



[mercator-ocean.eu](http://mercator-ocean.eu)  
[marine.copernicus.eu](http://marine.copernicus.eu)

# Principales évolutions des systèmes et mise en œuvre de la prospective de l'océanographie opérationnelle

Yann Drillet  
Mercator Océan



- Organisation Mercator Océan
- Mise en place de CMEMS
- La production et le service
- Les activités R&D à Mercator Océan, la mise en œuvre de la prospective OO et l'évolution des systèmes.
  - Les chantiers mis en place
  - Quelques résultats et avancements
  - Principaux plans et objectifs

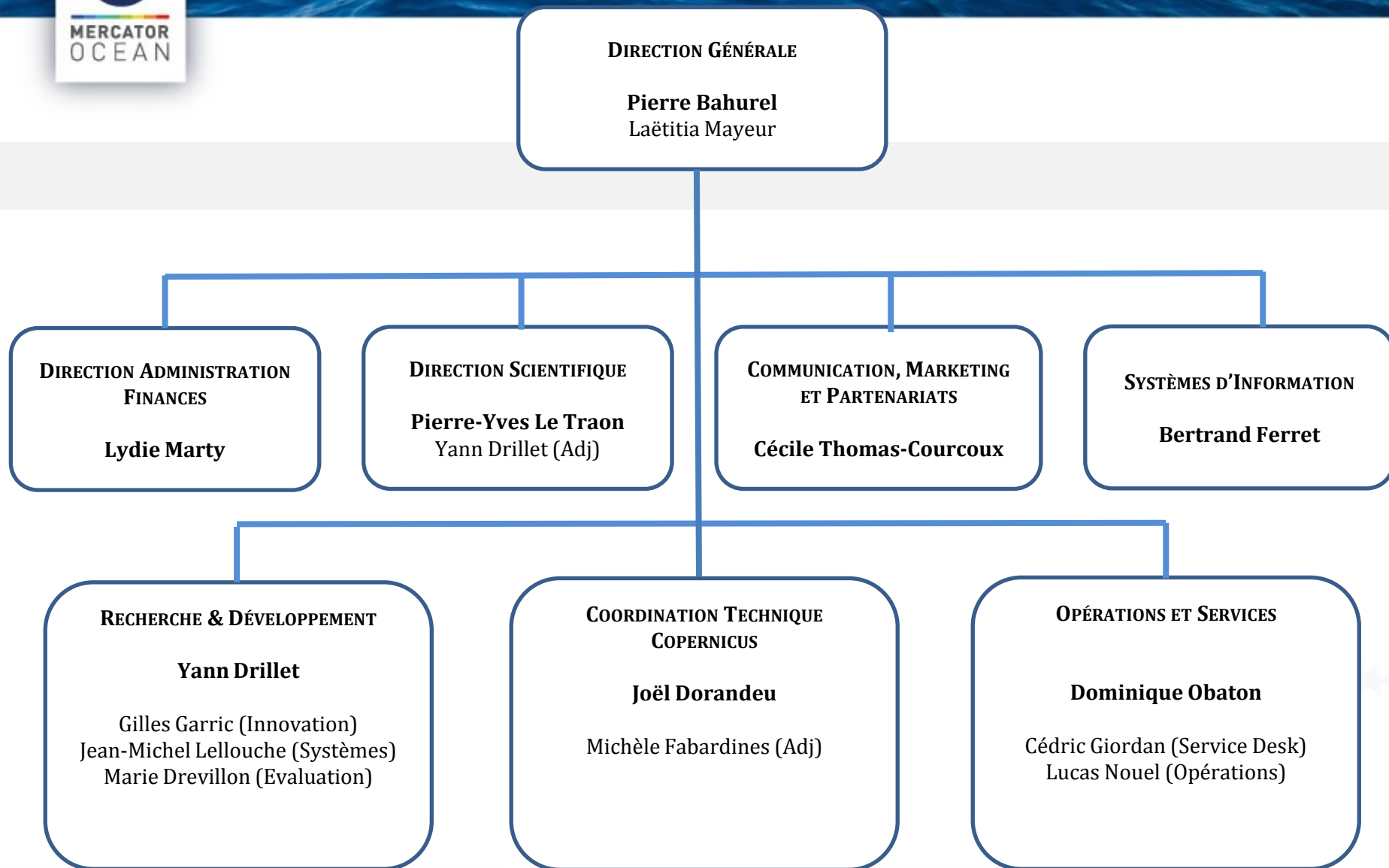
## Objectif

**Overview de l'ensemble des activités scientifiques en cours à Mercator Océan**

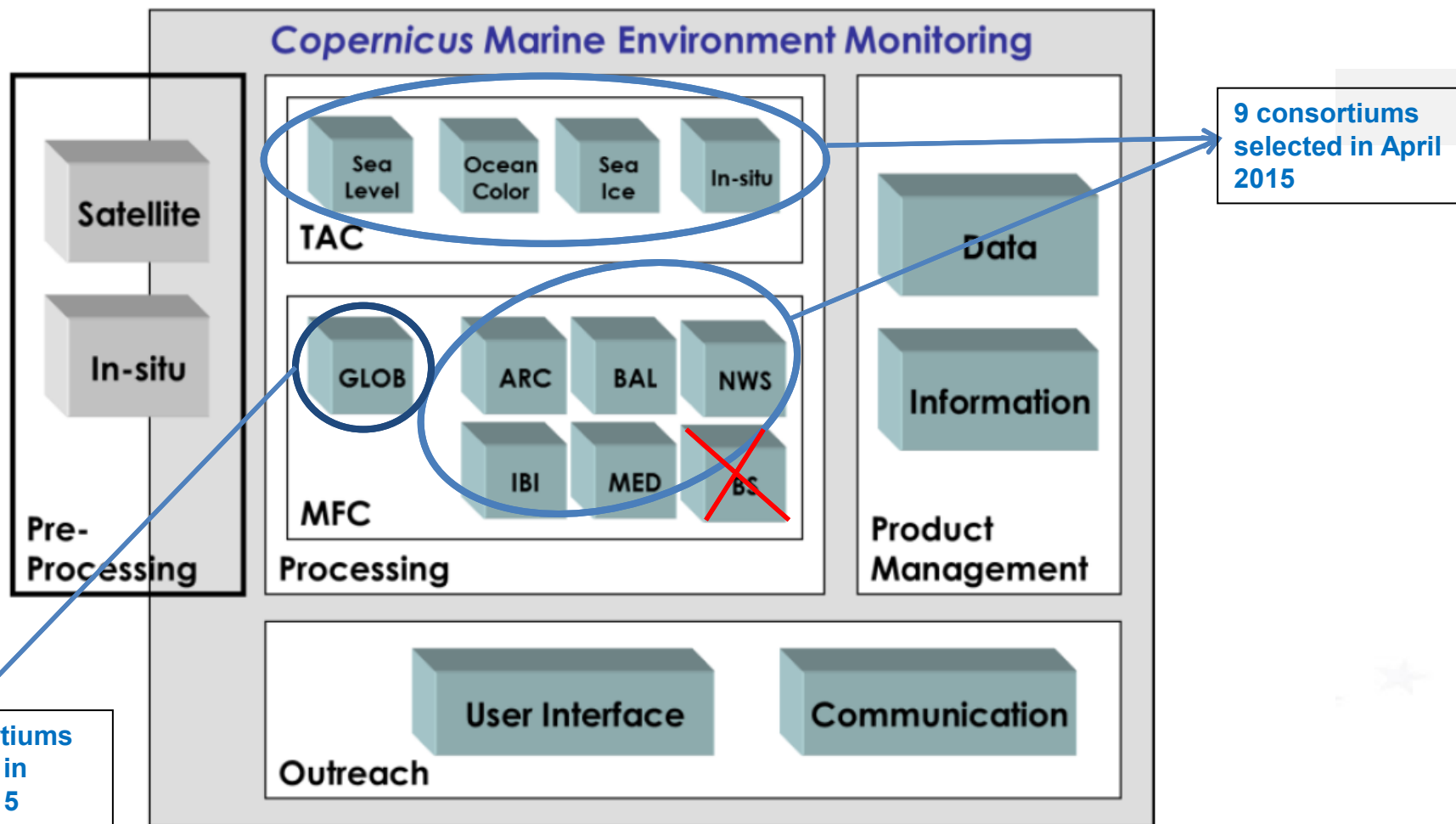




# Organisation Mercator Océan



# Mise en place de CMEMS





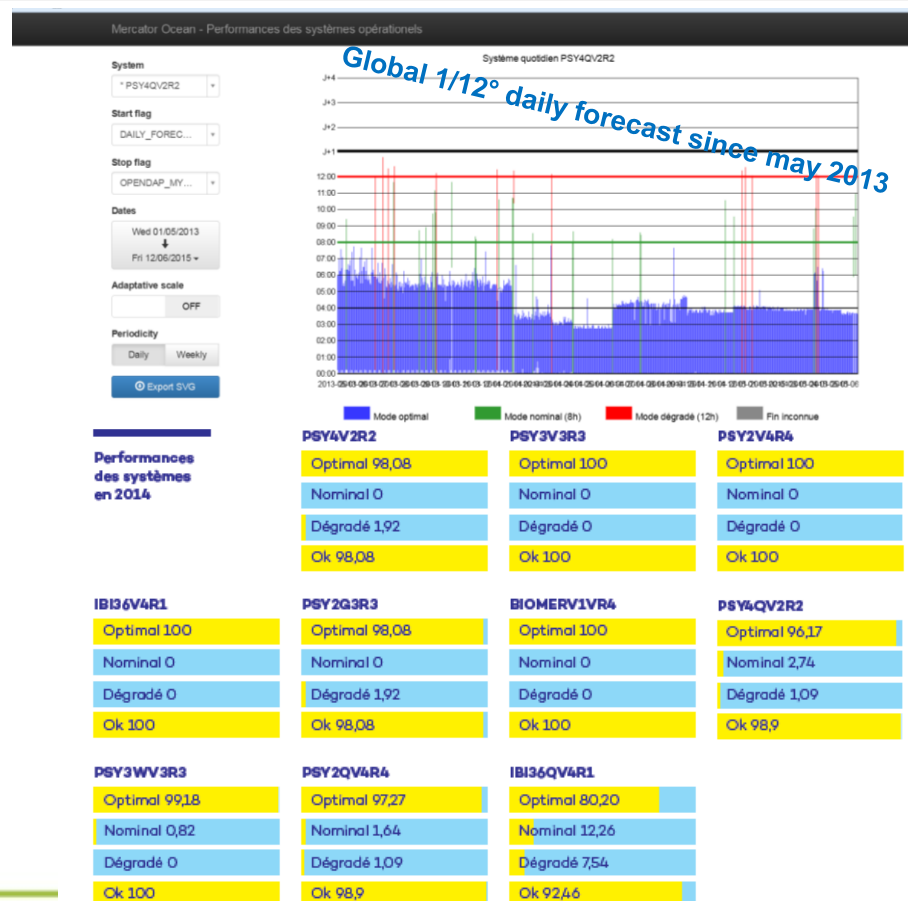


# Production à Mercator Océan

## Calcul

- Bullx B710 DLC (~8% of the ressources dedicated to Mercator Océan)
- 2 identical clusters on 2 centers in Toulouse (1Pflops, ~24000 CPUs each cluster)
- Priority acces for the operational real time ocean forecast production
- Upgrade of the computational centre in 2016
- Other computer ressources for research and development activities (ECMWF and Mercator Océan cluster)
- Storage capacity (~3Po)

