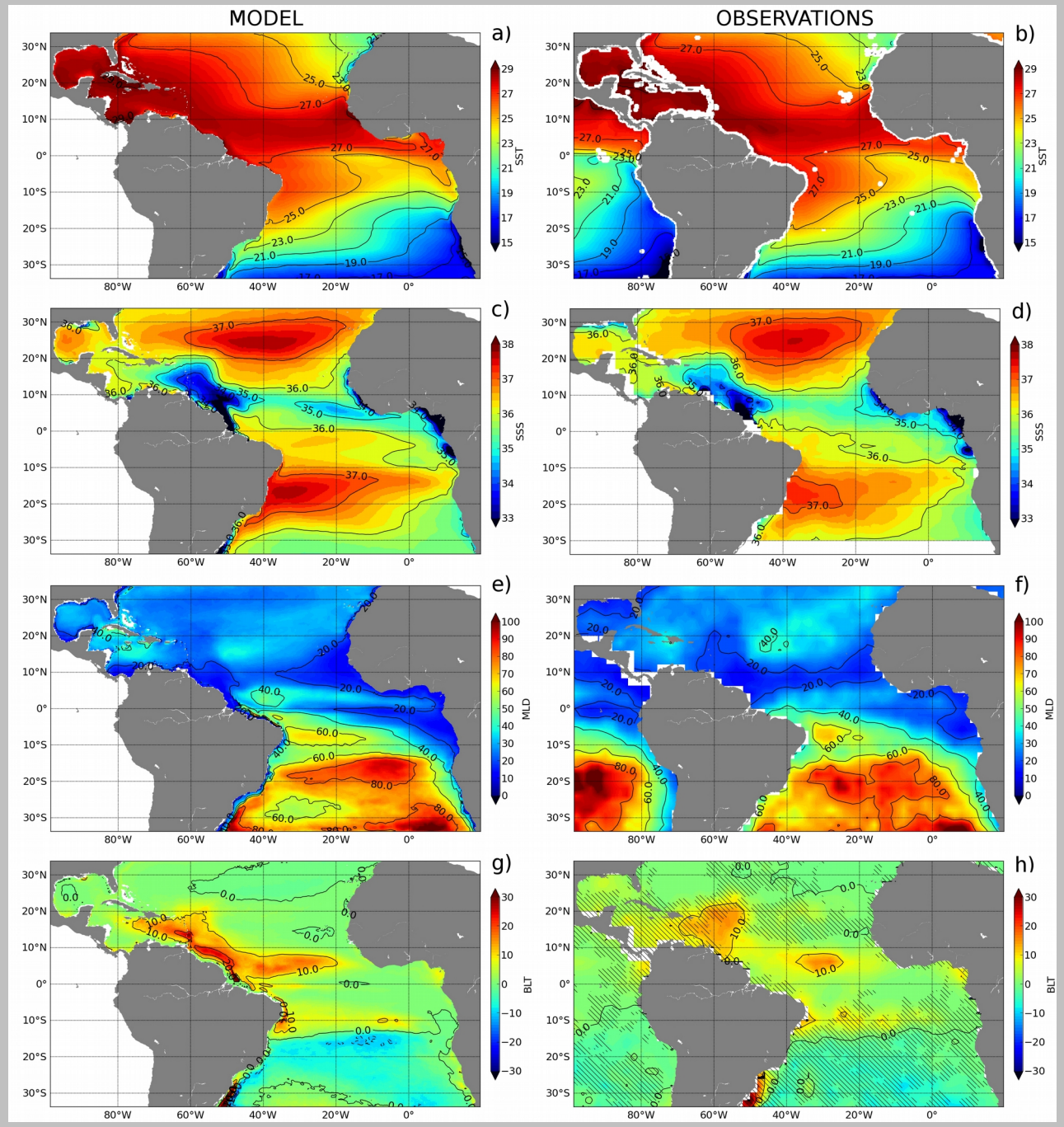
Conditions océaniques en Juin-Novembre

SST

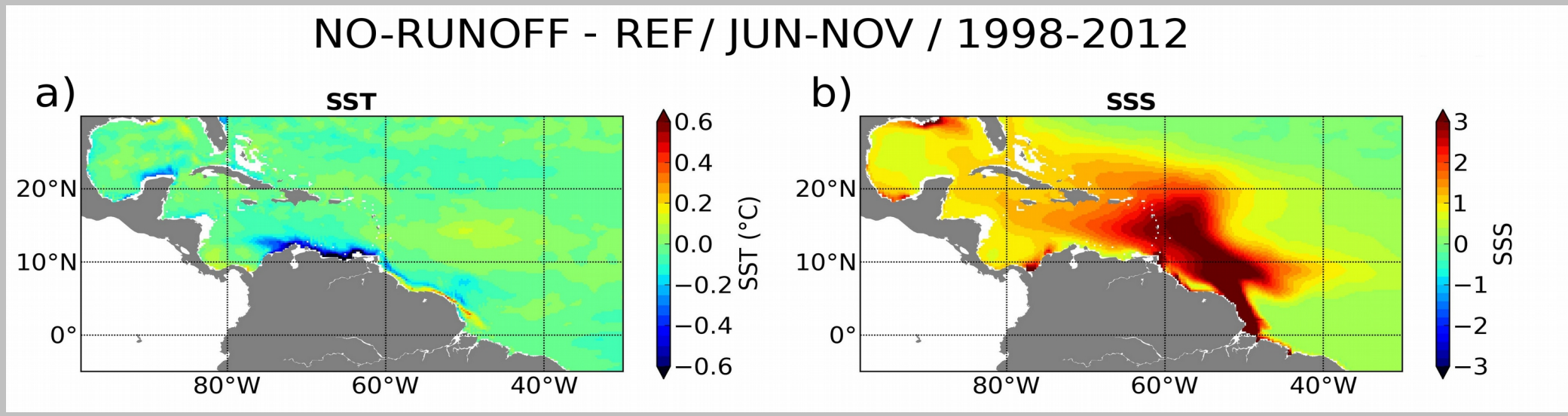
SSS

MLD

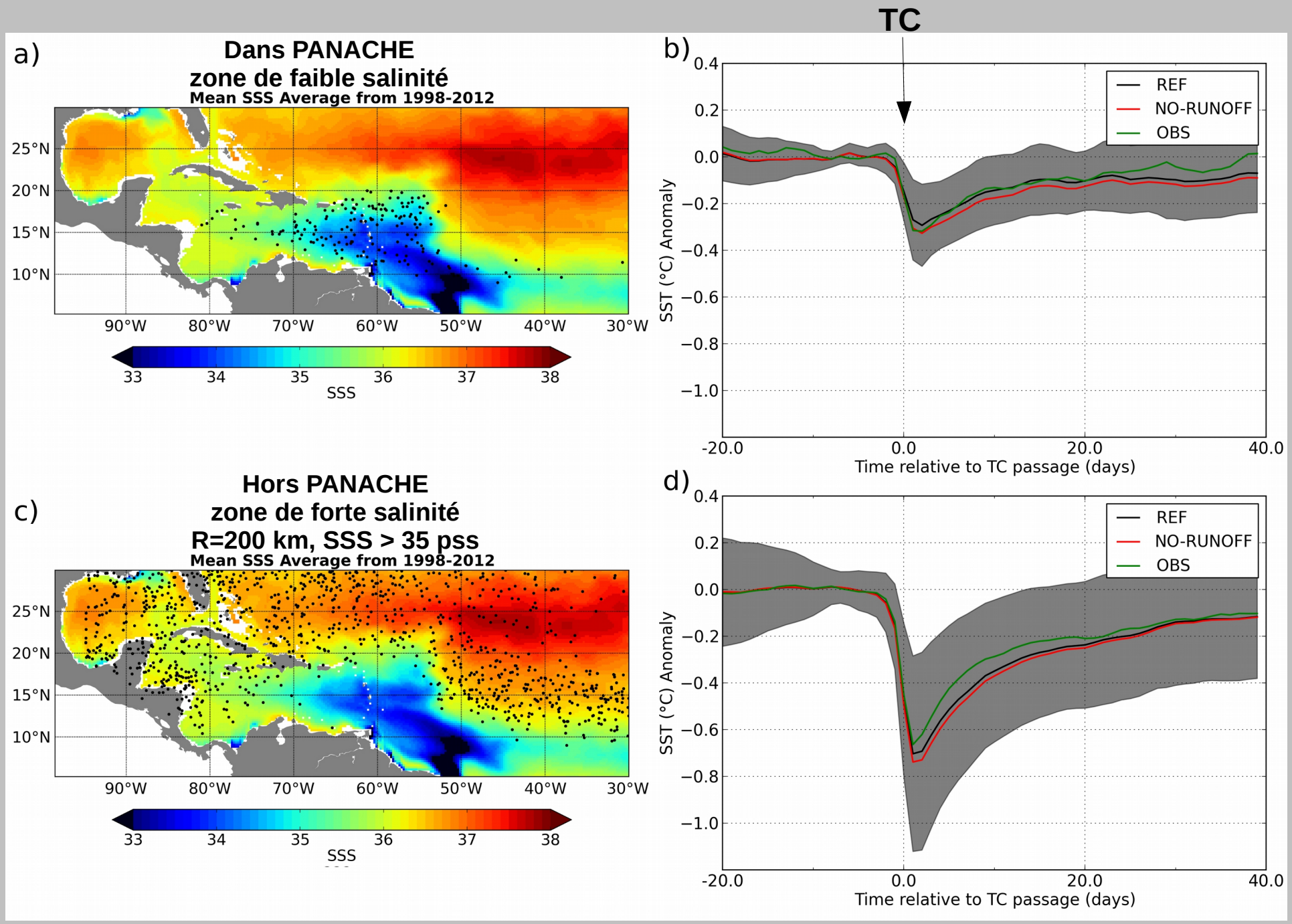
BLT



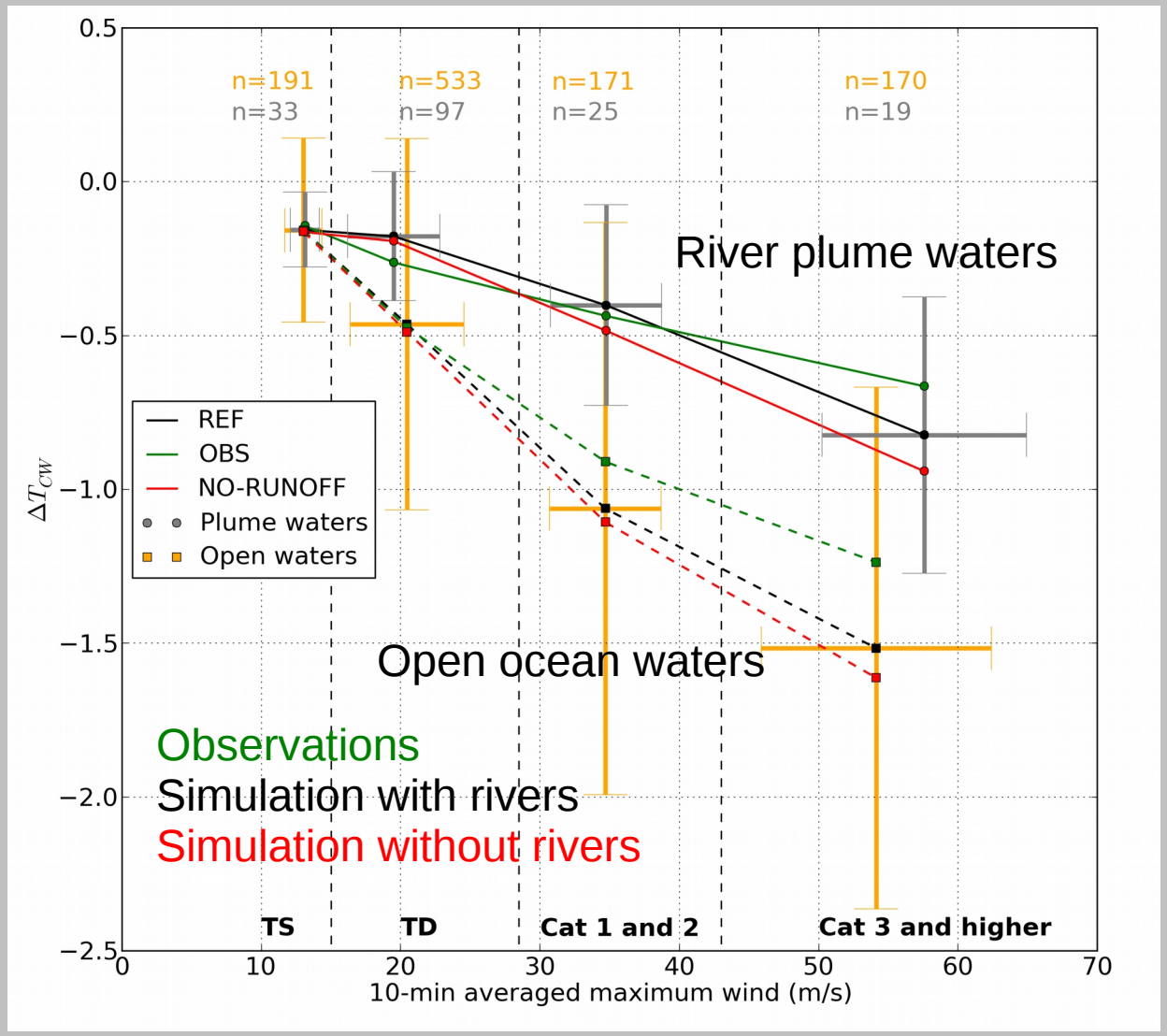
Sensibilité des paramètres océaniques à la présence des rivières



Réponse de l'océan au passage des cyclones



Distribution du maximum de refroidissement moyen de la SST (en °C)



Pas de différence significative entre REF et NORUNOFF (seulement +10% refroidissement sans les rivières)

