



Evolution des tendances du climat passé et futur

Sandrine Berger

Stage effectué au Cerfacs
sous l'encadrement
d'Emilia Sanchez-Gomez
et Lola Corre



Contexte

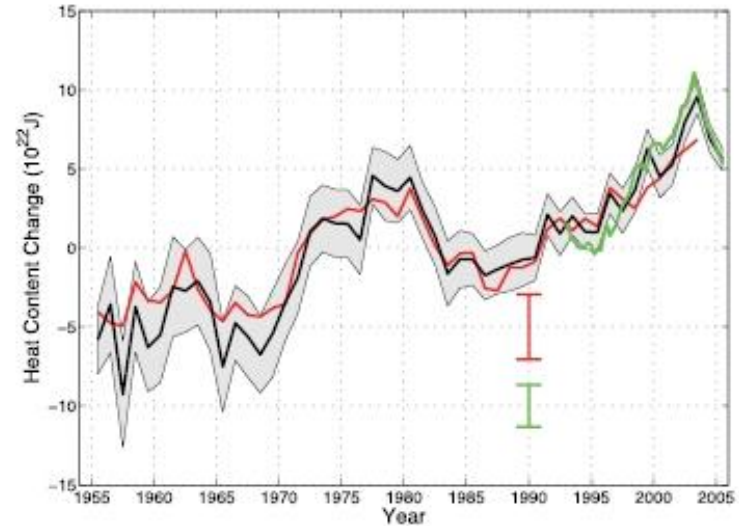
- Réchauffement global dans l'océan entre 0 et 700 mètres (IPCC 2007)
- Variations dues soit à la variabilité interne soit à des facteurs externes
- Mais encore beaucoup d'incertitudes notamment aux hautes latitudes et dans l'océan profond

Sources d'incertitude :

- Observations inhomogènes dans l'espace et dans le temps
- Courte échelle de temps des observations
- Océan profond très peu observé

Outils

- Modèles
- Réanalyses



Problématiques

- Caractérisation des tendances de température du climat présent (1960-2010)
- Validation des données fournies par la réanalyse et les modèles étudiés
- Analyse du réchauffement climatique de l'océan de subsurface et de l'océan profond pour une projection climatique

Plan

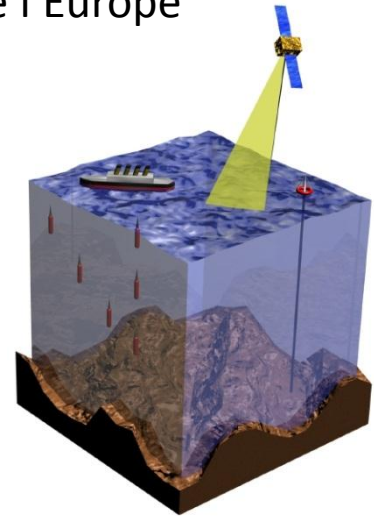
- I. Données utilisées
- II. Démarche employée
- III. Variabilité océanique de la température au cours du XX^o siècle
- IV. Projection climatique pour la fin du XXI^o siècle

I. Données

Observations

Appareils de mesure

- Premières mesures de température de surface au *XVIII^e* siècle effectuées par les navires marchands
- MBT (Mechanical BathyThermograph)
- XBT (eXpendable BathyThermograph)
- CTD (Conductivity Temperature Depth) et leurs prédécesseurs
- Capteurs déployés sur des bouées ancrées des réseaux TAO/TRITON et PIRATA dans les tropiques et dans des eaux peu profondes de l'Amérique du Nord et de l'Europe
- Profileurs du projet international ARGO (3000 appareils en 2007)



I. Données

Observations

Traitement des données

- Les relevés sont regroupés dans différentes bases de données. Les principales de cette étude sont (WOD05 et WOD09)
- Biais de certains appareils → XBT
- Contrôle qualité : trouver l'équilibre entre l'élimination des mauvaises données et la conservation des bonnes
- Analyse objective : remplissage statistique

Jeux utilisés dans le cadre de cette étude

- WOA09 (Levitus et al., 2009)
- ISHII 2008 (Ishii et al., 2008)
- EN3 (Ingleby et al., 2005)
- EN3 Corrigé

I. Données

Le modèle d'océan NEMO

- Développé en collaboration par le CNRS, Mercator-ocean, le UK Met Office et NERC-NOCS
- Permet l'étude des processus océaniques, de l'évolution de l'océan et de ses interactions avec les autres composantes du climat