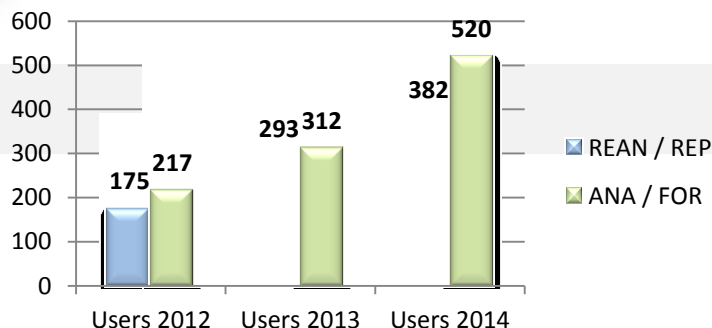
## Monitoring



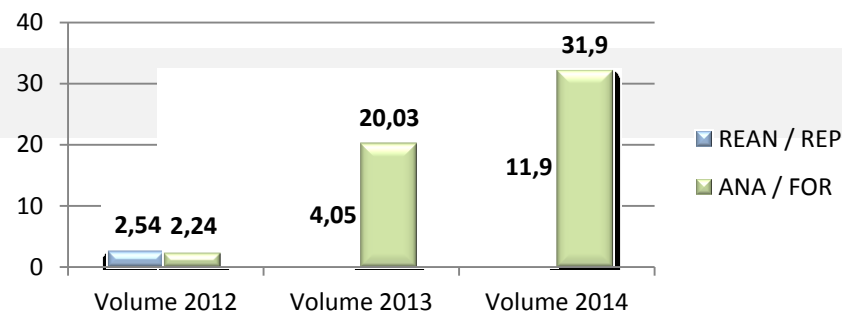


# GLO users monitoring

**GLOBAL products - Number of Users  
2012-2014**



**GLOBAL products - Volume (Tb)  
2012-2014**

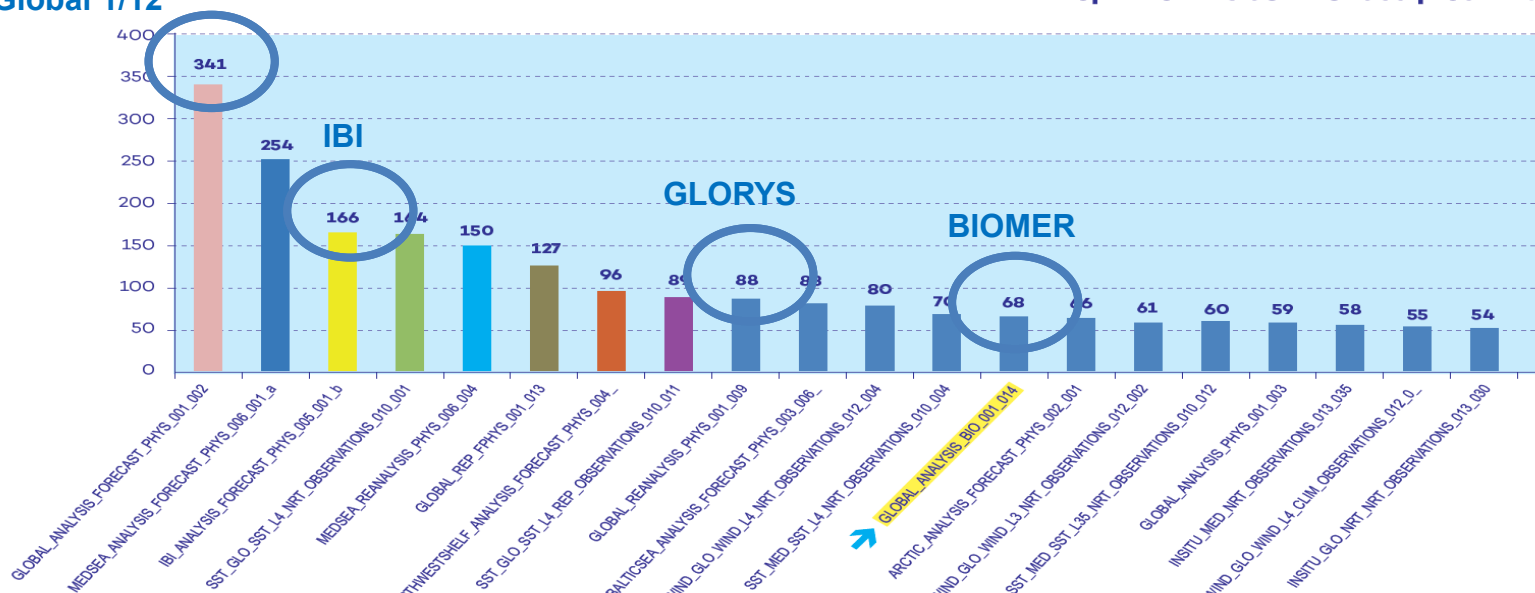


**Include 202 regular users (daily or weekly download) in 2014**

**Global 1/12°**

**MyOcean 2014**

**Top 20 of the downloaded products**



**Voir poster de Corinne Derval sur des exemples d'utilisateurs**



# Evolution scientifique des systèmes

## 2 échéances principales liées à Copernicus.

### 2017

#### Systèmes temps réel

- Couplage physique biogéochimie glace de mer dans le global 1/12°
- Assimilation de données dans le système haute résolution IBI36.

#### Réanalyses

- Réanalyse globale 1/12° couplée physique biogéochimie (période ARGO)
- Réanalyse IBI 1/12° couplée physique biogéochimie (période ALTI)

### 2020

#### Systèmes temps réel et réanalyses

- Couche limite atmosphérique
- Assimilation ensembliste
- Assimilation de la biogéochimie
- Réanalyse CREG12 puis globale 1/12° (période ALTI et/ou à partir de 1979)
- Réanalyse IBI 1/36°



# Les chantiers R&D Mercator organisation en cours

## Chantiers sur les évolution des systèmes de production

1. Système de prévision Global. Focus sur Global 1/12° amélioration assimilation (réglage, erreurs, IAU, cycle analyse, observations assimilées ...) et configuration modèle (paramétrisation et schéma numérique, mélange, forçage atmosphérique ...), Couplage avec la biogéochimie offline avec dégradation puis coarsening online.
2. Système de prévision IBI. Focus sur IBI36, assimilation haute résolution et couplage physique bio. Réglage particulier, observations particulières.
3. Réanalyses globales. Du Global 1/4° vers Global 1/12°, utilisation de la configuration CREG pour production de réanalyses, réglage de l'assimilation glace et modélisation de la glace ...
4. Réanalyses régionales. Focus MED et IBI, d'abord au 1/12°. Contexte Copernicus et HyMEx. Evolution de ces plateformes et spécificité à définir (forçage atmosphérique, couplage bio, physique différentes ...).





# Les chantiers R&D Mercator organisation en cours

## Chantiers thématiques

1. Assimilation de la biogéochimie. Besoin rapide d'une plateforme d'assimilation dans PISCES. On démarre le chantier sur une version offline assimilant séparément dans PISCES. Les évolution vers du online à prévoir pour échéances ~2020.
2. Observations océaniques actuelles et futures. Besoin fort dans Copernicus de suivre l'impact des obs dans les systèmes de productions. Préparation des nouvelles missions (Sentinel, SWOT, salinité, courant ...). Projet en cours ou à venir E-aims, AtlantOS ...
3. Modélisation haute résolution. Préparation de la prochaine configuration globale haute résolution, plusieurs étapes à définir sur configuration régionale CREG36 et utilisation de AGRIF. Evolution du modèle pour développer CLA, marée globale ...
4. Assimilation ensembliste. En partant du SAM2 existant, évolution vers une méthode ensembliste. Utilisation configuration CREG pour mise en place de méthode d'ensemble. Continuité sur le Golfe de Gascogne en discussion.



# Chantier 1 : Système de prévision Global (Jean Michel Lellouche)

## **Le système global actuel : NEMO, OPA, LIM, PISCES, SAM2**

**Physique : global  $1/12^\circ$  avec assimilation de données. Fourniture de prévision quotidienne**  
**Biogéochimie : global  $1/4^\circ$  forcé par un système physique au  $1/4^\circ$  avec assimilation de données physiques uniquement. Fourniture de prévision hebdomadaire**

**Un système physique global  $1/4^\circ$  qui contraint le système biogéochimique et le système d'initialisation de la prévision saisonnière (voir talk de Jean François Gueremy)**

**Un système Atlantique Nord et Méditerranée au  $1/12$**

### **Evolutions dans les systèmes :**

**Schéma de mélange vertical**

**Erreur d'observation dans l'assimilation**

**Assimilation de la glace de mer**

**RUNOFF, MDT, INITIALISATION, CORRECTION DE BIAIS**

**Contrôle Qualité des Observations**

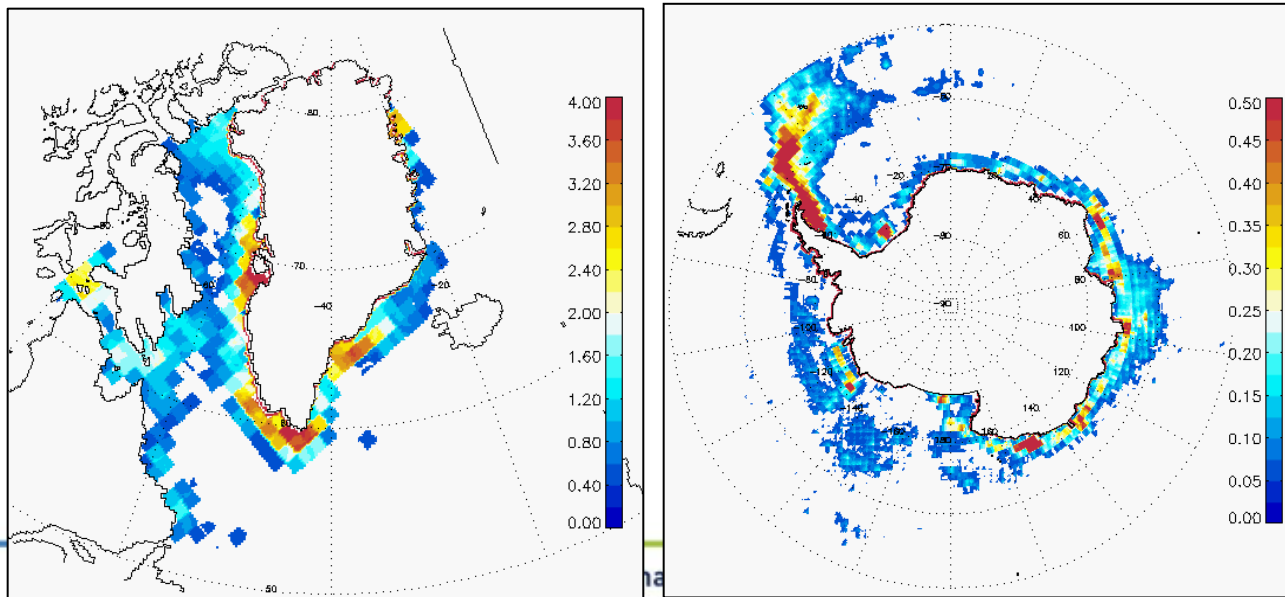
**Exercices d'intercomparaison**

**Résolution pour la biogéochimie**

# A new freshwater runoff from ice-sheets melting (Gilles Garric)

- ✓ Use of Dai and Trenberth 2009 rivers runoff database (instead of Dai and Trenberth 2002) : New data (mostly from recent years) from several sources, 925 collected rivers (73% of global total runoff), use streamflow simulated by Community Land Model version 3 (CLM3) to fill the gaps, all land areas except Antarctica and Greenland.
- ✓ Construction of a freshwater flux from ice-sheets melting in Greenland and Antarctica using Altiberg icebergs database project (Tournadre *et al.*, 2013).

**Mean annual freshwater flux in mm/year (x 1.E06)**



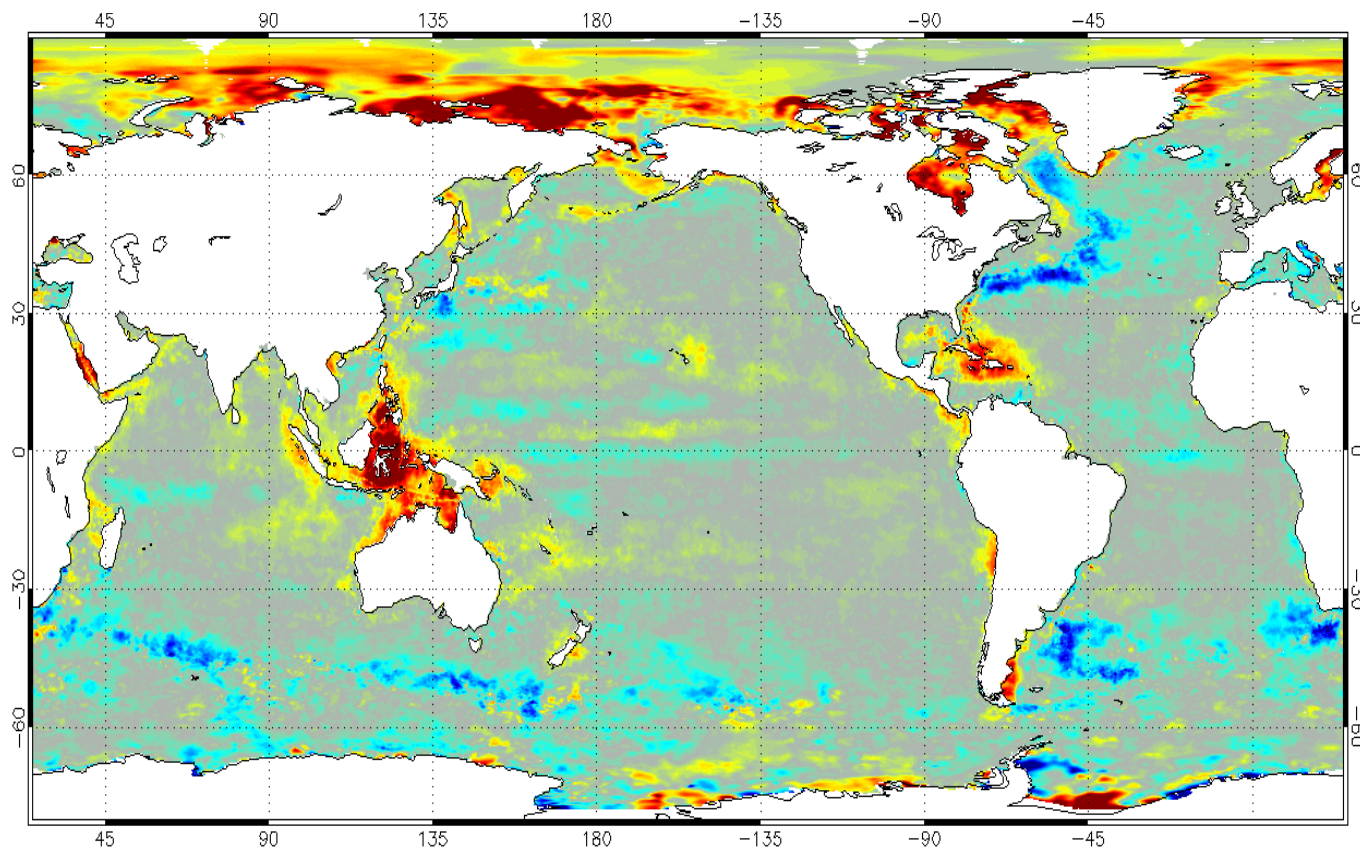


# New MDT minus Old MDT

The objective  
into account:

- Latest CNES
- SLA innova
- HDYN inn
- Most rece

taking



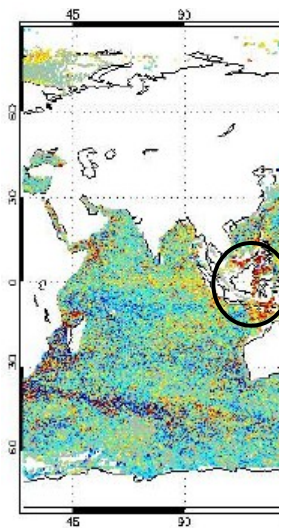
meters



-0.1

0

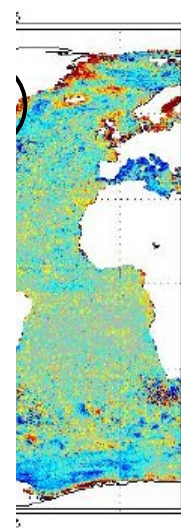
0.1



-0.1

0

0.1



-0.1

0

0.1



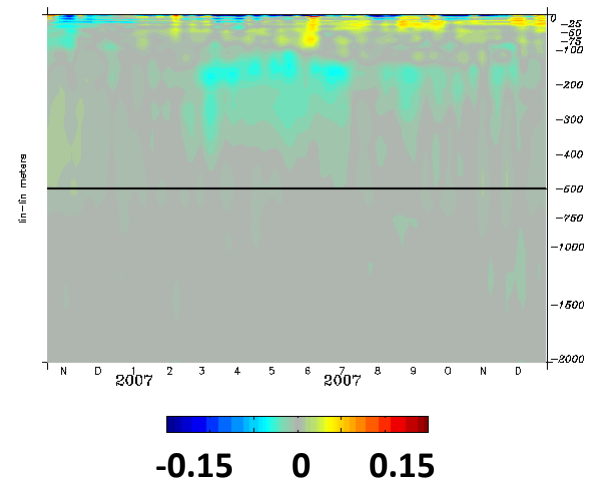
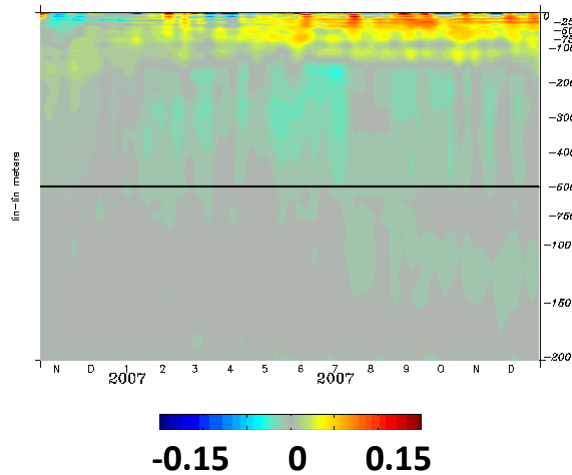
# Impact of the initialization

(Olivier Le Galloudec)

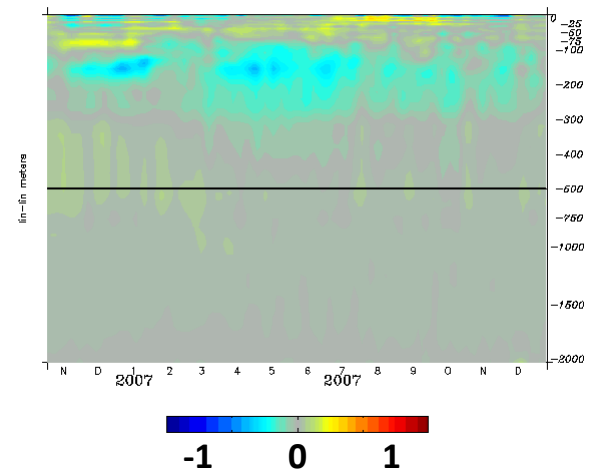
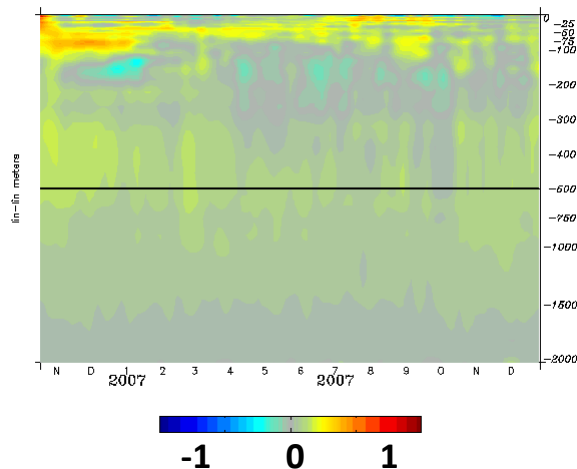
**Levitus 2009**

**Salinity Mean misfit (psu)**

**Levitus 2013**



**Temperature Mean misfit (°C)**



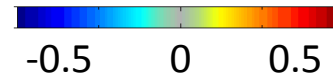
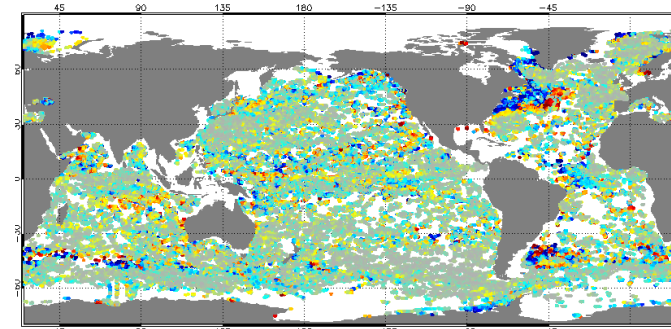
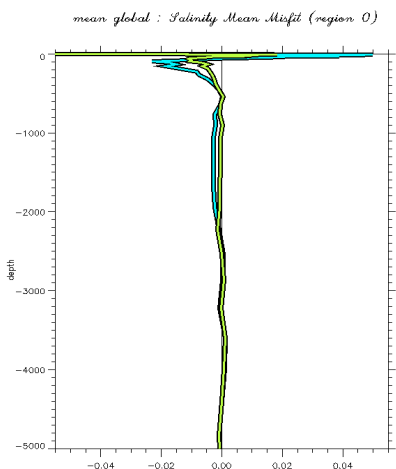
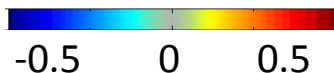
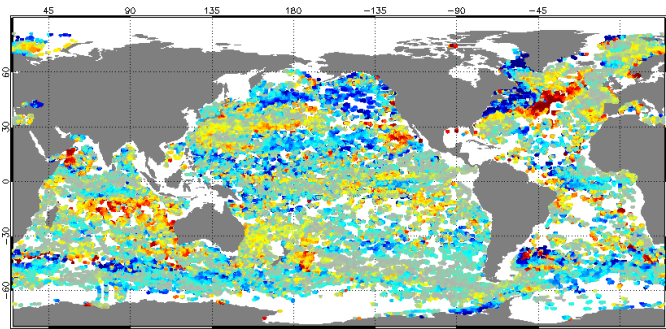
# Impact of the 3D-Var bias correction

(Olivier Le Galloudec)

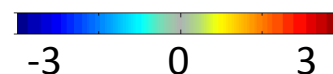
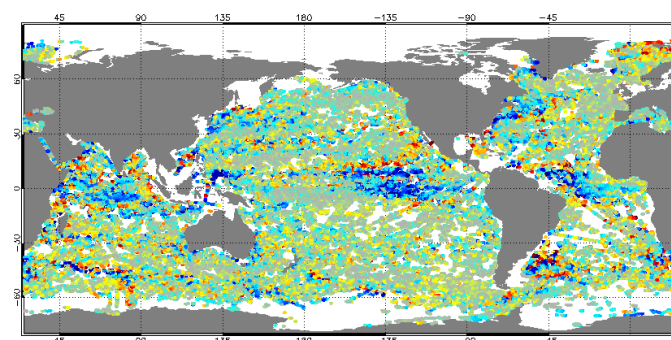
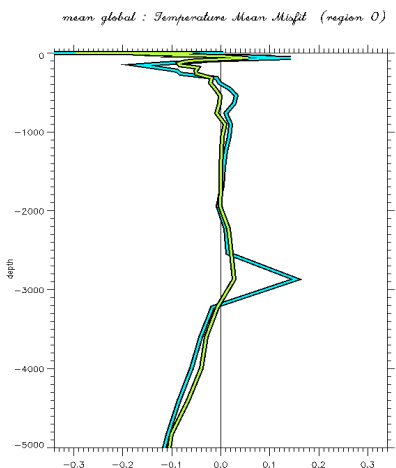
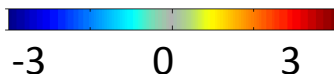
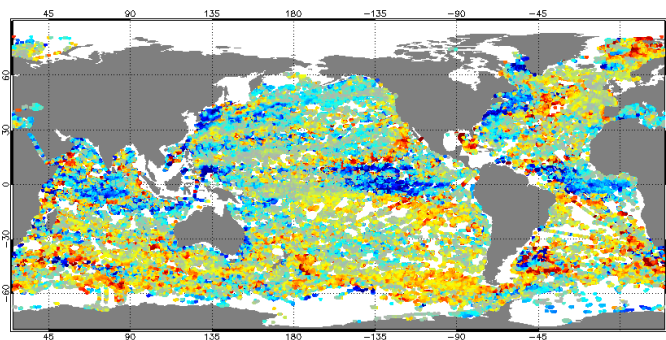
Without bias correction

With bias correction

Salinity mean misfit near 100m in 2007 (psu)



Temperature mean misfit near 100m in 2007 (°C)

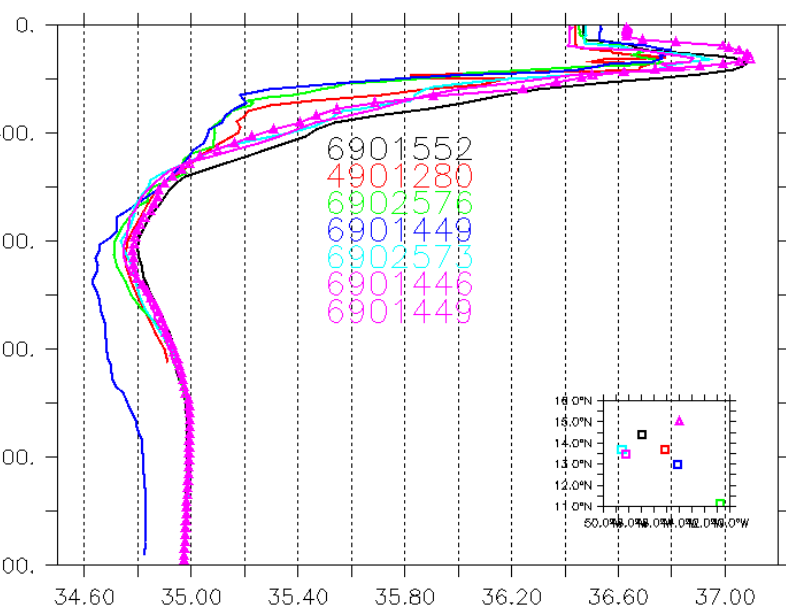


# Contrôle qualité des observations

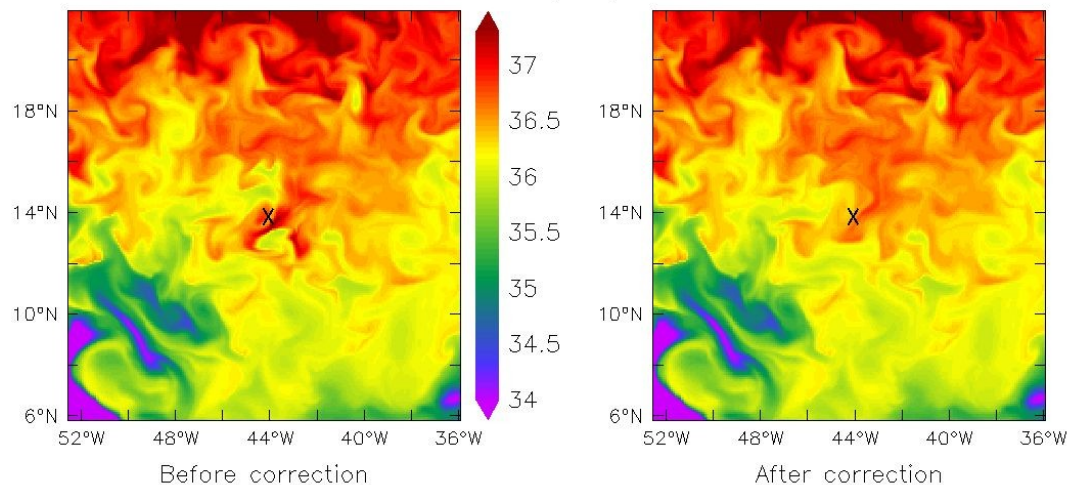
(Bruno Levier, Marie Dréville)

A consolider avec les centre de production de données CORIOLIS et autres TACs de CMEMS