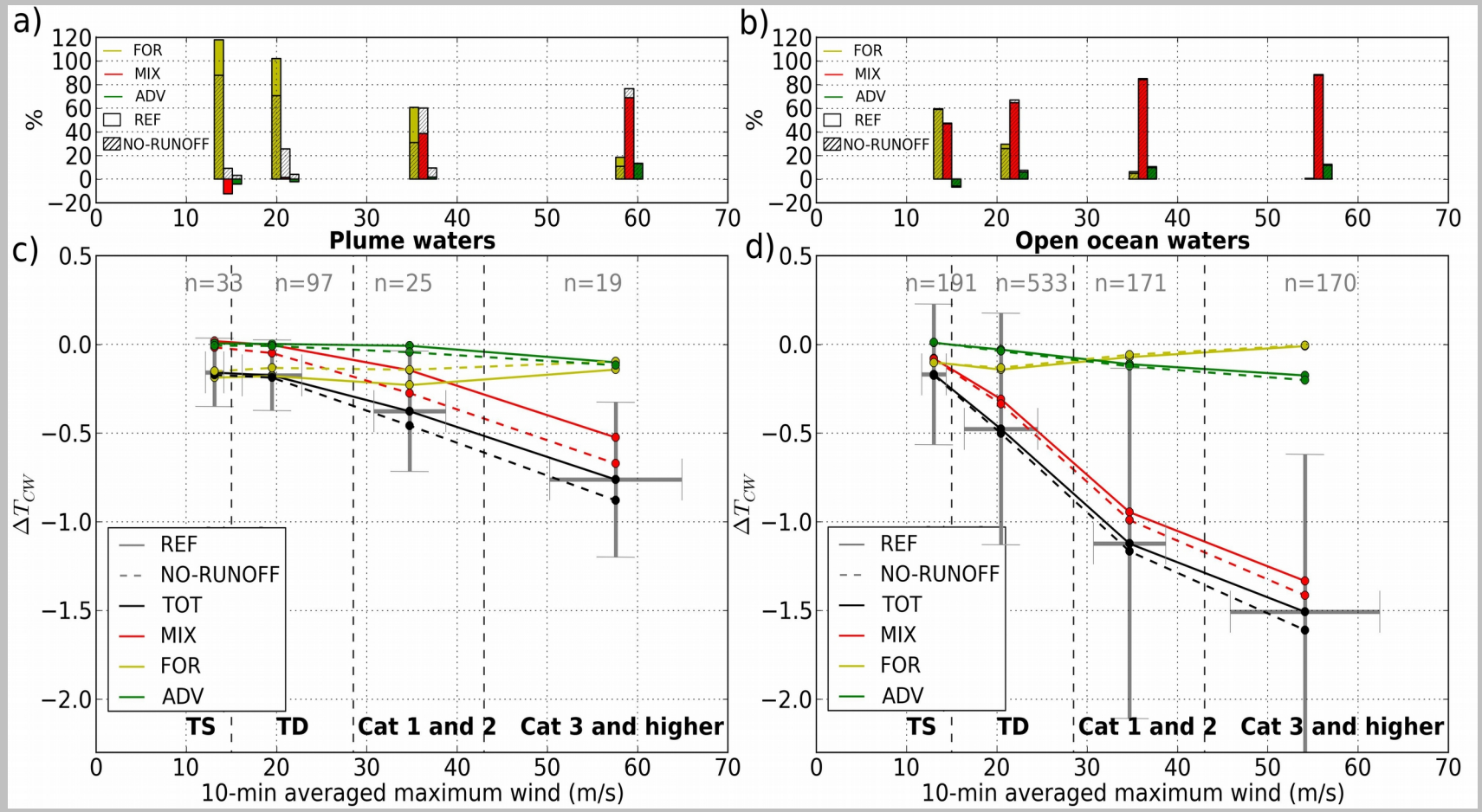
→ La stratification en sel ne peux pas expliquer une différence de 50% du refroidissement entre les eaux du panache et les eaux environnantes.

Processus jouant sur le refroidissement de la couche de mélange ML

Calcul “online” du budget journalier du bilan de chaleur [Menkes et al., 2006] :

$$\partial_t T = -\underbrace{\langle u\partial_x T + v\partial_y T + w\partial_z T\rangle}_{ADV} + \underbrace{\langle D_t(T)\rangle}_{LMIX} + \underbrace{\frac{1}{h}\frac{\partial h}{\partial t}(\langle T\rangle - T_{z=-h}) + \frac{(K_z\partial_z T)_{z=-h}}{h}}_{VMIX} + \underbrace{\frac{Q_{ns} + Q_s(1 - F_{z=-h})}{\rho_0 C_p h}}_{FOR}$$

Total | Advection | Mélange Vertical | Flux Air-Mer



Eaux du panache | Eaux hors panache

Pourquoi la contribution du mélange vertical au refroidissement de surface est plus faible dans la région du panache (dans les deux expériences) ?

Deux métriques sont utiles :

1) Cooling Inhibition index (CI; Vincent et al. 2012)

$$CI = \left[\Delta E_p \left(-1^{\circ} C \right) \right]^{1/3} \qquad \Delta E_p \left(\Delta T \right) = \int_0^{h_m} \left(\rho_f - \rho_i \left(z \right) \right) gz dz$$

Cet indicateur est un proxy de la quantité d'énergie nécessaire pour refroidir l'océan de surface de 1 degré, uniquement par mélange vertical.

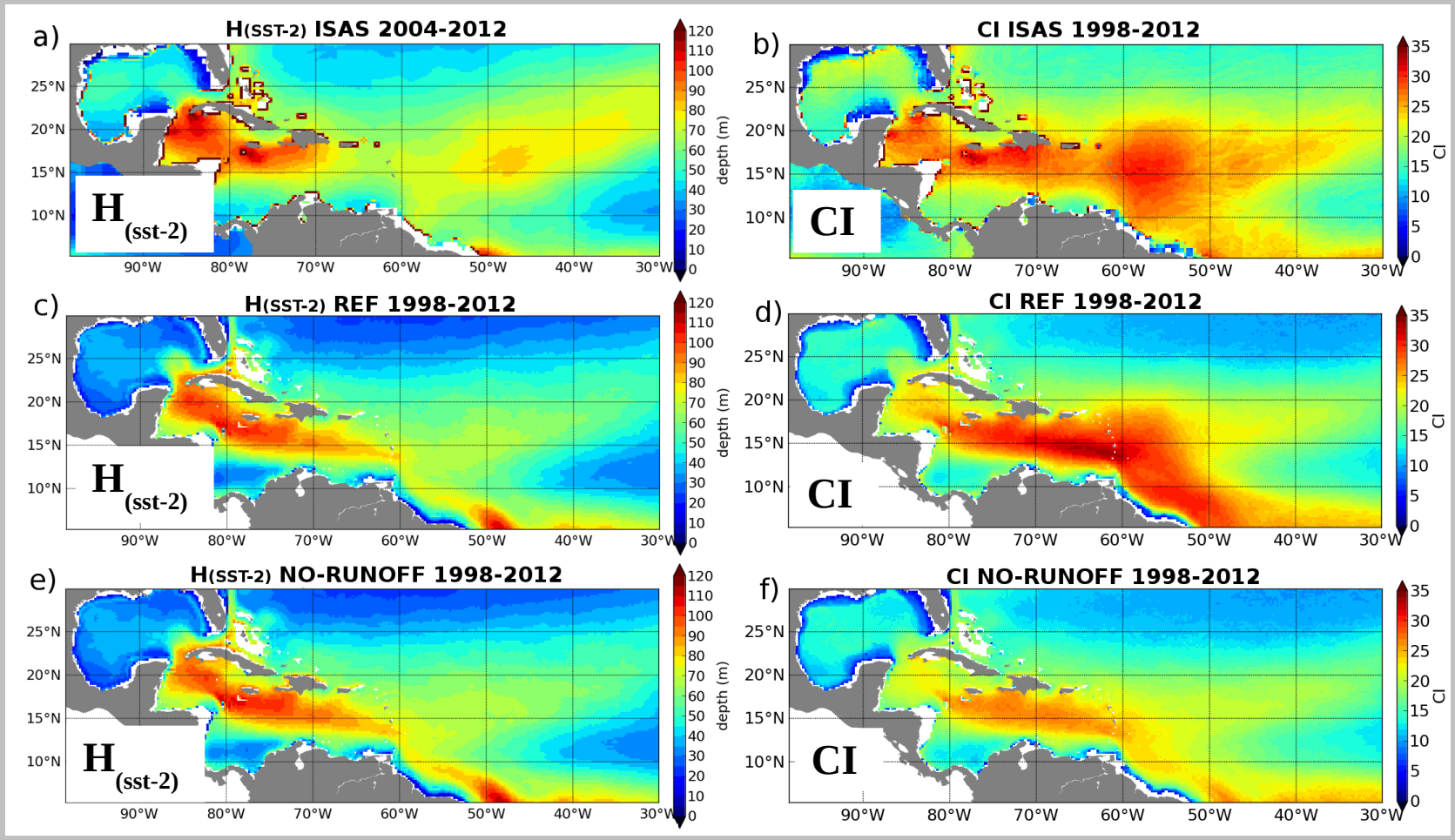
2) Profondeur à laquelle la température de l'océan est 2ºC inférieur à celle de la SST : $H_{(SST-2)}$