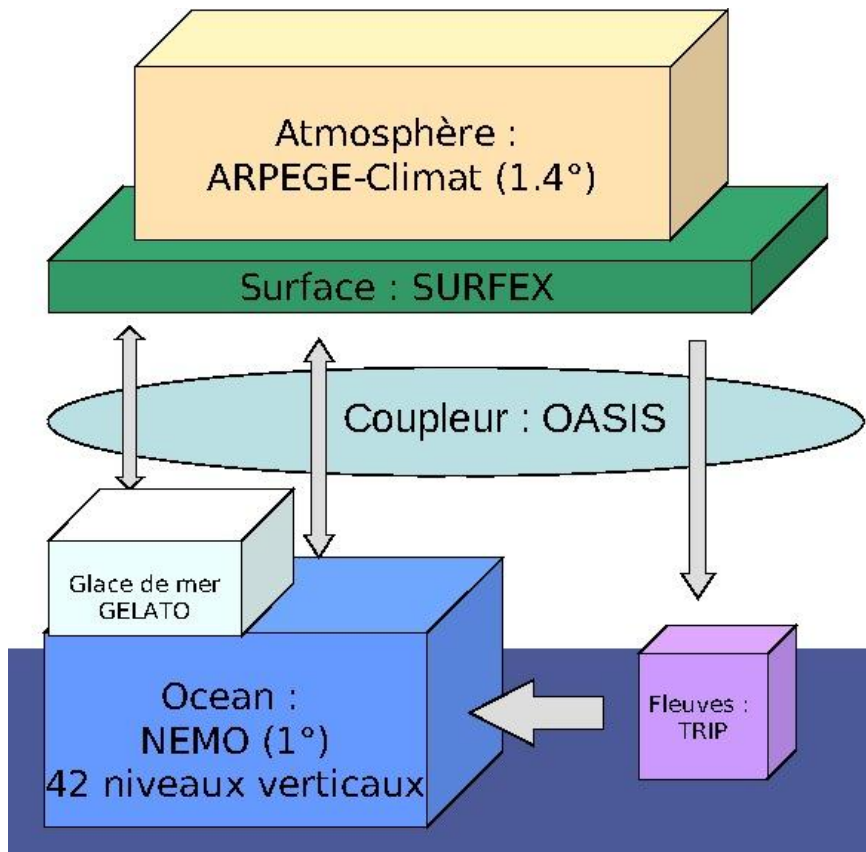
La grille ORCA 1



- Résolution de 1°
- 42 niveaux verticaux allant de 0 à 5000 mètres de plus en plus espacés à mesure que la profondeur augmente
- Ligne de recouvrement au pôle Nord → pour éviter que les méridiens ne convergent en un point où les calculs sont impossibles
- Grille raffinée entre les tropiques → permet la simulation de phénomènes de plus petite échelle

I. Données

Le modèle couplé CNRM-CM5



Forçages externes

- D'origine naturelle : solaire, volcanisme
- D'origine anthropique : émission de GES, aérosols

Initialisation

- Océan au repos
- Spin-up de 200 ans → équilibre
- Simulation de contrôle de 1000 ans (forçages extérieurs de 1850)

I. Données

Le modèle couplé CNRM-CM5

Simulation

- Réalisation d' un ensemble de 10 membres (un seul est étudié ici)
- Période historique (1850-2008)
- Projection climatique sur la période future (2008-2100)

Particularité

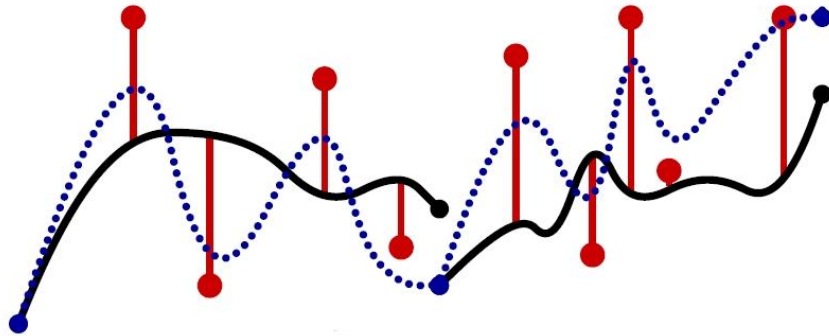
- Ne respecte pas la chronologie des variations internes observées puisqu'elle a sa propre évolution en fonction des échanges entre les différentes composantes
- Permet d'étudier les phénomènes mis en jeu et les tendances climatiques globales en réponse à des forçages externes

Le modèle NEMO en configuration forcée (NEMO FORCE)

- Modèle de glace de mer : LIM
- Pas d'échange bilatéral → réaction de l'océan face à des forçages atmosphériques
- Forçages réalisées par DRAKKAR et issus de la réanalyse ERA40

I. Données

La réanalyse NEMOVAR



Principe de la réanalyse

- Pour obtenir des résultats les plus proches possibles de la réalité
- Correction de la trajectoire d'un modèle par un jeu de données (relations statistiques)

NEMOVAR

- Développé par le ECMWF et le CERFACS
- Issu de l'assimilation des profils de température et de salinité du jeu EN3 Corrigé par le modèle NEMO
- Forçages externes issus de la réanalyse d'atmosphère ERA40 puis ERA-INTERIM

II. Démarche

Contenu de chaleur

$$OHC = \int_a^b \rho c_p T(t, lat, lon, z) dz$$

Où ρ est la masse volumique de l'eau océanique et C_p sa capacité calorifique

Tendances linéaires

- Approximation de la température de la forme $T = at + b$
- $a > 0 \rightarrow$ augmentation de la température au cours du temps
- $a < 0 \rightarrow$ diminution de la température