Un exemple récent



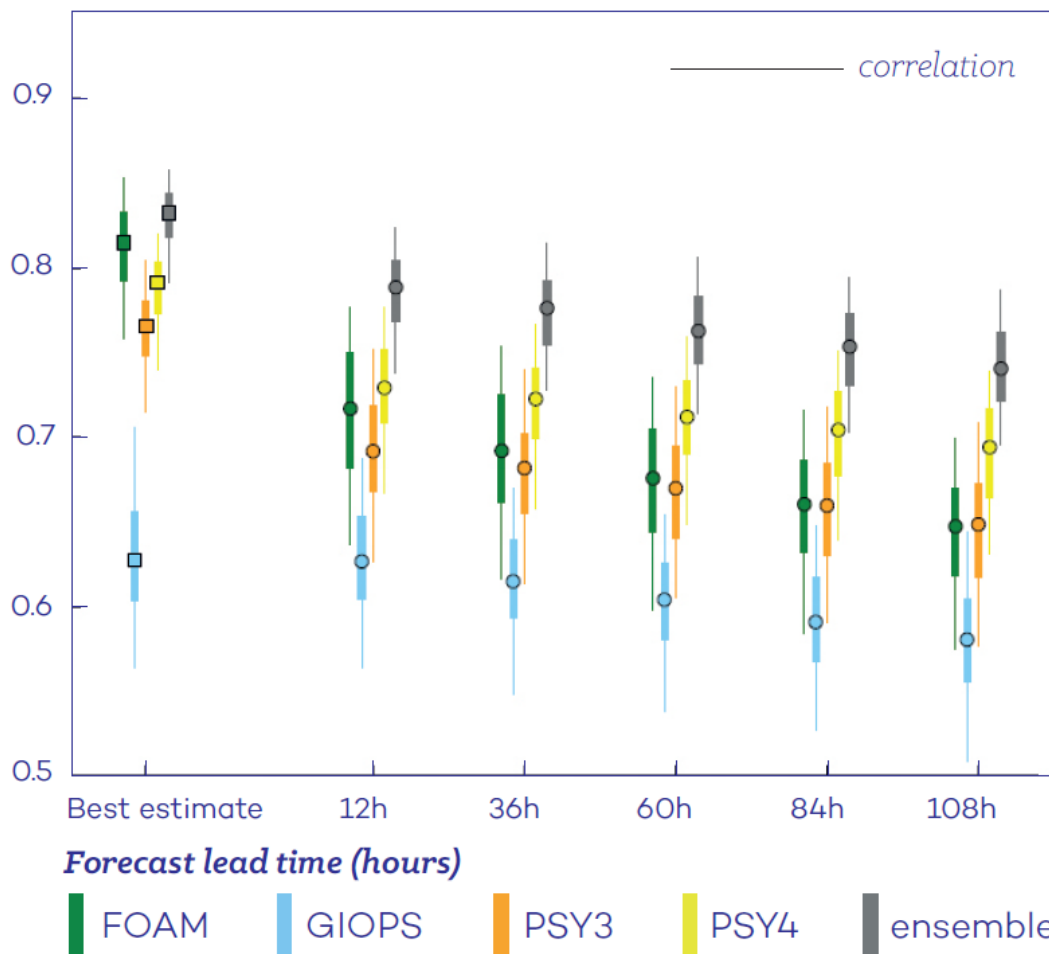
GLO Surface Salinity May 26th 2015





# Intercomparaison de systèmes GOV

(Charly Regnier)



Ryan et al 2015, JOO special issue



# Le système biogéochimie global

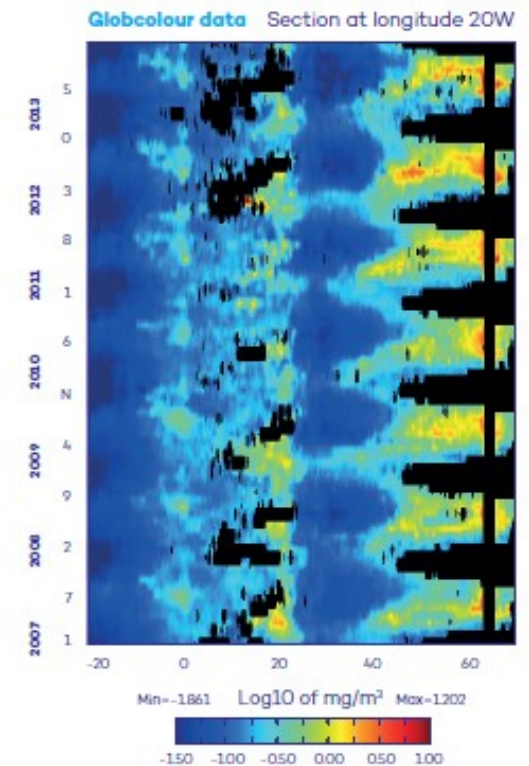
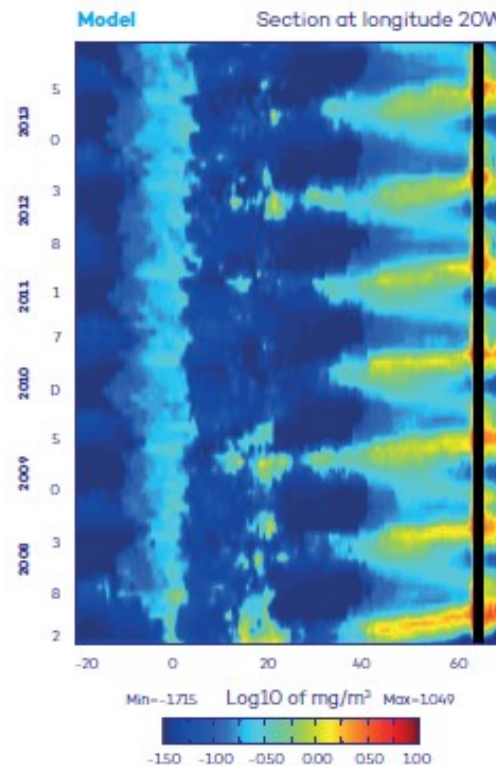
(Coralie Perruche)

Diffusé et documenté sur CMEMS (<http://marine.copernicus.eu>).

Documentation de validation (QUID)  
accessible en ligne  
<http://marine.copernicus.eu/>

Variabilités saisonnière et  
interannuelle dans l'Atlantique Nord

Hovmöller diagram of Log10( chlorophyll )  
between 2007 and 2013 at 20°W in North Atlantic (20°S:70°N).



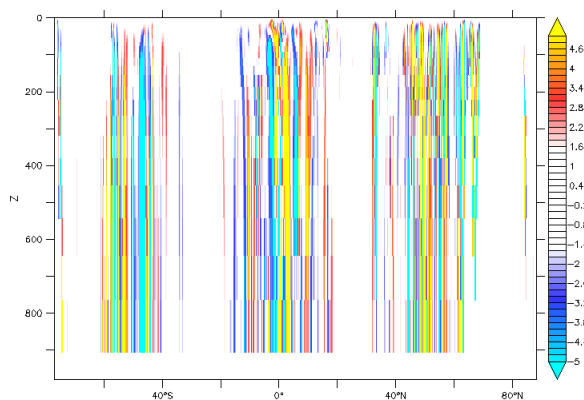
# Evolution du système biogéochimique

(Abdelali El Moussaoui)

Voir poster Florian Nivert « Integration of Biogeochemistry into the Global eddy resolving and forecasting system (PSY4) »

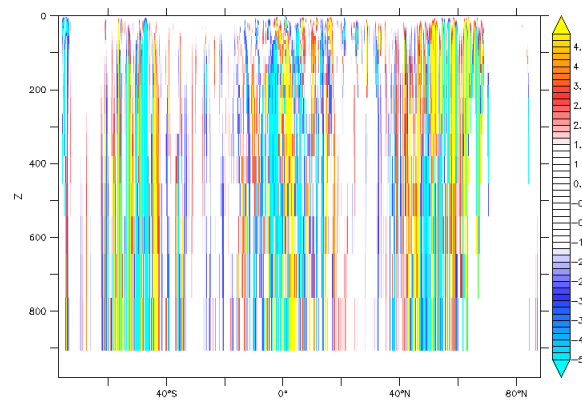
Dégradation de la physique du global 1/12° au 1/4°.

PSY3



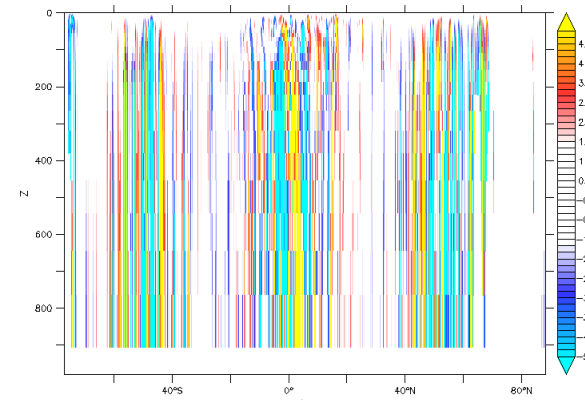
PSY3 - 20150401 - Coupe Vitesse Verticale - Ocean Atlantique (26 W)

PSY4



PSY4 - 20150401 - Coupe Vitesse Verticale - Ocean Atlantique (26 W)

PSY4 dégradé



PSY4 - DEG - 20150401 - Coupe Vitesse Verticale - Ocean Atlantique (26 W)

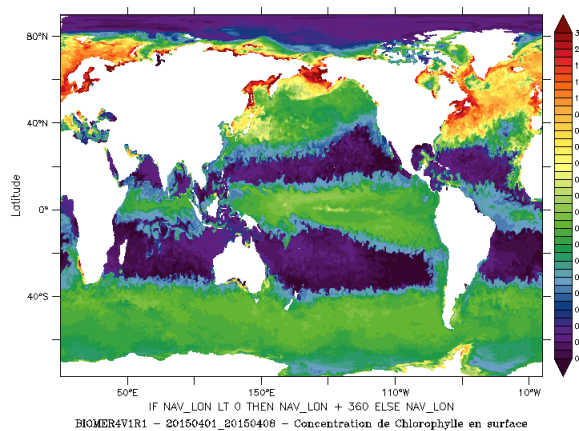
**Vitesses verticales à travers l'Atlantique à 25°W.**  
**Ex sur un fichier journalier utilisé pour forcer la biogéochimie**

Conservation des structures après dégradation du 1/12° → 1/4°

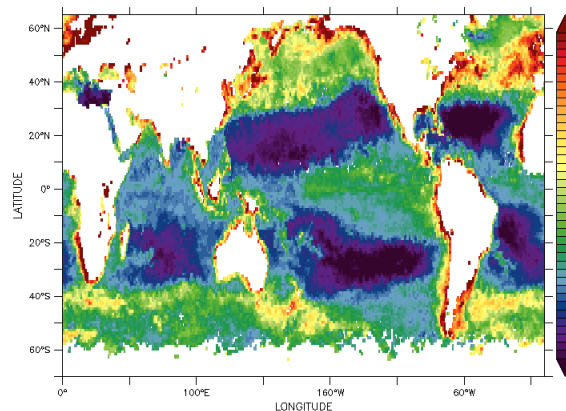
Différence importante entre le système 1/4° et 1/12°

# Evolution du système biogéochimique

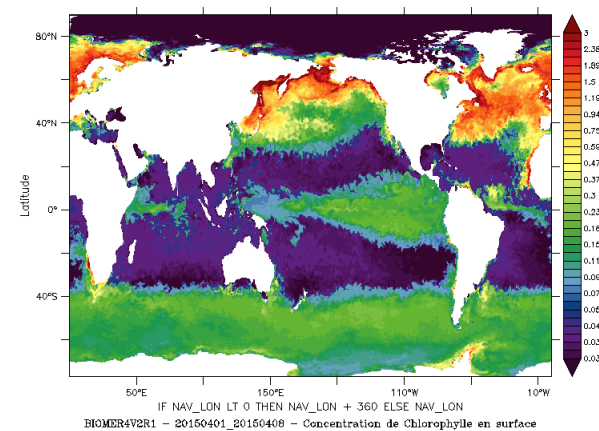
## Impact sur la chlorophylle de surface



**BIOMER1/4-V1**



**GLOBCOLOUR**

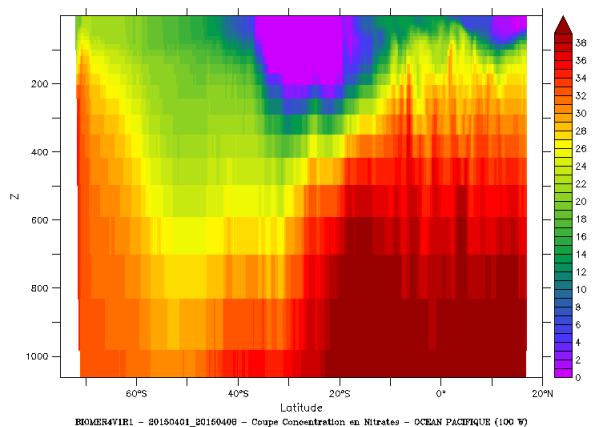


**BIOMER1/4-V2**

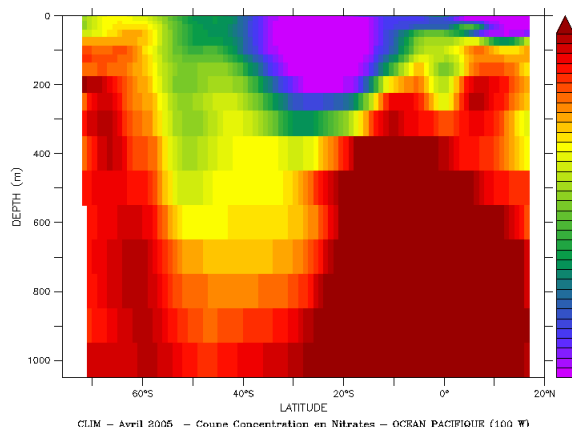
The equatorial band in particular is largely close to the climatology in BIOMER1/4-V2 than in BIOMER1/4-V1. Even for the North Atlantic bloom (in April).