Pourquoi la contribution du mélange vertical au refroidissement de surface est plus faible dans la région du panache (dans les deux expériences) ?

OBS

REF

NO RUNOFF

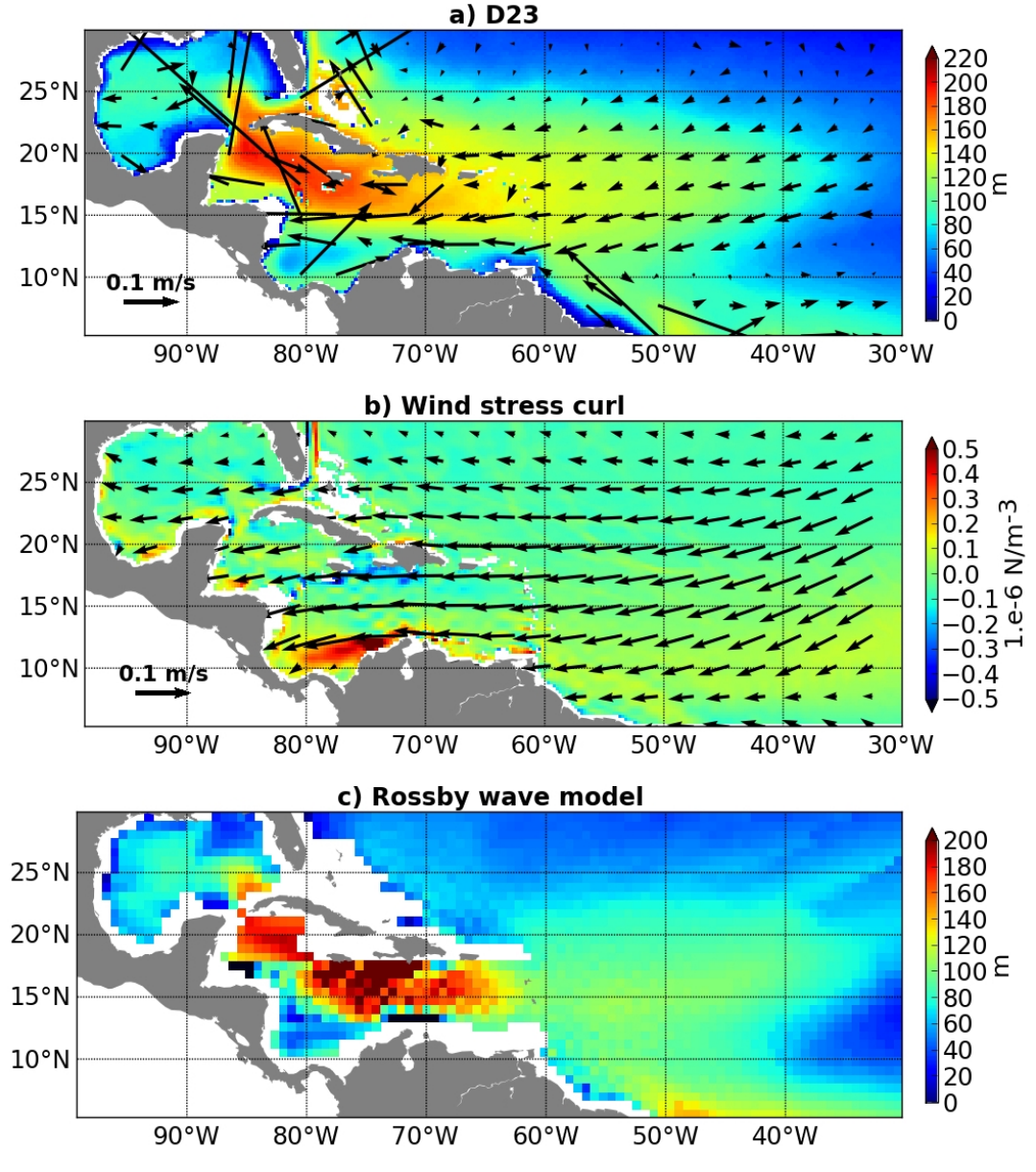


→ Faible sensibilité de H(sst-2) au rivières !

→ 20% de diminition du CI sans les rivières

Fort contenu thermique dans le panache par rapport au nord de 20°N.

Thermocline profonde dans la zone du panache controlée par le forçage du vent



Profondeur de l'isotherme 23°C

Rotationnel de la tension du vent

Profondeur de la thermocline determiné par un modèle d'ondes de Rossby linéaire [Kessler 2006]

Conclusions

→ Les résultats du modèle suggèrent que l'apport des rivières et la présence de couches barrière conduit à une diminution de seulement 10% du refroidissement de la SST induit par les cyclones.