Différence entre climat futur et climat présent

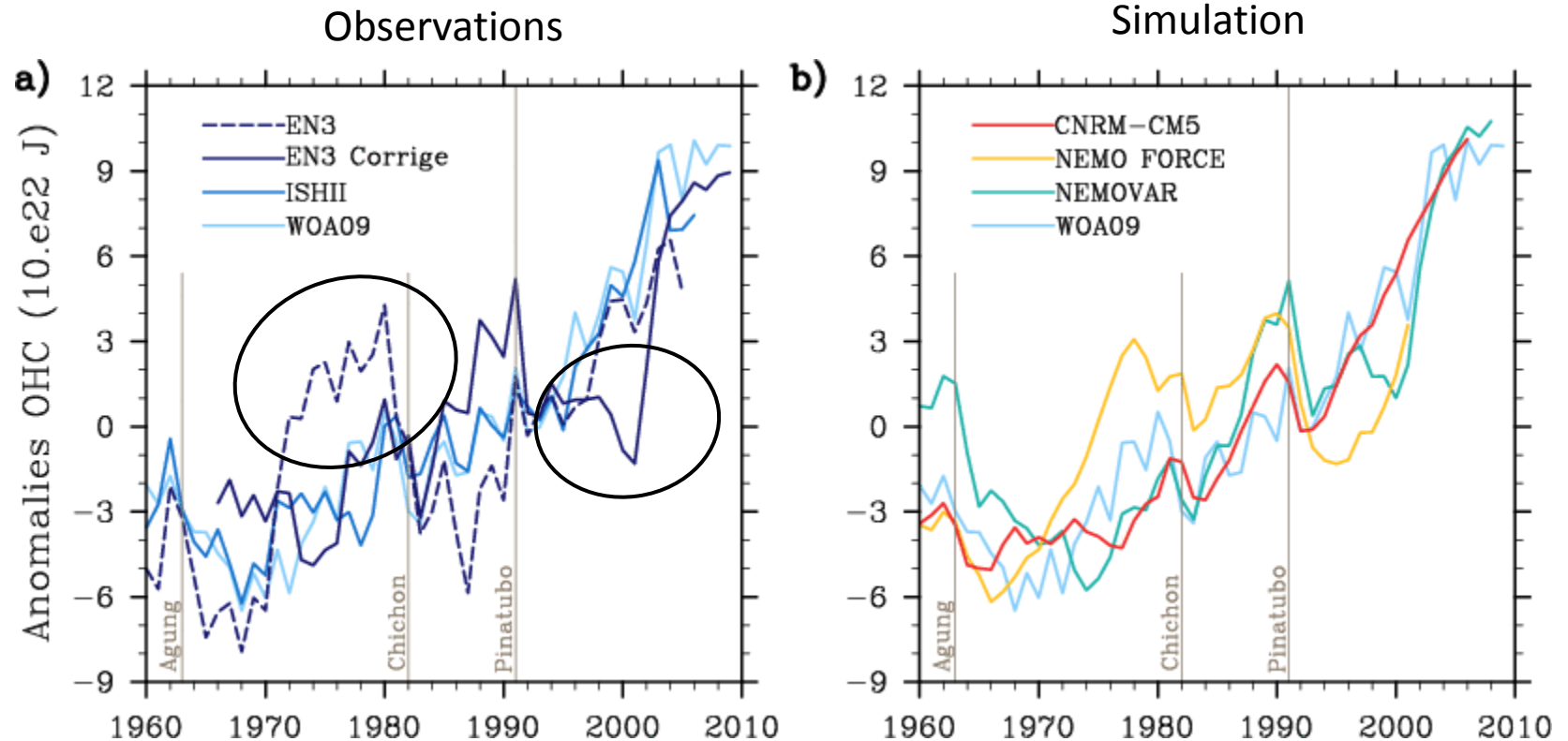
- On s'intéresse aux changements par rapport au climat d'aujourd'hui
- $T_{moy}(2070-2099) - T_{moy}(1970-1999)$

Variabilité de la température de l'océan au cours du XX^o siècle

Levitus et al. (2005) estiment que durant la dernière moitié du XX^o siècle, plus de 80% de l'augmentation de l'énergie emmagasinée par le système climatique en réponse aux forçages anthropiques s'est accumulée dans les 700 premiers mètres de l'océan