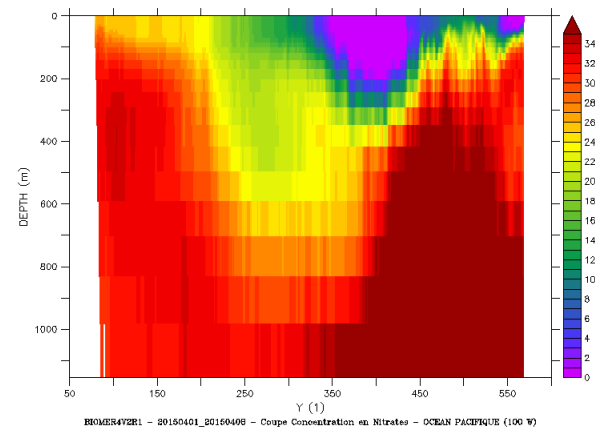
## Impact sur les nitrates



**BIOMER1/4-V1**



**CLIMATOLOGY**



**BIOMER1/4-V2**

For the Nitrate concentration, BIOMER1/4-V2 is also largely close to the Climatology than BIOMER1/4-V1. In the vertical longitudinal Nitrate in the Pacific Ocean (100° W) we observe that the physical forcing keep the nutrient in the depth for BIOMER1/4-V2 like it is in the Climatology. The equatorial band of the upwiled nutrients is larger in BIOMER1/4-V1 than in BIOMER1/4-V2 nor the CLIMATOLOGY



# Chantier 2 : Système de prévision IBI

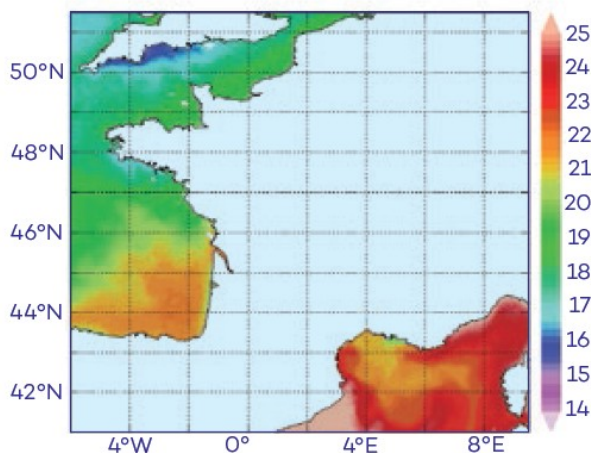
(Guillaume Reffray)

## Système de prévision IBI

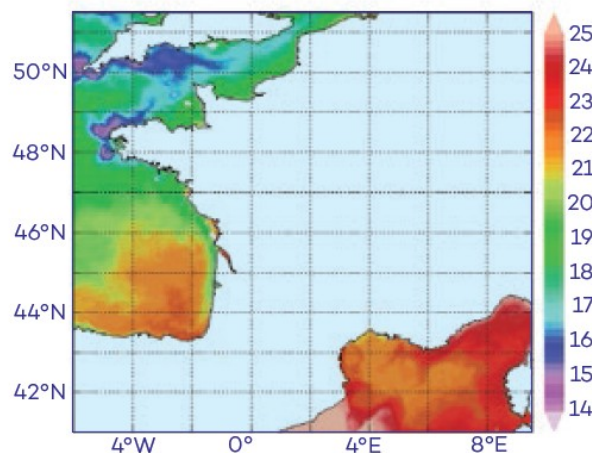
NEMO 1/36°, incluant la marée et le forçage par la pression atmosphérique

Pas d'assimilation de données, initialisation chaque semaine avec le système global

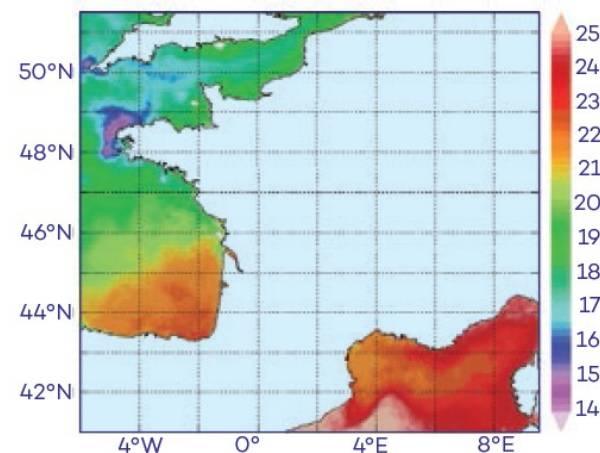
Validation de la SST pour un apport potentiel pour la prévision Météo (Bruno Levier)



**a. Sea surface Temperature AROME**  
(4-day persistence) - August 2014



**b. Sea surface Temperature IBI36**  
(4-day forecast) - August 2014



**c. Sea surface Temperature Observations**  
(L3S MF/CMS) - August 2014

# IBI: Overall planning



Real Time System (1/36)

## V2 (April 2016):

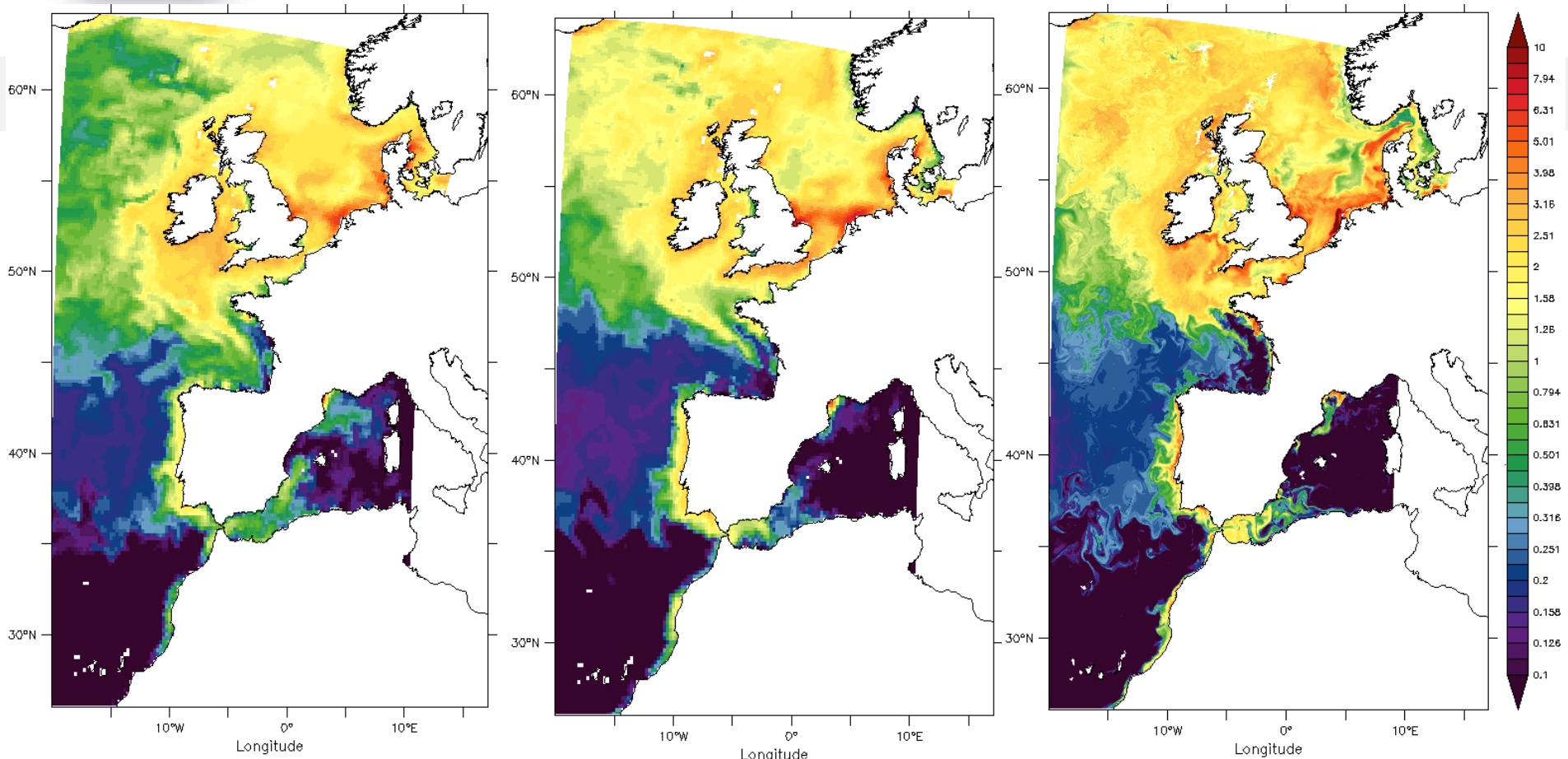
NEMO3.6, **spectral nudging**, OBC from **PSY4** and **BIOMER4**, **BGC coupling**

## V4 (April 2018):

Activation of the **data assimilation**

# IBI: First result

## Surface chlorophyll



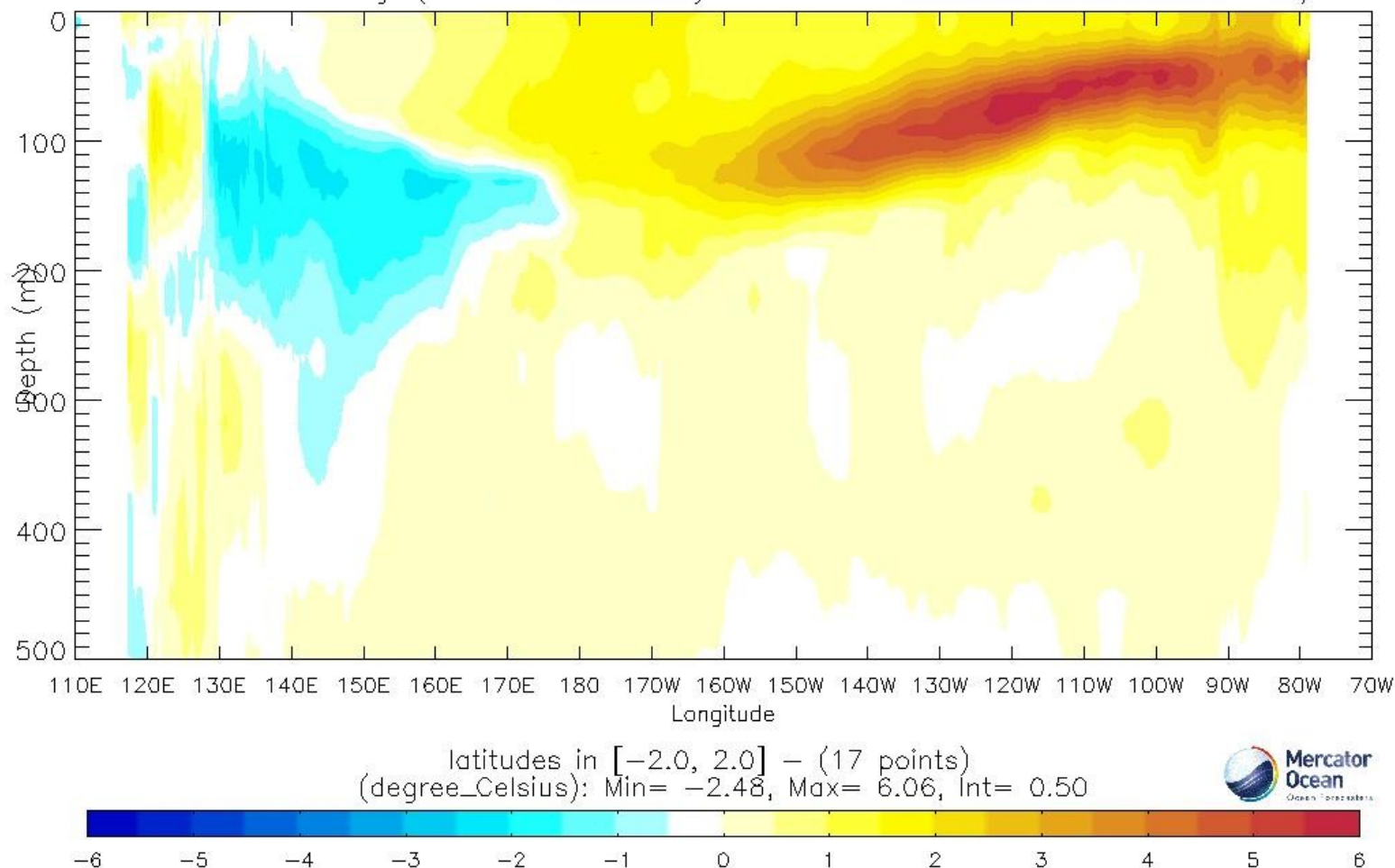


# Chantier 3 : Réanalyses globales (Gilles Garric)

## Anomalie également en 2015

Glorys  
réanalyses  
1993-2015  
Diffusion  
Comparaison  
réanalyses  
Utilisation  
BCG: ex  
température  
pacifique

PSY3V3R3 T Anomaly (ref: GLORYS2V3) cross section 2°N–2°S Pacific 05/2015





2015/2016

## 1) Nouvelle version GLORYS $\frac{1}{4}^\circ$

- Réduction des biais, procédure d'initialisation
- extension aux années 80
- amélioration pour la prévision saisonnière et l'étude de la variabilité océanique:

## 2) « Réanalyse » Globale $1/12^\circ$ période 2007-2015.

- Réanalyse courte basée sur le système temps réel

## 3) Configuration CREG

- Pour préparer les réanalyses haute résolution, l'analyse ensembliste et l'assimilation de glace de mer ...
- Mise en place de CREG4 et CREG12 sur la période 2007-2015 incluant LIM3



# Réanalyses globales biogéochimie

(Coralie Perruche, Aurélie Albert)

Simulations globales forcées par les réanalyses océaniques et atmosphériques

1) Dans le cadre de CMEMS : global  $\frac{1}{4}^\circ$

2)  réanalyse biogéochimique sur le 20eme siècle

Based on ECMWF settings, we designed a NEMO configuration forced by ERA-20C atmospheric data and we coupled it with PISCES.