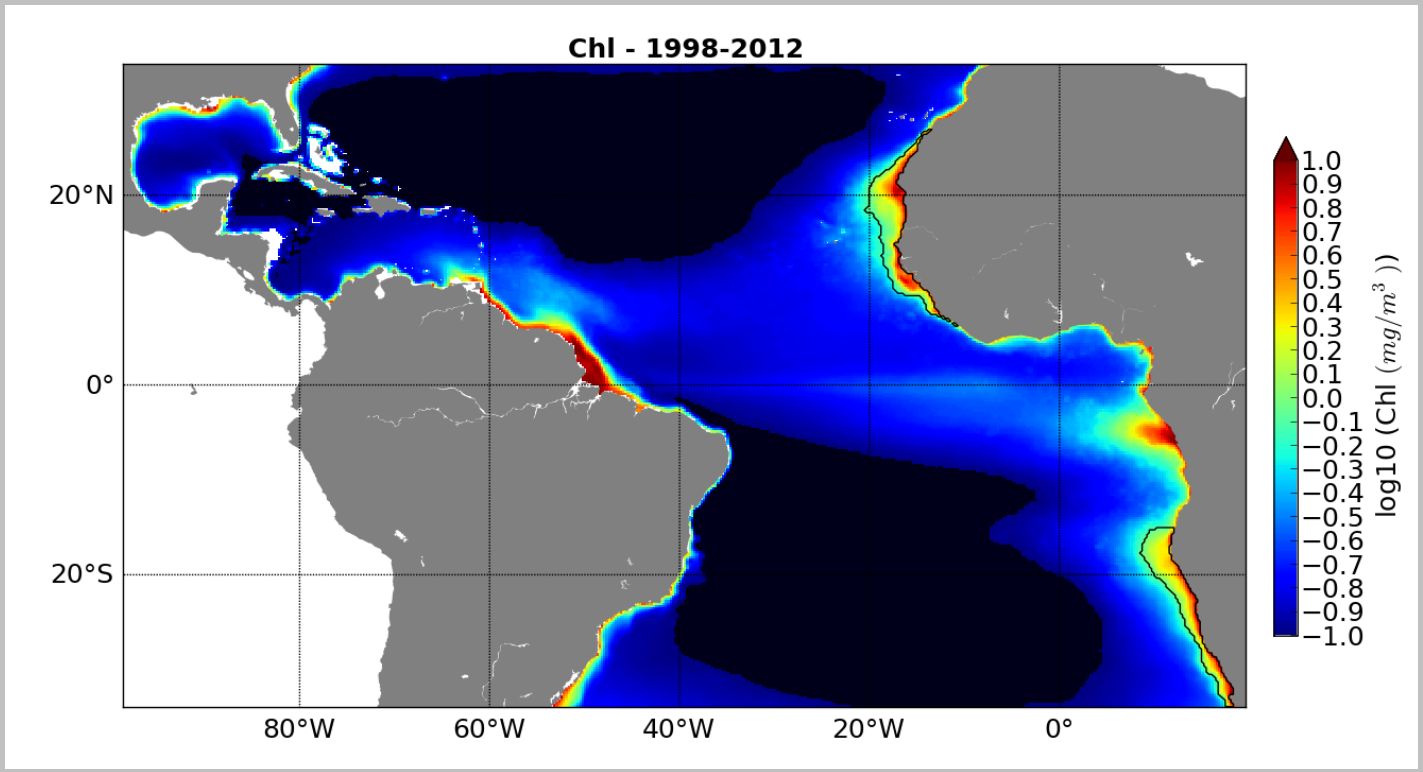
→ Les panaches des rivières de l'Amazone et l'Orénoque ne semblent pas contrôler l'amplitude du refroidissement de la SST induit par les cyclones, contrairement aux publications récentes de Balaguru et al. 2012, Grodsky et al. 2012, Reul et al. 2014.

→ La stratification en température joue le rôle principal, expliquant les différences observées de refroidissement entre les eaux du panache et les eaux environnantes.

Hernandez et al., Do the Amazon and Orinoco freshwater plumes really matter for hurricane-induced ocean surface cooling ? In review for JGR ocean.

2 - Influence de la distribution de chlorophylle sur le système d'upwelling du Benguela et Sénegal.

L'absorption de la lumière par la chlorophylle modifie la distribution du réchauffement radiatif dans l'océan superficiel



Implication sur la structure thermique et dynamique de l'Atlantique Tropical ?

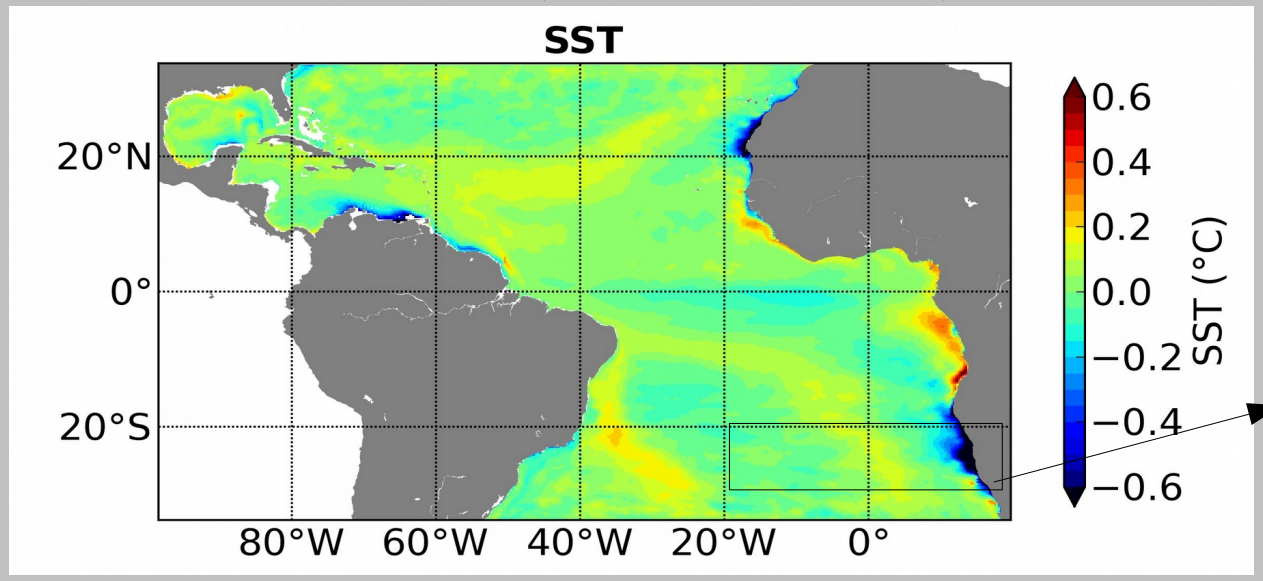
- REF: Chlorophylle constante en surface à 0.05 $mg.m^{-3}$
- CHL-CLIM: Climatologie mensuelle de chlorophylle OSS2015 GlobColour + modèle RGB + Modèle Morel and Berthon, 1989.

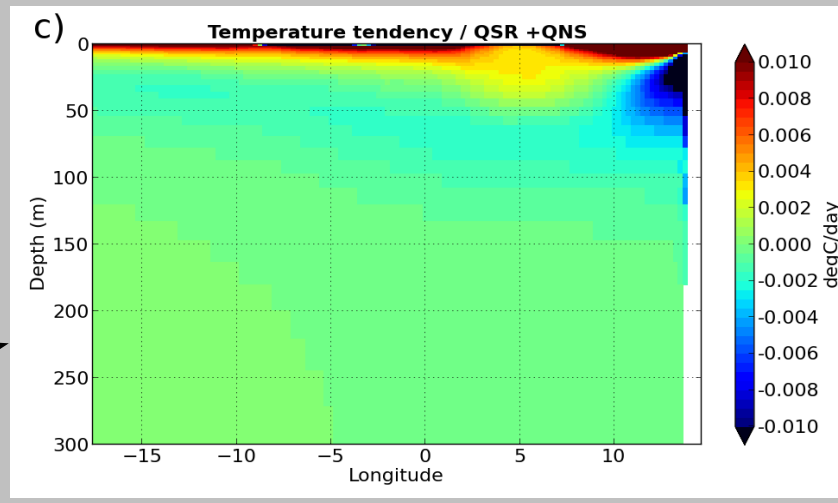
Impact sur les températures

Réchauffement : panaches

Refroidissement : zones upwelling

Anomalies SST (CHL_CLIM - REF)