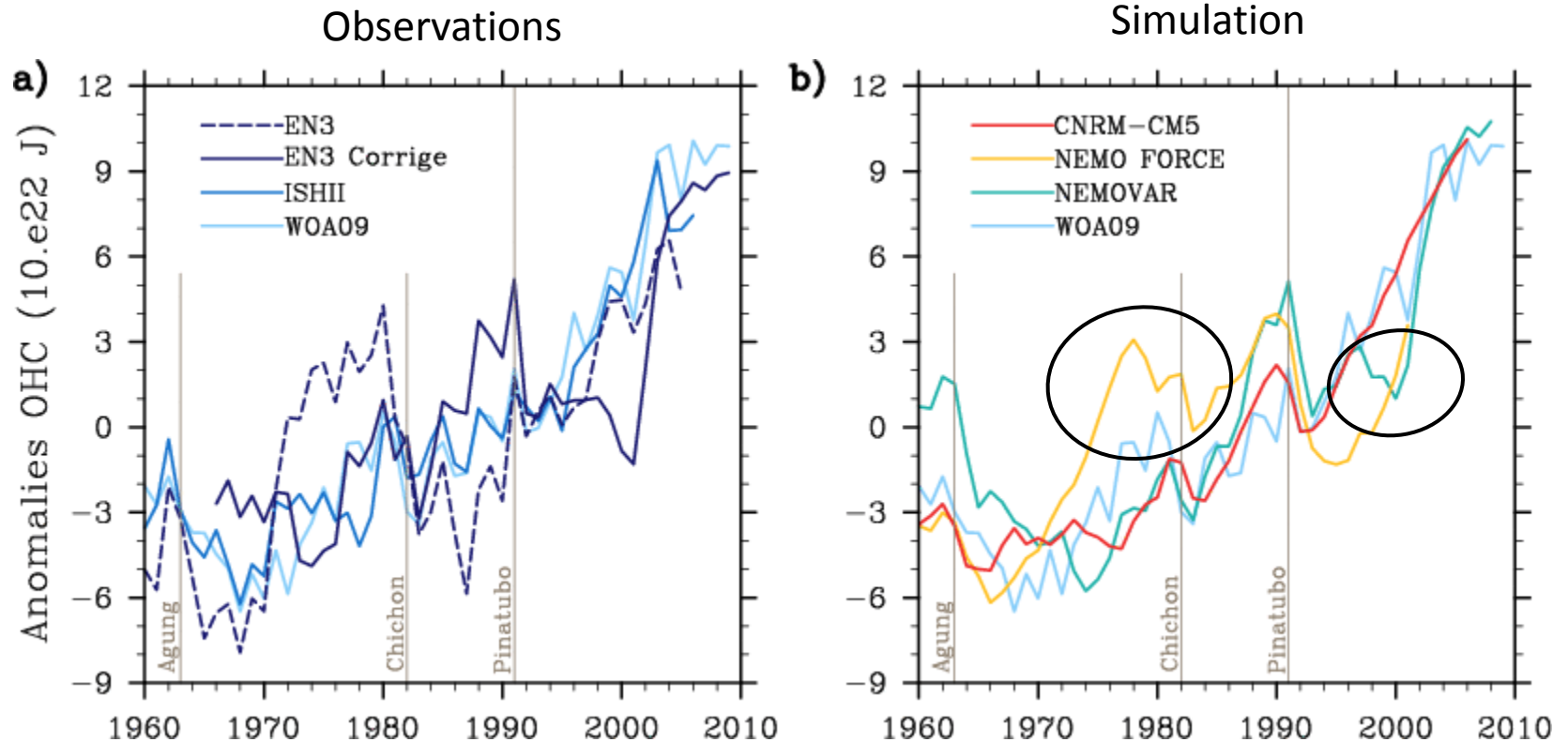
III. Climat du XX^o siècle

Evolution du contenu thermique des 700 premiers mètres de l'océan



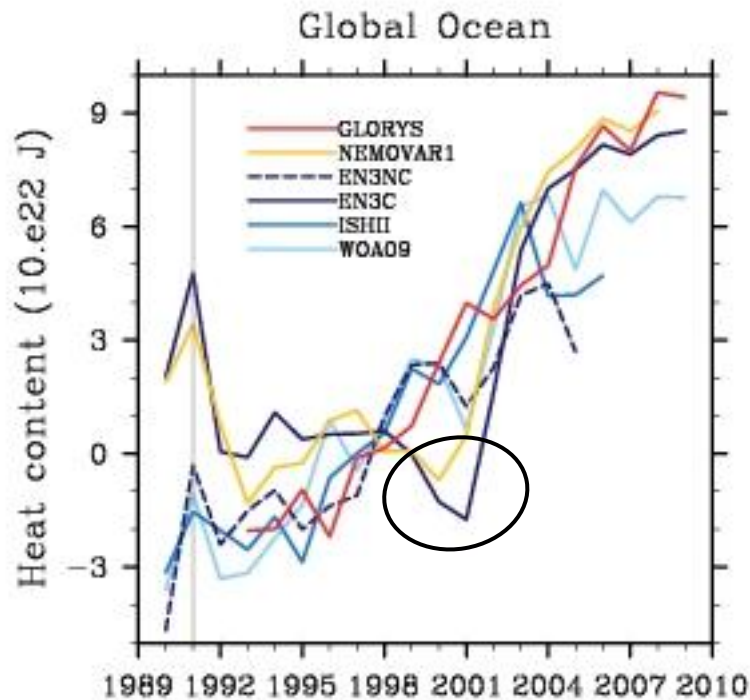
III. Climat du XX^o siècle

Evolution du contenu thermique des 700 premiers mètres de l'océan



III. Climat du XX^o siècle

Evolution du contenu thermique des 700 premiers mètres de l'océan pour deux réanalyses d'océan