Spin-up phase of 10 years 1891-1900 (forced by 1900 ERA-20C in loop)

Biogeochemical initial state from an IPSL run ORCA05-LJS18

Physical model needs to be evaluated further before working on biogeochemistry

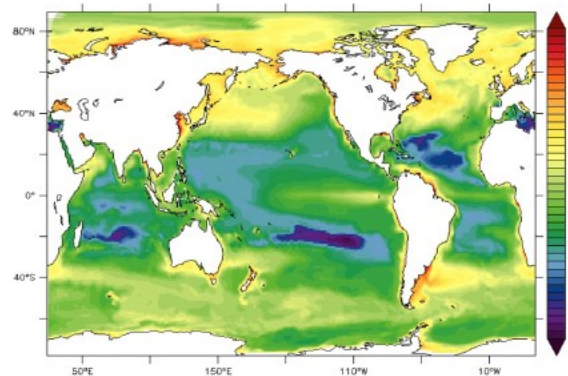
Workplan :

- simulation 1900-1910
- comparison NEMO-PISCES offline versus online
- offline tests (frequency of forcing 5d/1m, total vertical diffusion, etc ...)
- effect of nudging/damping to oceanic part of CERA-20C to allow for physical bias correction

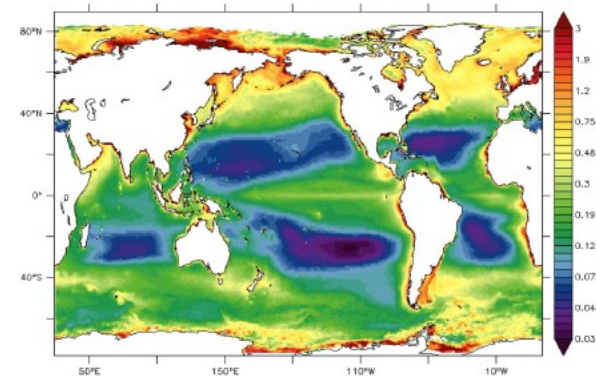
# Réanalyses globales biogéochimie

The offline NEMO-PISCES strategy : biogeochemical model

Surface chlorophyll

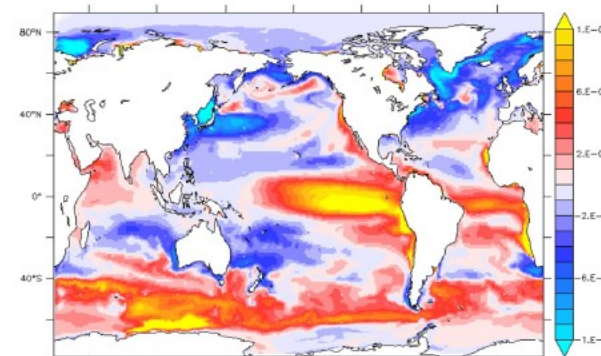


Our ORCA1\_LIM\_PISCES sim y1900

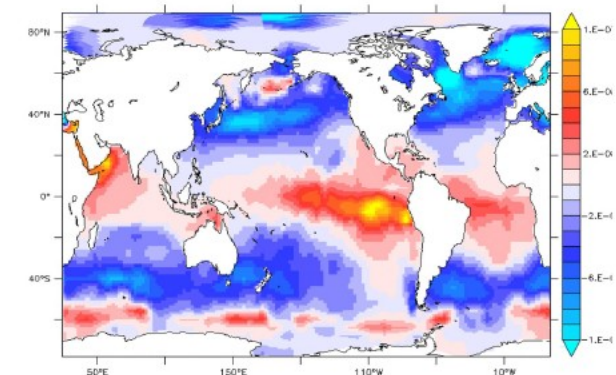


GLOBCOLOR data 1998-2011

Sea-air carbon flux



Our ORCA1\_LIM\_PISCES sim y1900



Takahashi data 2007

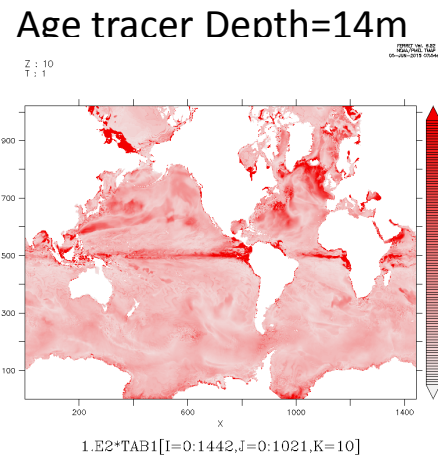
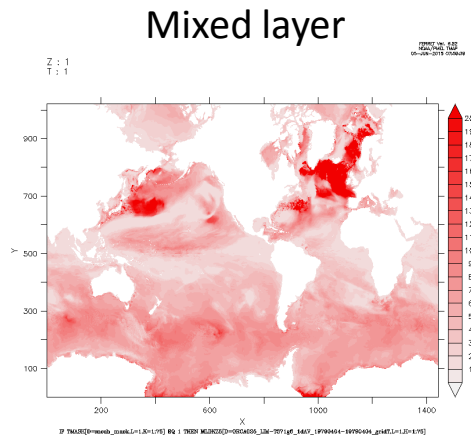


# Le coarsening on line dans NEMO

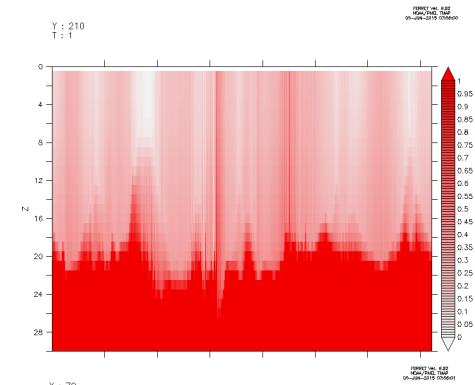
(Clément Bricaud)

- En cours de développement
- Objectif prochaine version de NEMO fin 2015.

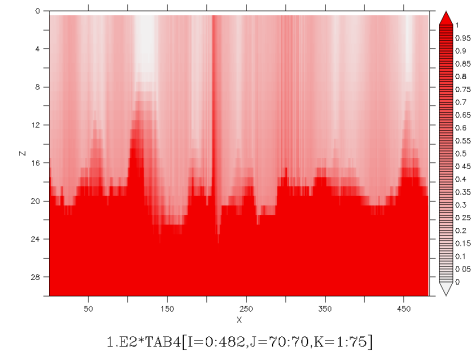
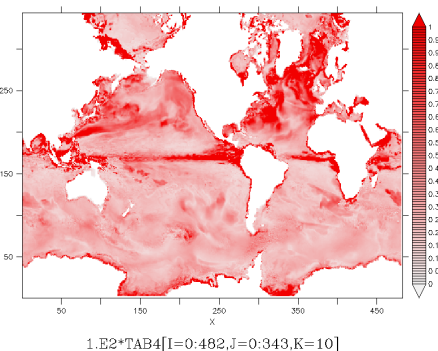
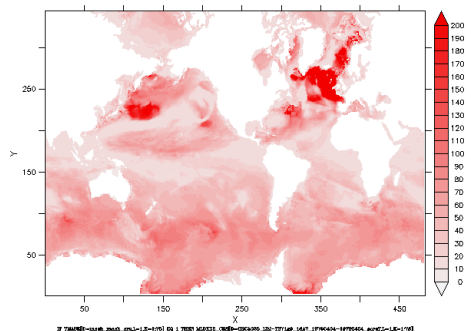
NO coarsening



Age tracer  
Zonale section 58° south



coarsening



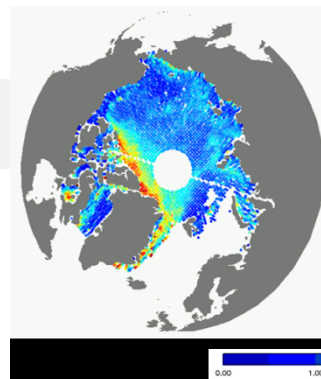


# LIM3 sea ice model in the global $\frac{1}{4}^\circ$

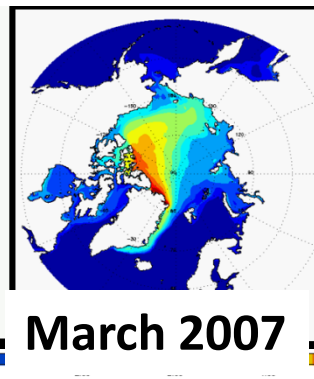
(Gilles Garric)

A more realistic sea ice thickness with LIM3.

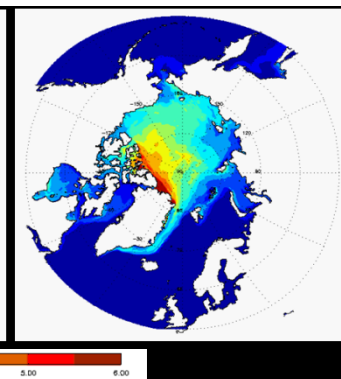
ICESat



LIM2

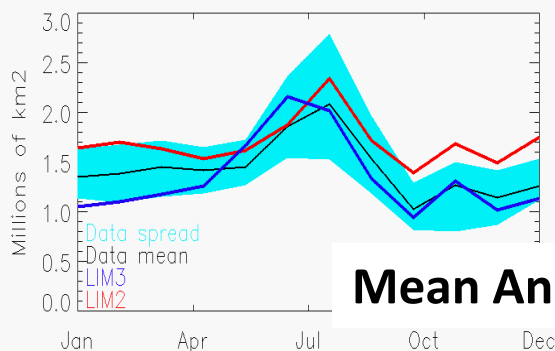


LIM3

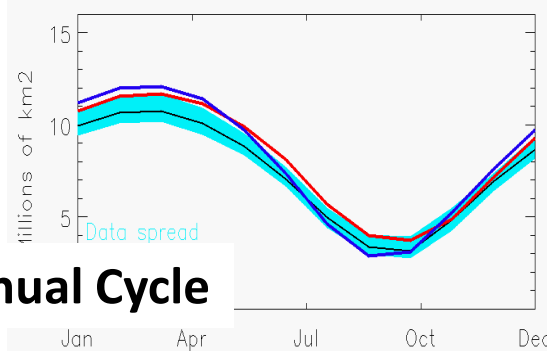


March 2007

Leads



Sea Ice Extent



Mean Annual Cycle

Leads with LIM3 in the observed « spread » and closer to observations.

Comparison to an ensemble of observations  
(NSIDC, CERSAT, OSI-SAF, ESA-CCI).

➡ **Cf Poster : Sea ice thermodynamics and high latitudes freshwater forcing developments in a global operational oceanographic context.** C. Bricaud, G. Garric, L. Chateigner, J. Tournadre, M. Vancoppenolle, C. Rousset, R. Bourdalle-Badie, J. Chanut



# Evolution des systèmes de réanalyses

2017

## Objectifs CMEMS:

- Réanalyses d'ensemble globale  $\frac{1}{4}^\circ$  basée sur multi modèle CMEMS (ensemble de réanalyses)
- Réanalyse globale  $1/12^\circ$  période altimétrique 1993-2015 (physique et biogéochimie).