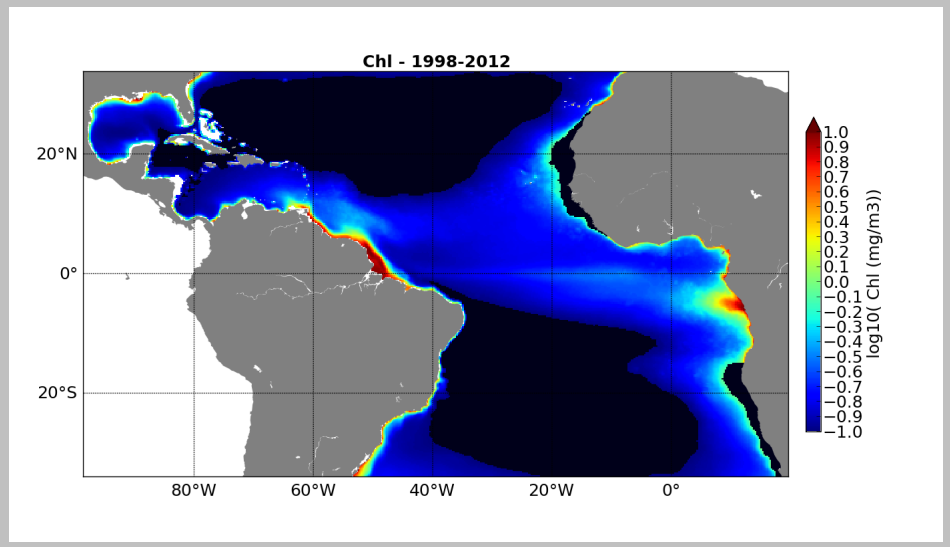




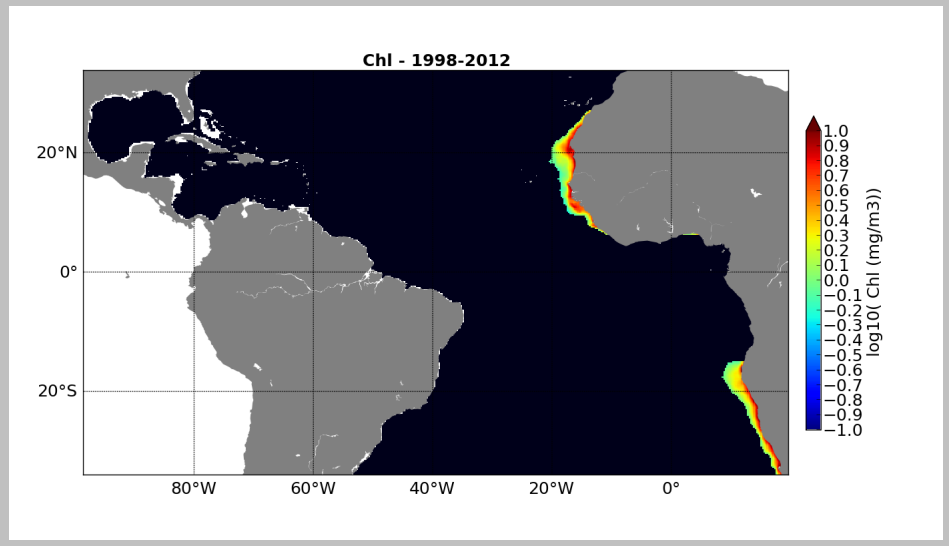
Section Benguela – 27ºS : 20ºS

Quelle est l'origine de l'anomalie froide dans les systèmes d'upwelling?

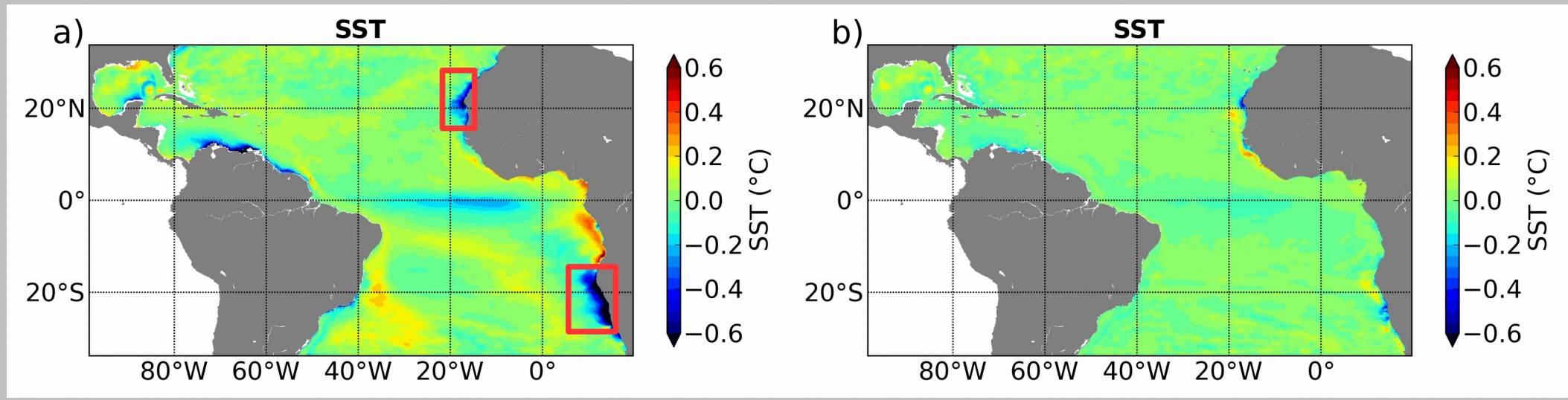
Origine locale ou non locale de l'anomalie de température?



SIMU1 - REF



SIMU2 - REF

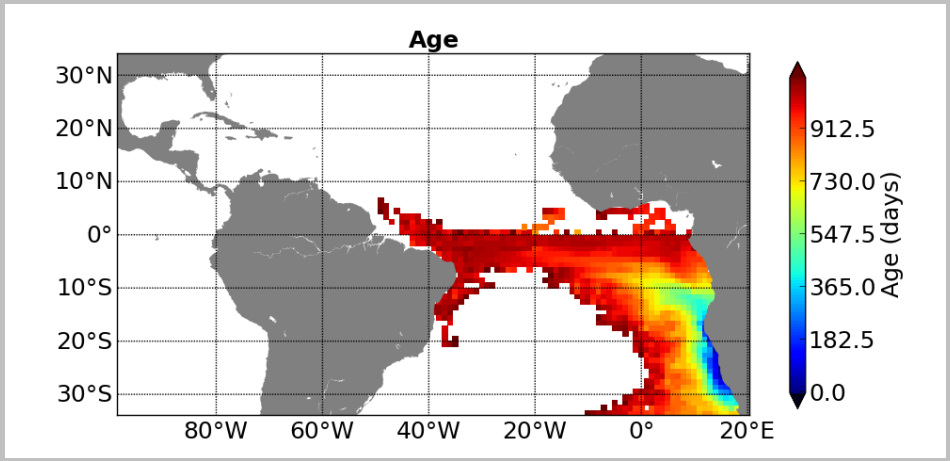


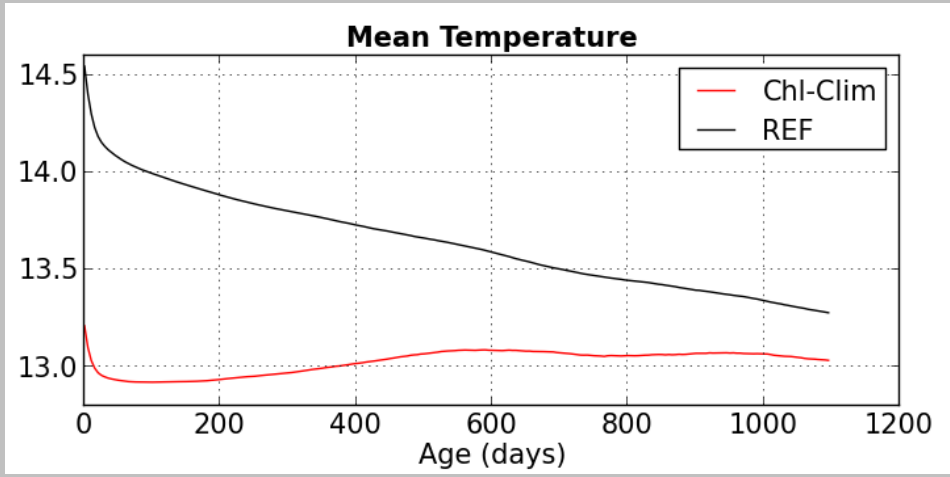
Origine lointaine de l'anomalie de SST

Faible influence de la chlorophylle dans le systeme d'upwelling (malgrés les fortes concentrations) expliqué par le fort mélange turbulent dans le systeme d'upwelling.