GLORYS

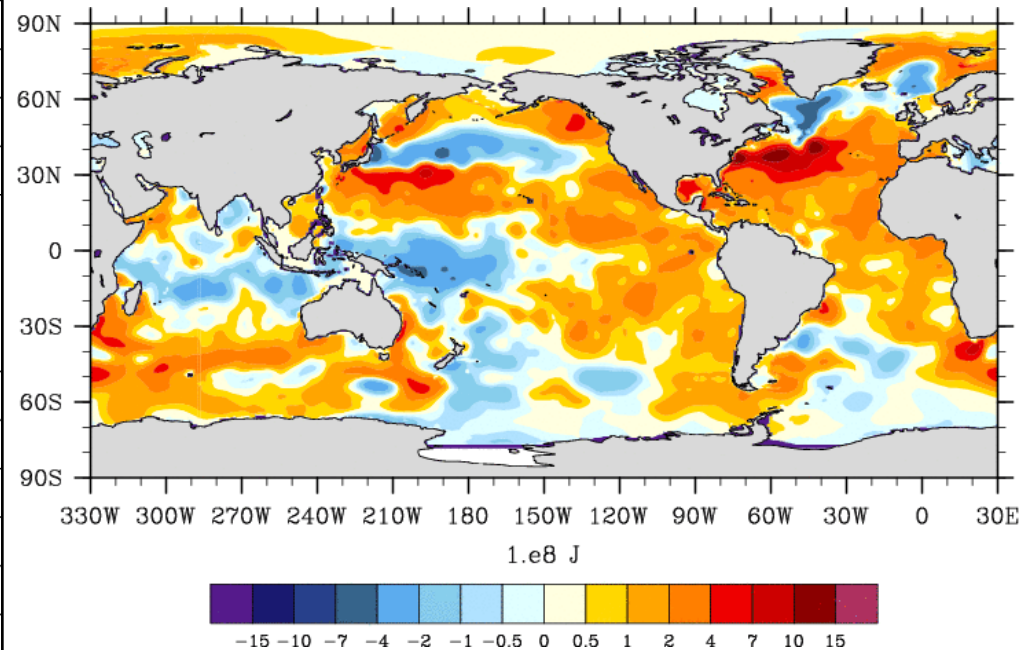
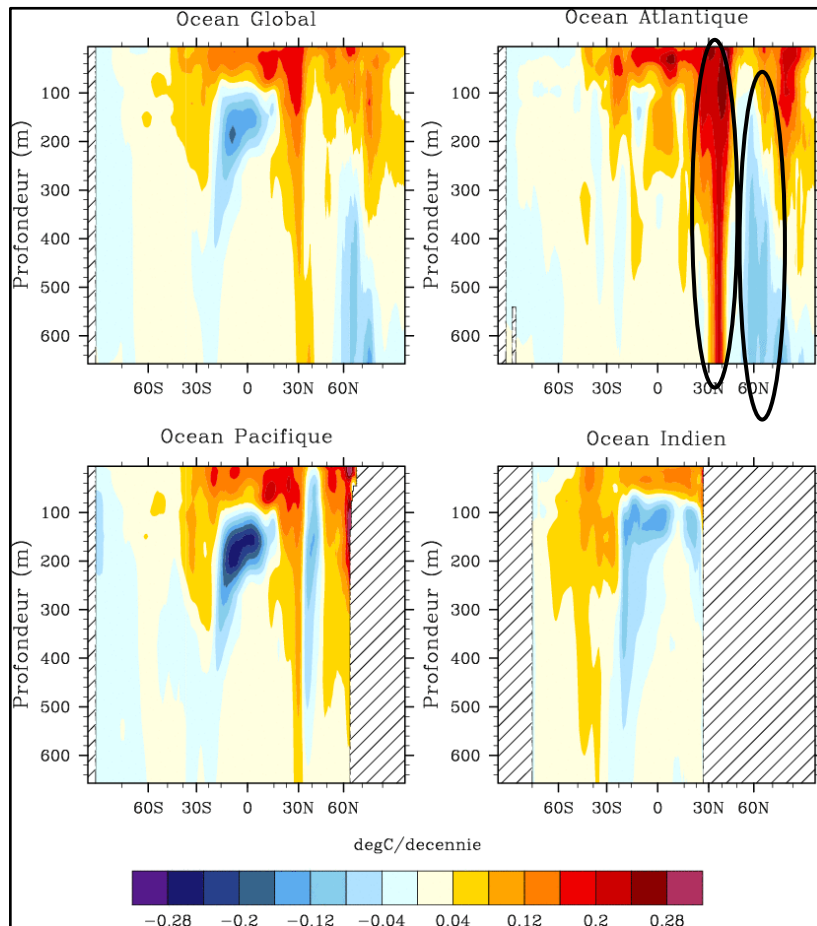
- Résolution de NEMO sur ORCA 0,25°