## Préparer la suite : configuration CREG

- Réanalyse CREG12v1 2007-présent
- Réanalyse d'ensemble ECREG4v1 2007-présent

2020

## Objectifs CMEMS:

- Réanalyse globale  $1/12^\circ$  assimilation physique et bio période altimétrique 1993-2019
- Réanalyse globale ensemble  $\frac{1}{4}^\circ$

## Préparer la suite : configuration CREG

- Nouvelle physique :vagues, Couche Limite Atmospherique, marée
- Nouvelle assimilation : Assimilation biogéochimie, assimilation couplé glace/océan, assimilation d'ensemble



# Chantier 4 : Réanalyses régionales

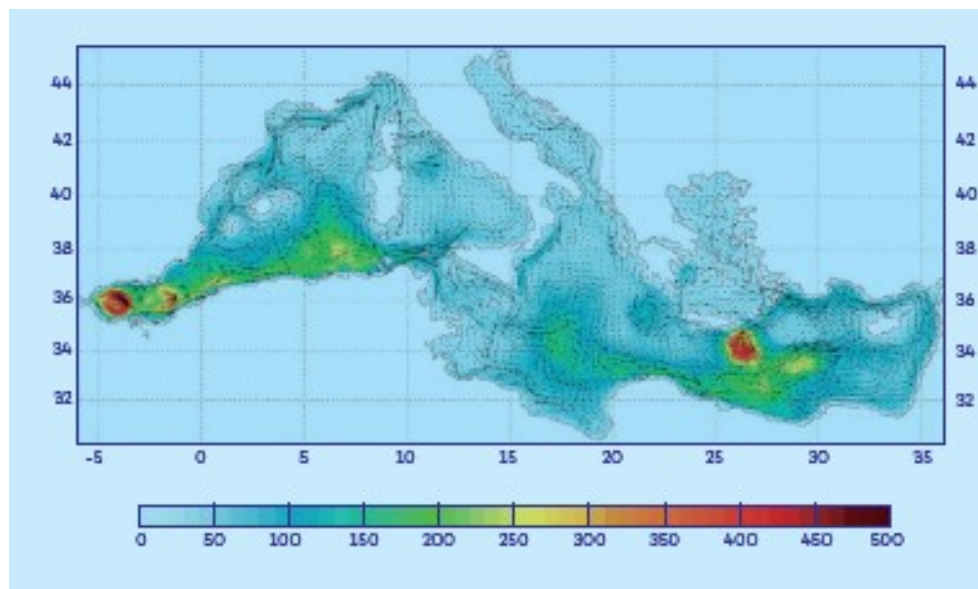
(Marie Drévillon)

## 2 régions la Méditerranée (MEDRYS) et la Facade Atlantique (IBIRYS)

### MEDRYS : réanalyse Méditerranée (Jonathan Beuvier)

#### Caractéristiques et conclusions de la 1<sup>ère</sup> réanalyse Méditerranée

- High-resolution numerical ocean model NEMOMED12, with an homogenous high-resolution atmospheric forcing over 1979-2013 (3h-12km ALADIN-Climate), giving a consistent 34-year free simulation.
- MEDRYS1V1, 21-year regional reanalysis with assimilation of SST, altimetry and in situ data.
- Good behaviour of surface circulation and variability (mean state and small scales features).
- Realistic trends and interannual variability in the surface and intermediate layers.

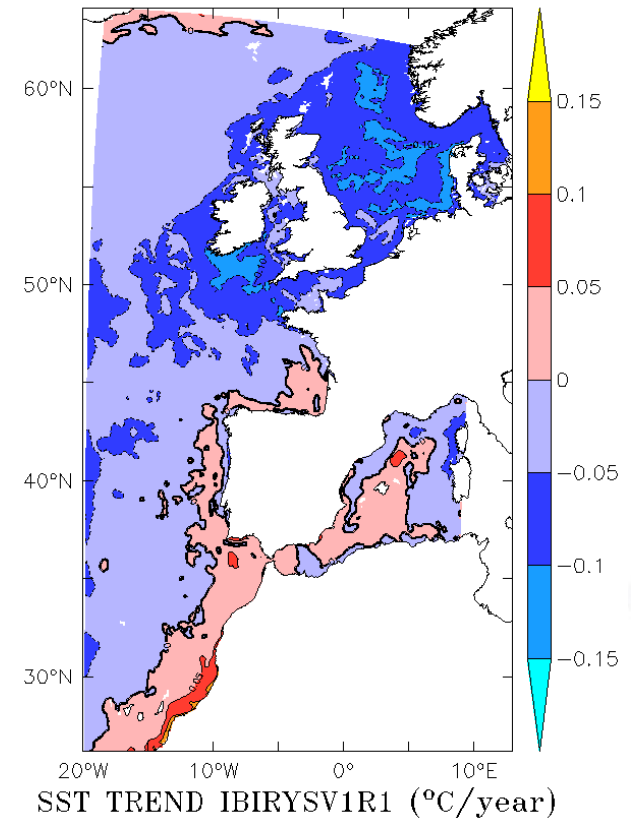


Plus d'info sur :  
Présentation SiMED  
Poster MEDRYS

En préparation « Design and validation of MEDRYS, a  
Mediterranean Sea reanalysis over 1992-2013” Hamon et al.

## Regional High Resolution Reanalysis (physical and biogeochemical) over the European North East Shelf

- Model: NEMO (phys.) and PISCES (bio.)
- Period: 2002-2011
- Resolution: 1/12°
- Assimilation: Kalman filter (SEEK)
  - along-track SLA, SST (Reynolds AVHRR), in-situ profiles (CORA3.4)
- Atmos. forcing: ERA-interim (3h)
- Tidal forcing
- Boundaries and IC: GLORYS reanalysis



Sotillo et al, 2015 : The MyOcean IBI Ocean Forecast and Reanalysis Systems: operational products and roadmap to the future Copernicus Service.



# Planning réanalyses régionales

**IBIRYS (1/12°)/MEDRYS (1/12° )**

**2016:**

**IBIRYSV1R1 (NEMO2.3): extension de la période à 2012-2014**

**MEDRYS1V2 : réduction du cycle à 5 jours, nouvel équivalent modèle SLA, nouvelle MDT, adaptativité des erreurs d'observations**

**2017:**

**IBIRYSV1R2 (NEMO3.6 + SAM2): 2002-2015**

**2018:**

**IBIRYSV2R1: 1992-2015**

**La suite :**

**Pour la **MED** et **IBI** augmentation de la résolution des réanalyses (1/36° )  
couplage avec la biogéochimie, assimilation d'ensemble.**



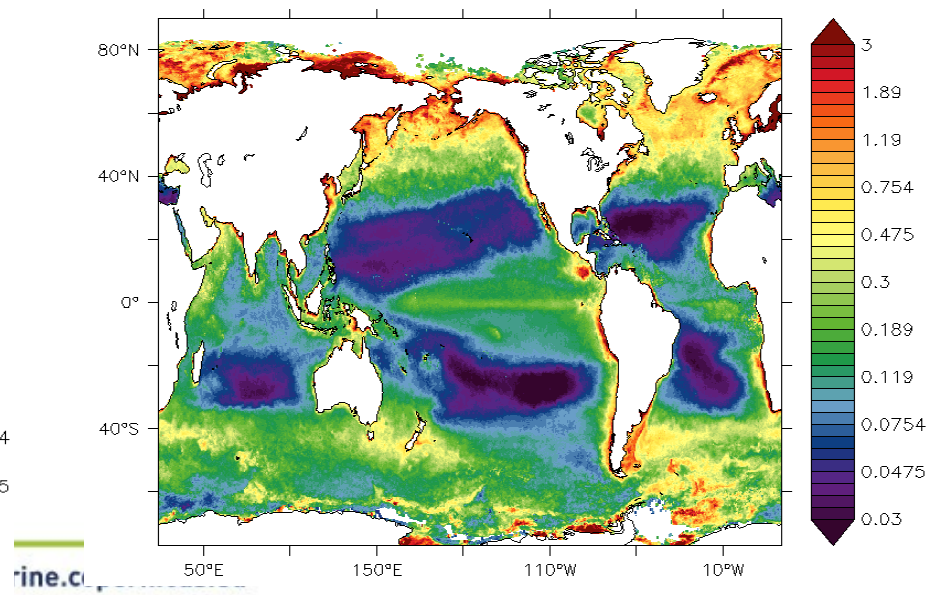
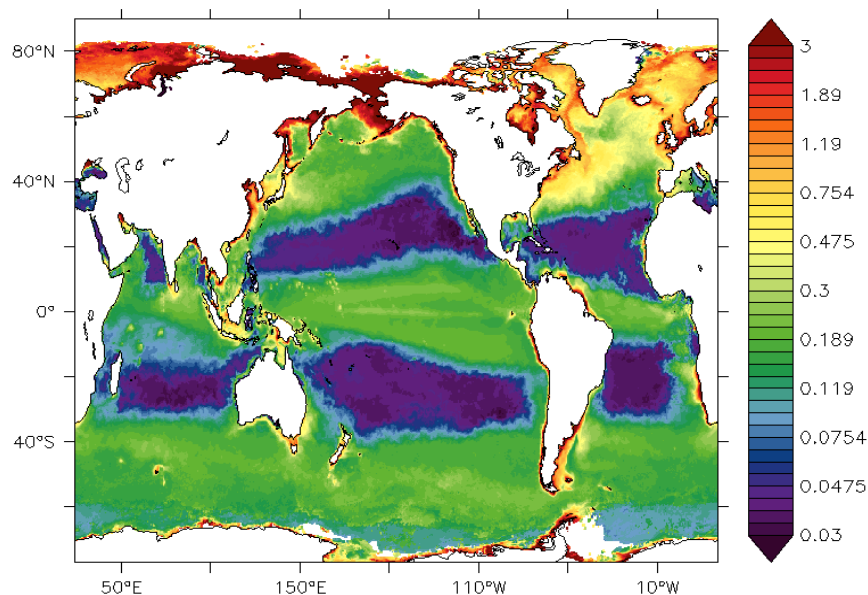
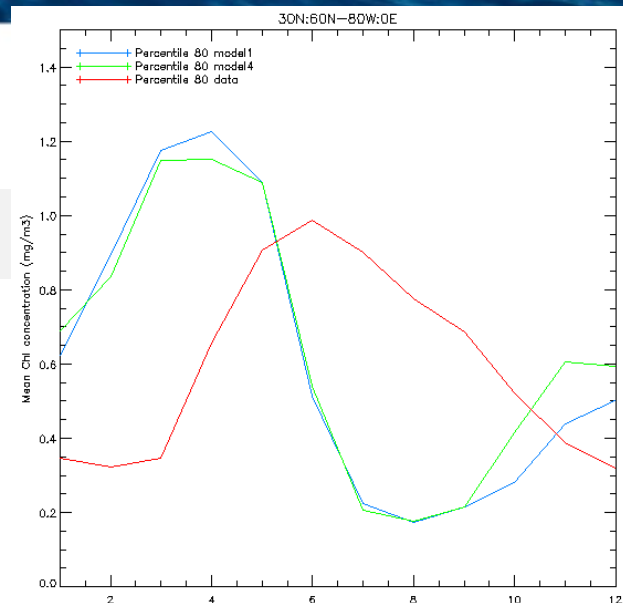
# Chantier 5: Assimilation de la biogéochimie (Yann Drillet)

## Pourquoi l'assimilation de la couleur de l'eau?

2 défauts principaux

Améliorer le phasage du cycle saisonnier dans  
les systèmes temps réel et réanalyse.

Surproduction dans la bande équatoriale





## Chantier 6 : Observations océaniques actuelles et futures (Elisabeth Remy)

Observation impact studies are performed regularly with the real-time Mercator Ocean monitoring and forecasting systems to:

- ✓ **quantify the impact** of the present observation network in Mercator Ocean analysis and forecasts,
- ✓ **verify that observation information is « optimally » used** in the analysis step and improve the assimilation components (observation operator and error variance)
- ✓ **demonstrate the value of an observation network** for operational ocean analysis and forecasts,
- ✓ **help designing** the future observation network.

### Tools :

- ✓ Observing system evaluations (OSE) and Observing System Simulation Experiments (OSSE) (1-year at least)
- ✓ Definition of sensitive diagnostics to observation network changes
- ✓ Alternative approaches to assess observation impact: DFS / “information content”

## Ongoing projects:

- ✓ SWOT SDT (CNES, Mounir Benkiran)
- ✓ Real time OSE for altimetry (CNES)
- ✓ Impact of a SAR altimeter compared to an LRM (thèse Simon Verrier)
- ✓ Argo float network (E-AIMS)
- ✓ Characterization of the model error spatial scales (thèse Floriane Ninove)
- ✓ Tailored Altimeter Product for Assimilation Systems
- ✓ Sea Surface Salinity (Benoit Tranchant)

## Future projects:

- ✓ Atlantos (OSE for physical variables and OSSE for biogeochemical variables)
- ✓ GODAE (OSE et DA TT)



## Sensitivity of the ocean global $\frac{1}{4}^\circ$ forecasts to the Argo float network (1-year OSEs, E-AIMS project).