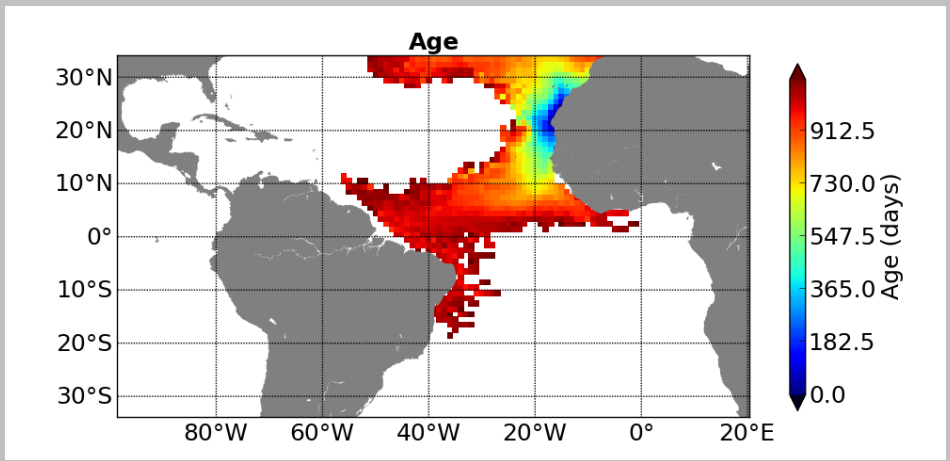
ARIANE: 3 années d'intégration “backward” de particules

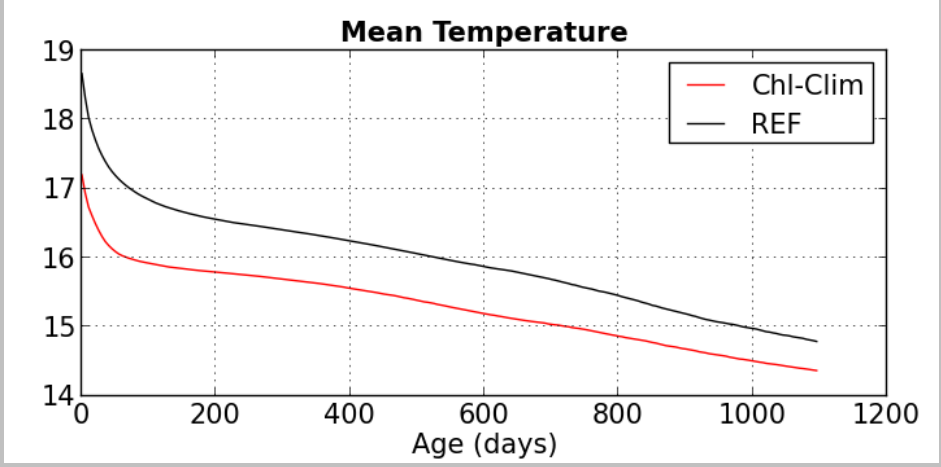
BENGUELA





SENEGAL





→ Les anomalies de température se forment avant l'arrivée dans le système d'upwelling.

Conclusions

→ La prise en compte de la chlorophylle refroidit les upwellings de l'Atlantique Tropical.

→ L'effet non local semble plus important que l'effet local.

→ Questions ouvertes: Où se forme l'anomalie?

Impact de l'interannuel ?

Conclusions

→ La prise en compte de la chlorophylle refroidit les upwellings de l'Atlantique Tropical.

→ L'effet non local semble plus important que l'effet local.

→ Questions ouvertes: Où se forme l'anomalie?

Impact de l'interannuel ?

Merci !

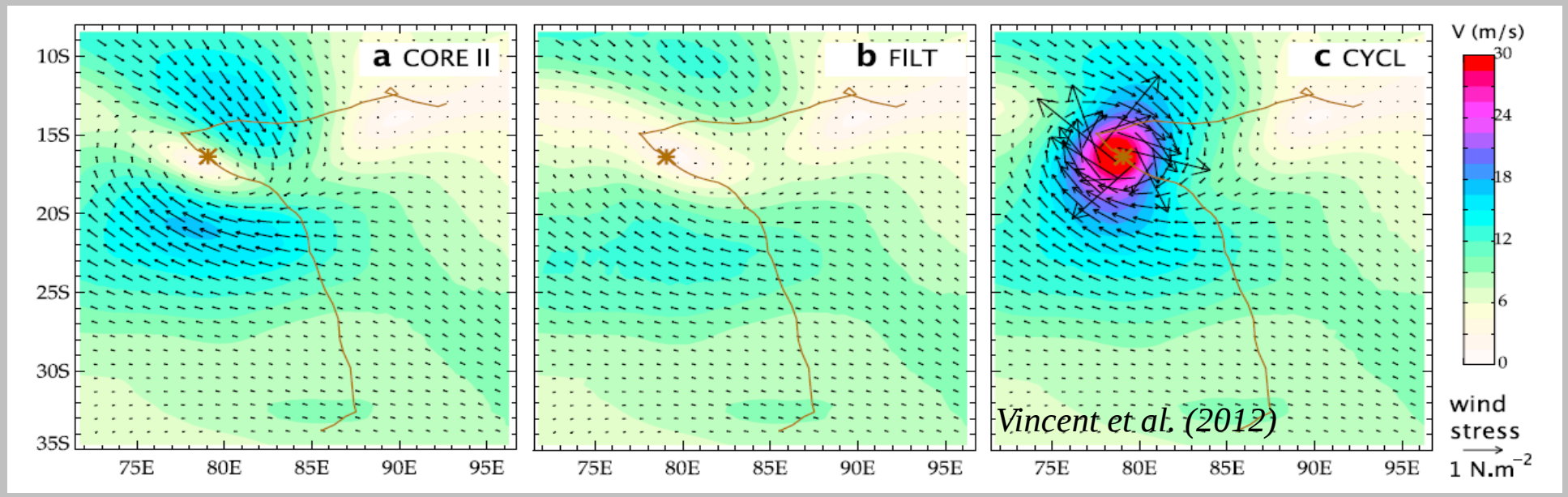
Des questions ?