Différences avec NEMOVAR

- Forçages
- Jeu de données assimilé
- Système d'assimilation

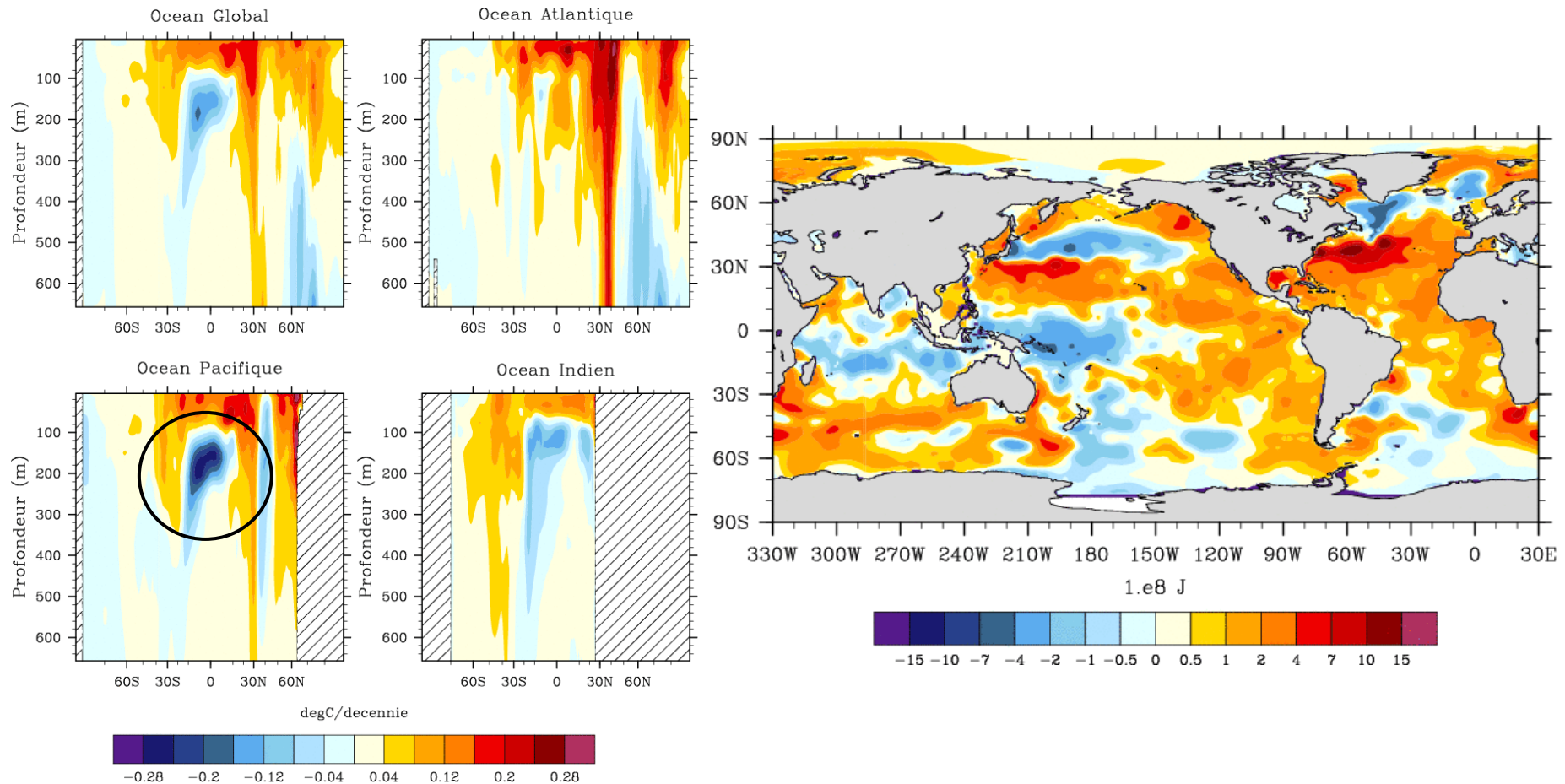
III. Climat du XX^o siècle

Tendances des 700 premiers mètres pour le jeu de données WOA09 calculées sur la période 1966-2001



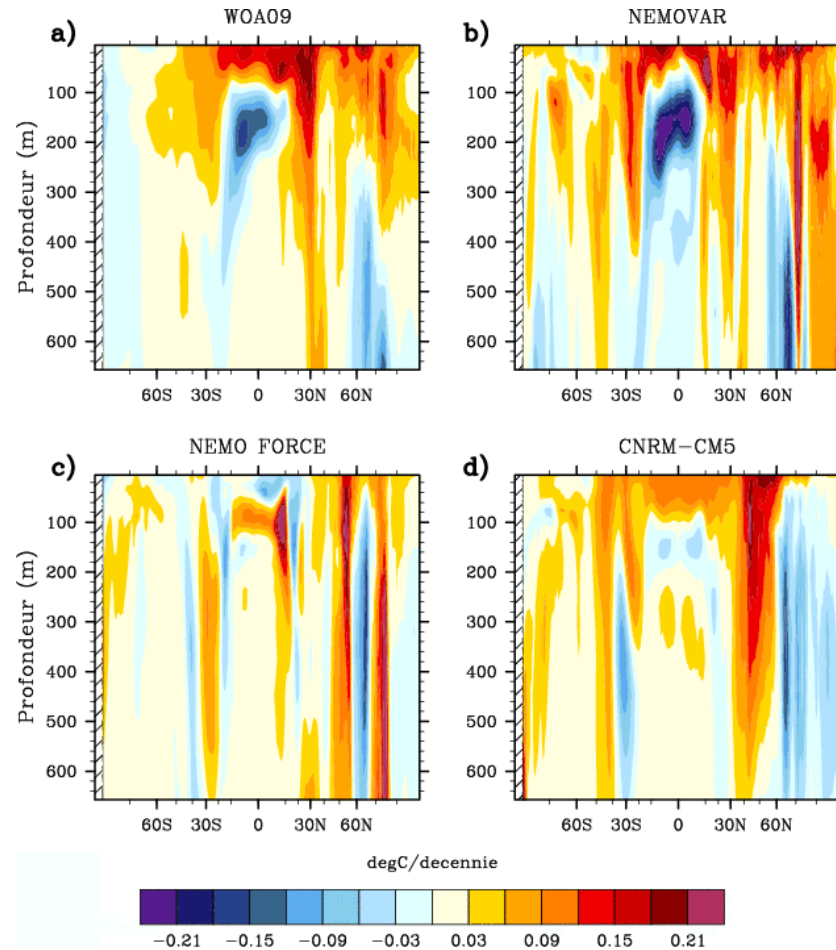
III. Climat du XX^o siècle

Tendances des 700 premiers mètres pour le jeu de données WOA09 calculées sur la période 1966-2001



III. Climat du XX^o siècle

Comparaison des tendances des 700 premiers mètres

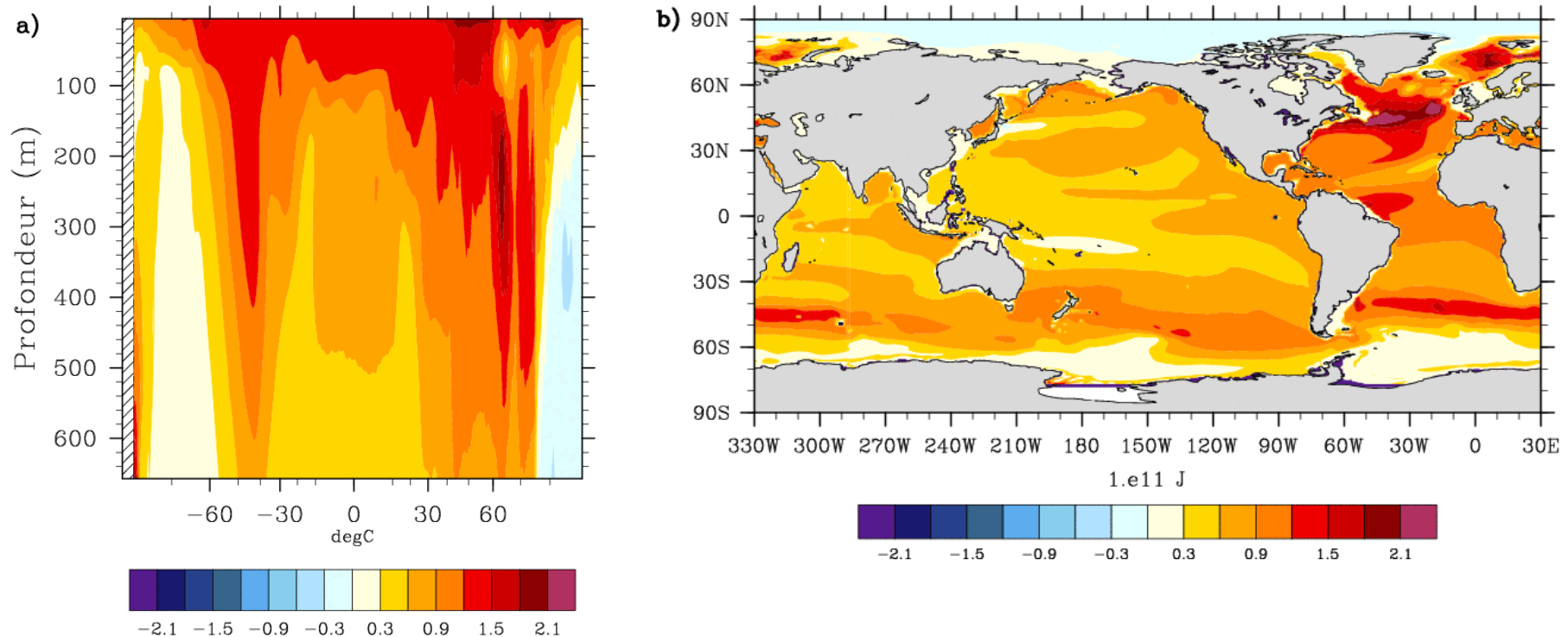


Projections climatiques pour la fin du *XXI*^e siècle

La nature chaotique du système climatique et les incertitudes sur les forçages externes (GES, volcanisme, solaire) font de la prévision climatique un exercice compliqué. Cependant, il est largement établi que les forçages anthropiques devraient avoir un rôle prépondérant dans l'évolution du climat de siècle à venir.

IV. Climat du *XXI^e* siècle

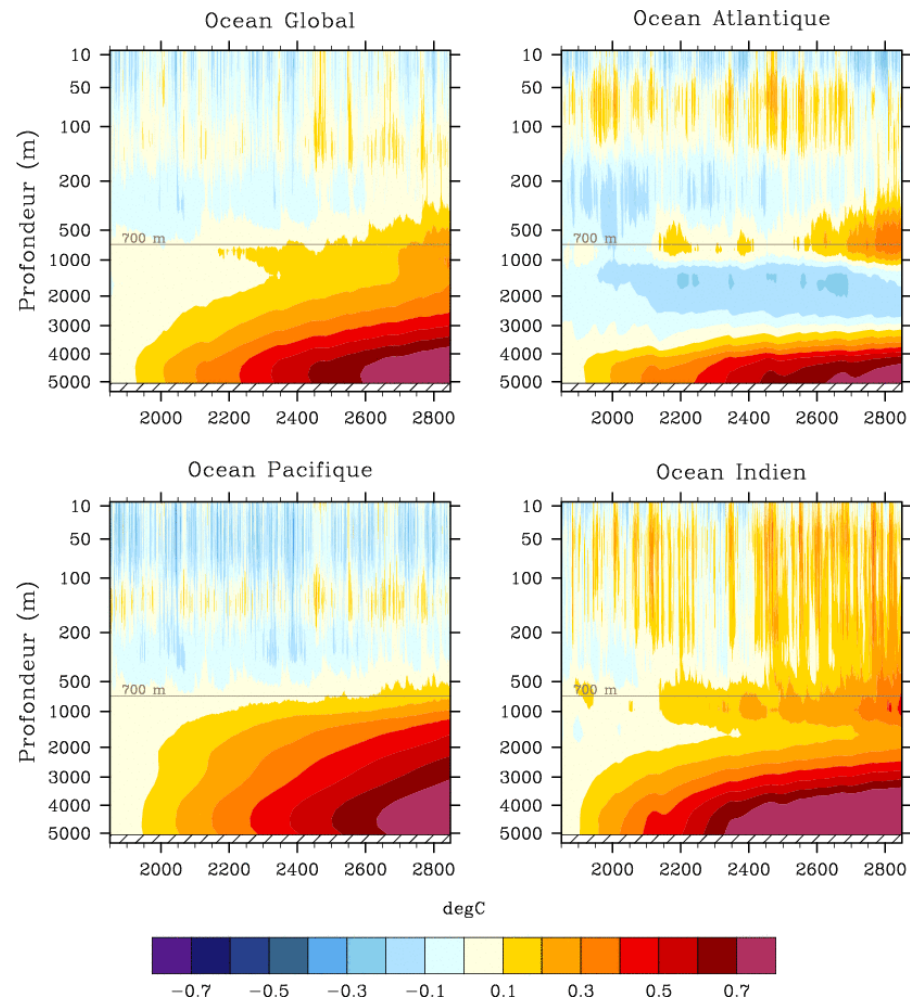
Evolution des 700 premiers mètres de l'océan