Hurricane forcing strategy (1/2)

Hurricane winds poorly represented in reanalysis products (COREII, ERA-I) + linear interpolation of the forcing at each model time step erodes fast moving wind patterns

Our hurricane forcing strategy follows the method described in Vincent et al. (2012) :

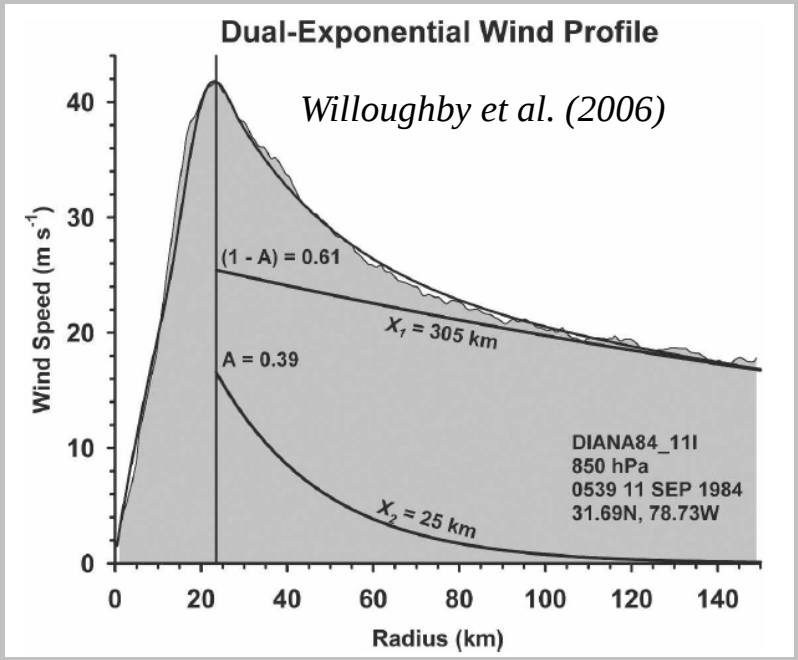
→ Hurricanes position and intensity are from IBTRaCS (6h and 10mn-sustained wind product)
→ Filter out the residual TC signature (11-day running mean within 600km around each vortex)
→ At <u>each time model time step</u> (300 seconds) a TC wind pattern is superimposed



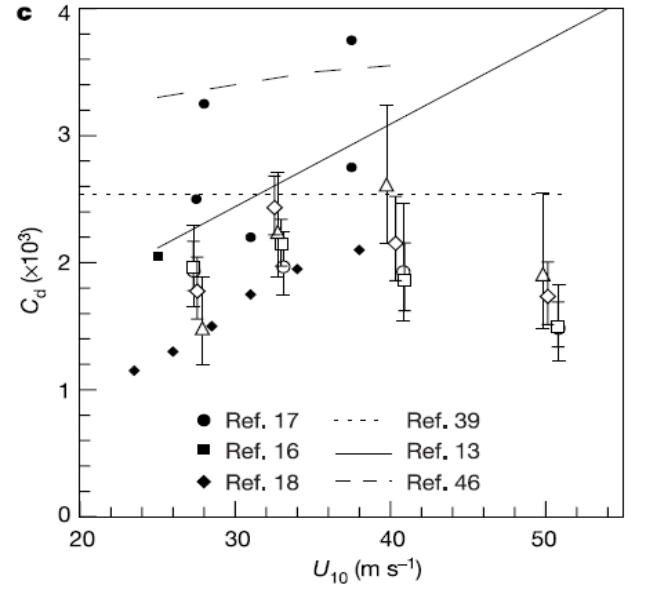
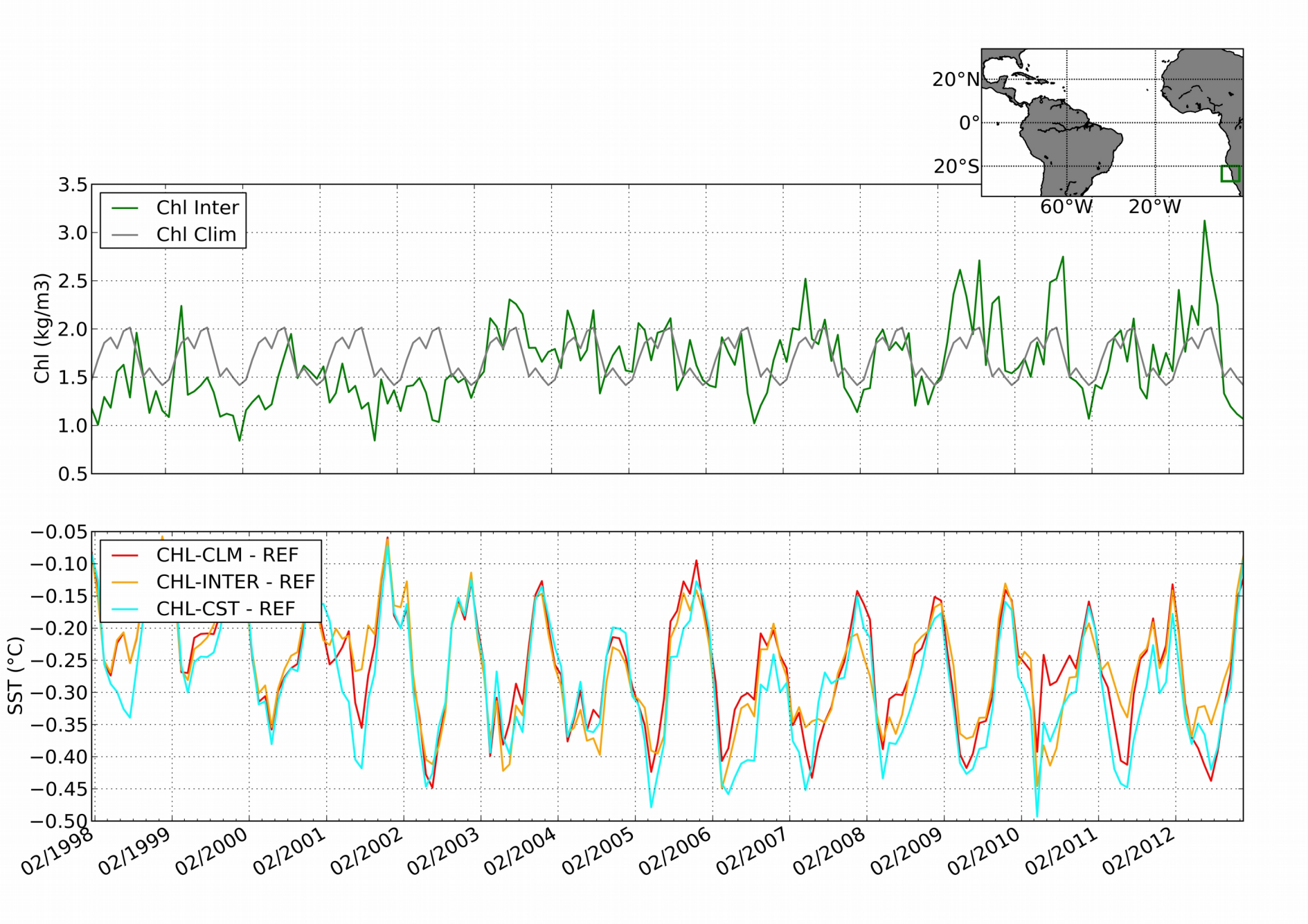
Ensure that both temporal and spatial evolution of the TC are captured in the model !

Hurricane forcing strategy (2/2)

→ **TC wind pattern computed using Willoughby et al. [2006] idealized vortex** (based on a statistical fit to observed TC winds)



→ **Modified drag coefficient for u10 > 33m/s** in order to mimic the observations by Powel et al. [2003] which show a reduction of the drag coefficient at very high wind speed.



3.3 – Seasonal and interanual variability