Différence période future (2070-2099) – période présente (1970-1999)

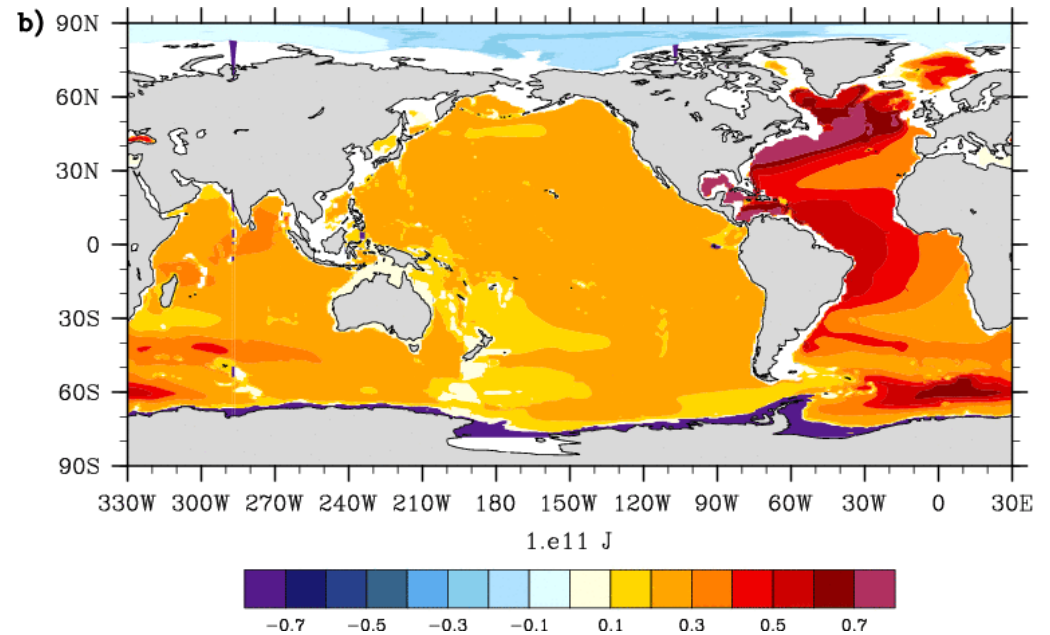
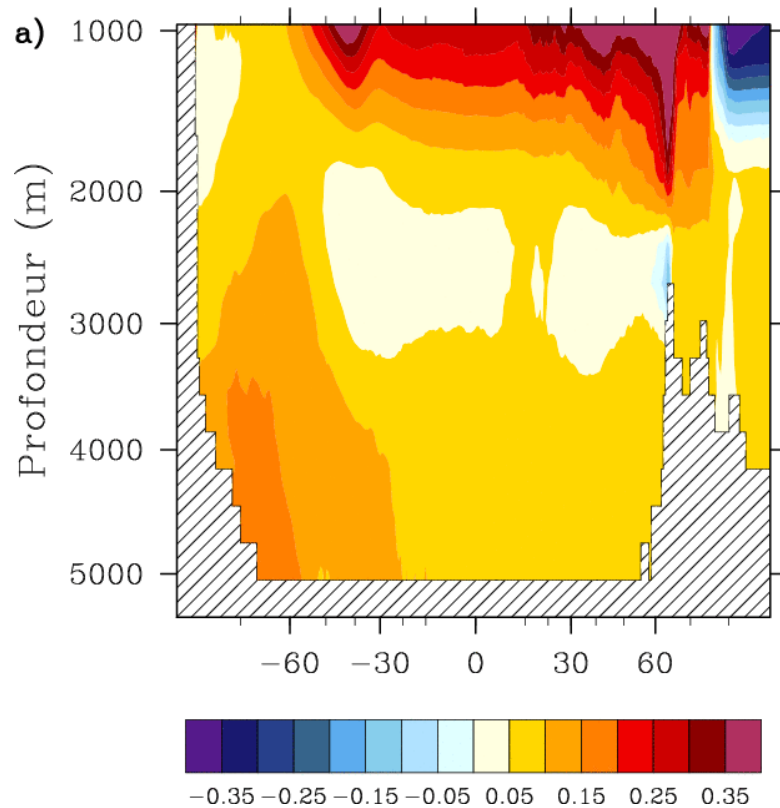
IV. Climat du XXI^o siècle

Phénomène de dérive



IV. Climat du *XXI^e* siècle

Evolution de l'océan profond à partir de 1000 mètres



Différence période future (2070-2099) – période présente (1970-1999)

Synthèse

- Réchauffement global des 700 premiers mètres de l'océan dans le climat présent
- Pour le climat futur, ce réchauffement s'intensifie et s'étend vers des niveaux plus profonds (pour un modèle et un scénario)
- La réanalyse NEMOVAR et le modèle couplé CNRM-CM5 sont des outils intéressants pour l'étude thermique de l'océan mais avec des incertitudes plus grandes aux hautes latitudes

Perspectives

- Etudier les phénomènes à partir d'autres modèles
- Approfondir l'analyse de certains phénomènes mis en jeu afin des les attribuer plus clairement à la réalité ou à une biais/dérive du modèle
- Lier les résultats en température avec des variations de l'épaisseur de couche de mélange
- Etudier l'évolution de la salinité



Merci de votre attention

Des questions ?