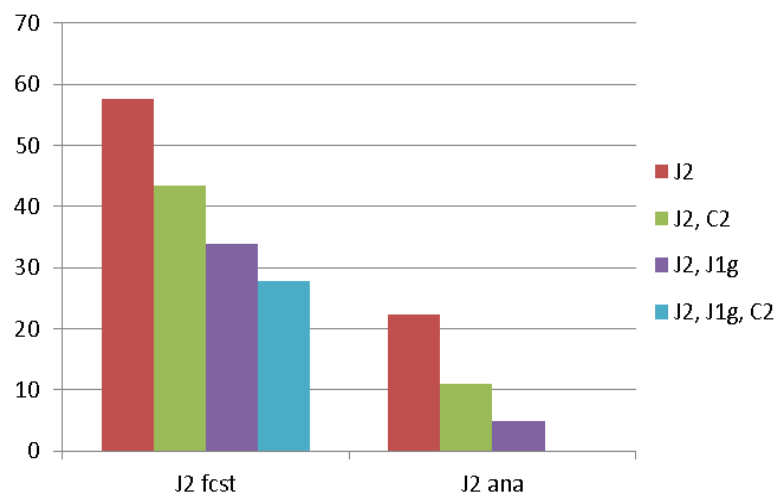
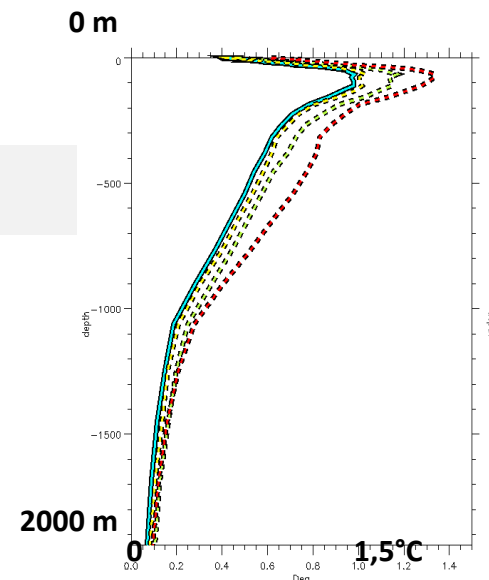
Vertical structure of RMS of temperature Innovations from 0-2000m for a simulation with *all Argo floats assimilated* (blue), *half of them* (yellow), *none* (green) and *a free model simulation* (red).

The sensitivity is regionally dependent.

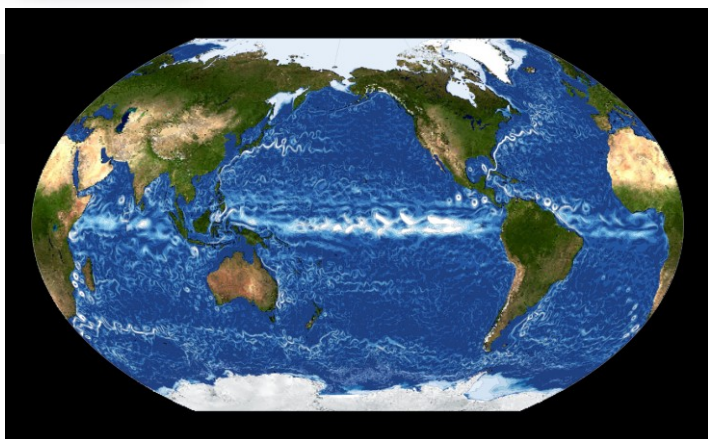
## Sensitivity of the $1/12^\circ$ North Atlantic analysis and forecasts to the assimilated altimeters (CNES fundings)

Relative RMS SLA innovation and residual increase in % for Jason 2 depending on the number of altimeter assimilated. The reference is the Jason2 RMS residual when 3 altimeters are assimilated.

The altimeter specificities, observation error and orbit, have an influence on the analysis and forecast quality.

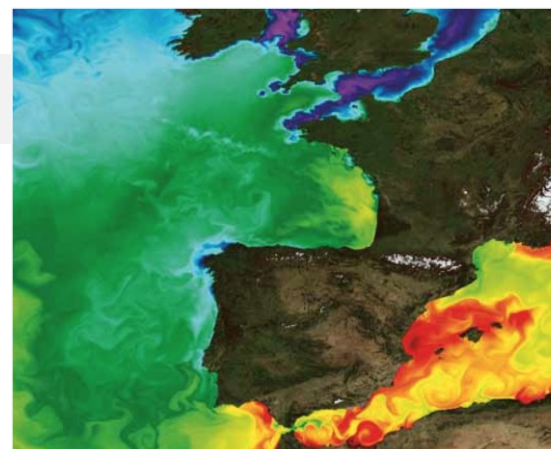


## Système global



- **Simulation sans assimilation de données au 1/12°:**  
75 niveaux verticaux  
Période: 1979-2013 (35 ans)
- **Simulation avec assimilation de données au 1/12° (rattrapage temps réel):**  
50 niveaux verticaux  
Période: 2012-2015

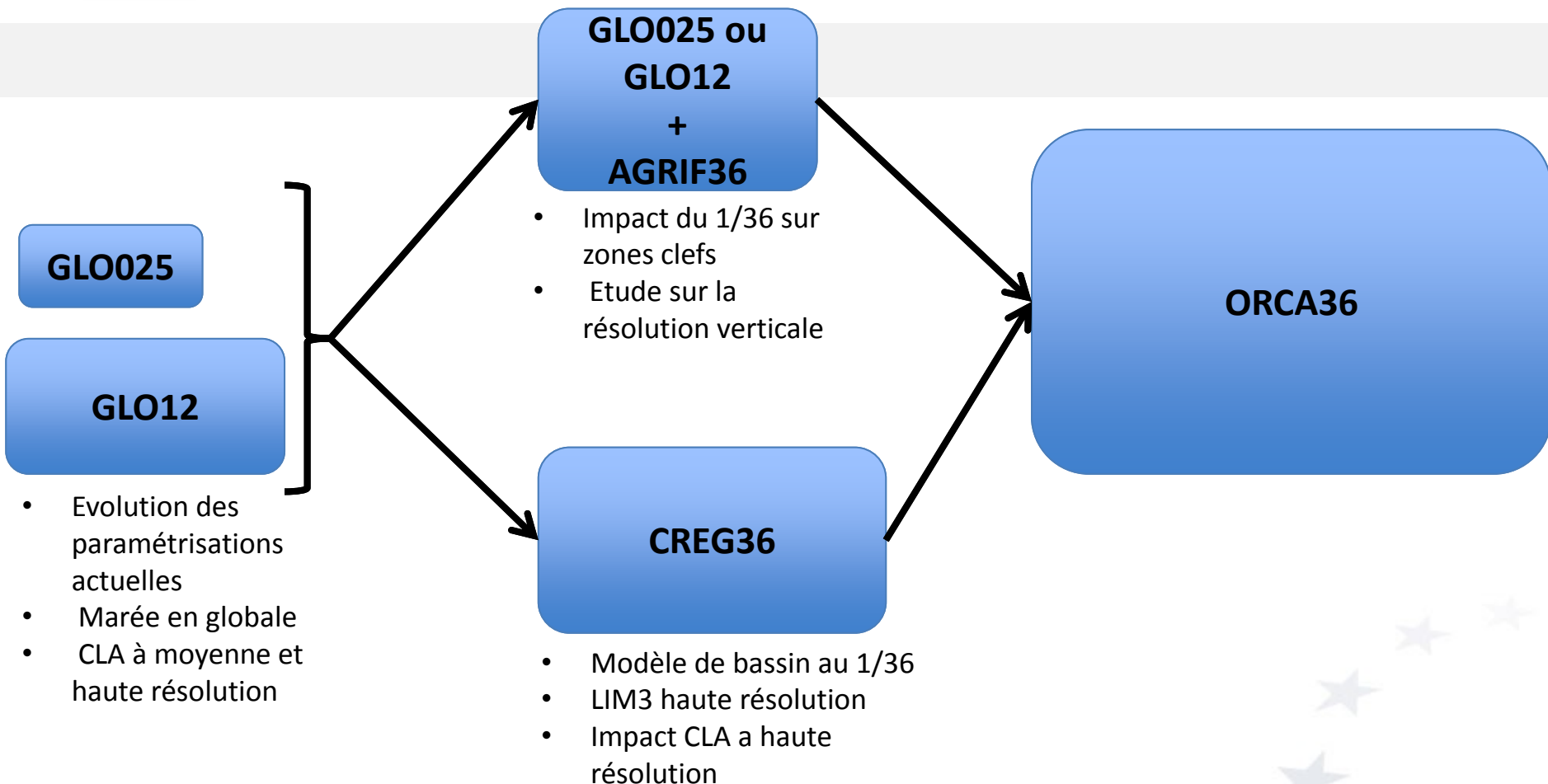
## Système régional



- **Simulation sans assimilation de données au 1/36° sur Façade Atl. ou Med.:**  
50 niveaux verticaux  
Période: 2001-2013 (13 ans)
- **Simulation avec assimilation de données (rattrapage temps réel) :**  
50 niveaux verticaux  
Période: 2012-2015

# Chantier HR: Evolution à 7 ans

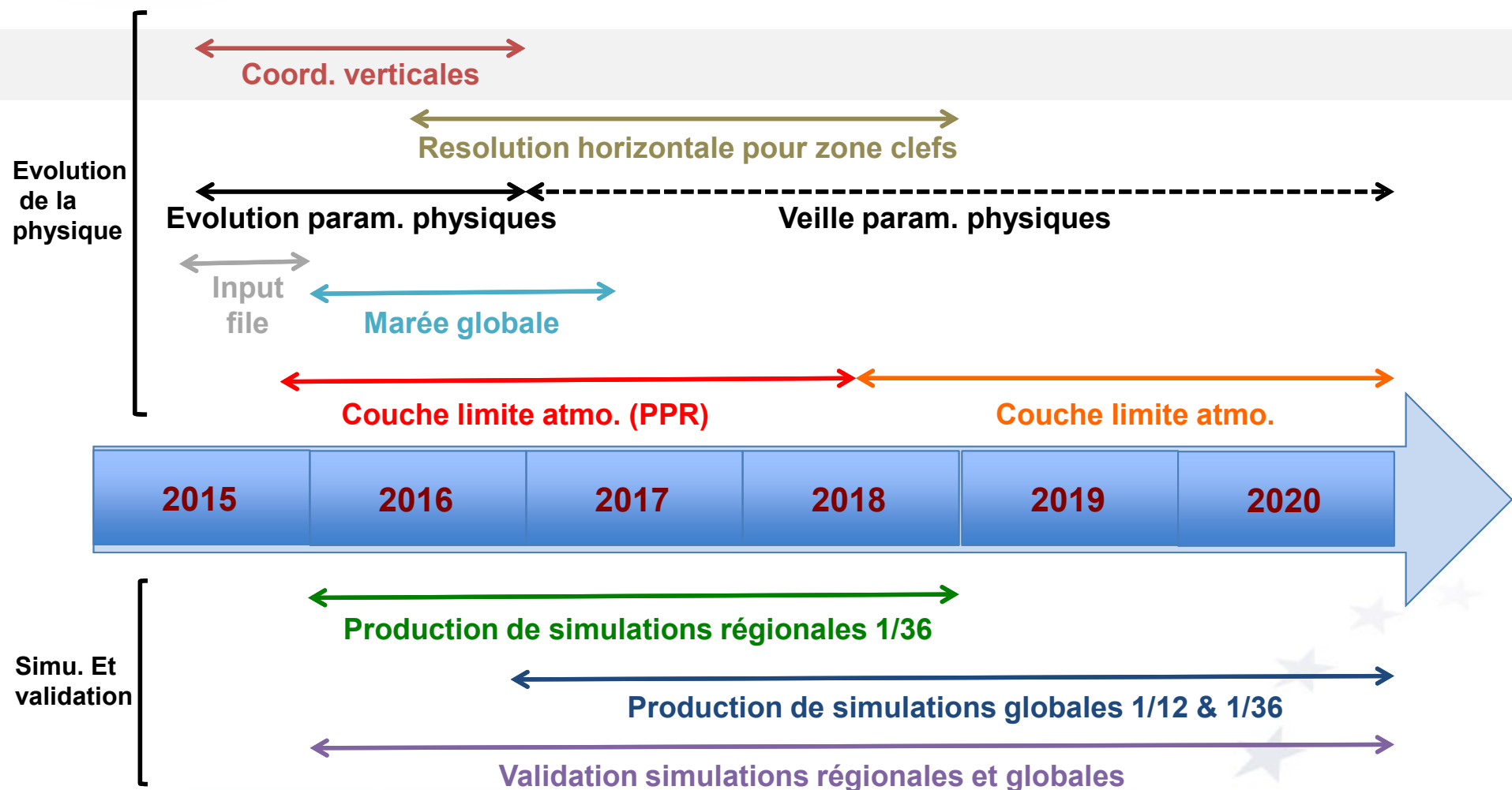
## Evolution croissante de la complexité et de la taille





# Chantier HR: Calendrier

## Calendrier des tâches du chantier HR





# Chantier 8 : Assimilation ensembliste

## (Charles Emmanuel Testut)

### **Development of an Ensemble approach for operational applications** (V. Vervatis)

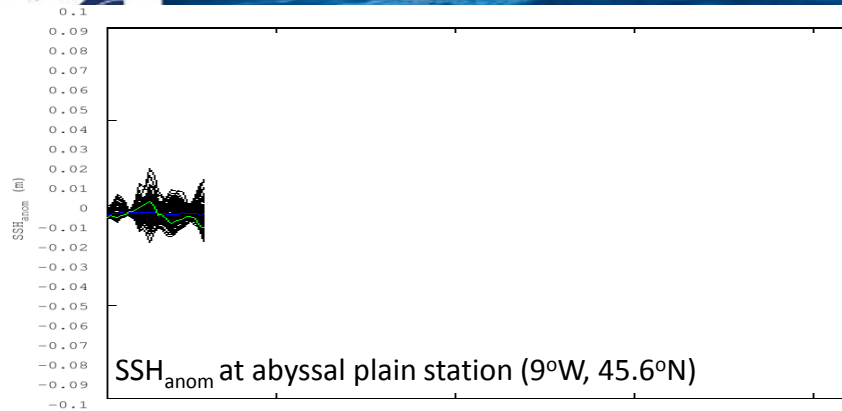
#### Context:

- Long term operational goal (~2020) :  
=> Use an Ensemble approach through all Mercator systems in order to :
  - increase the efficiency
  - provide a probabilistic representation of the forecast

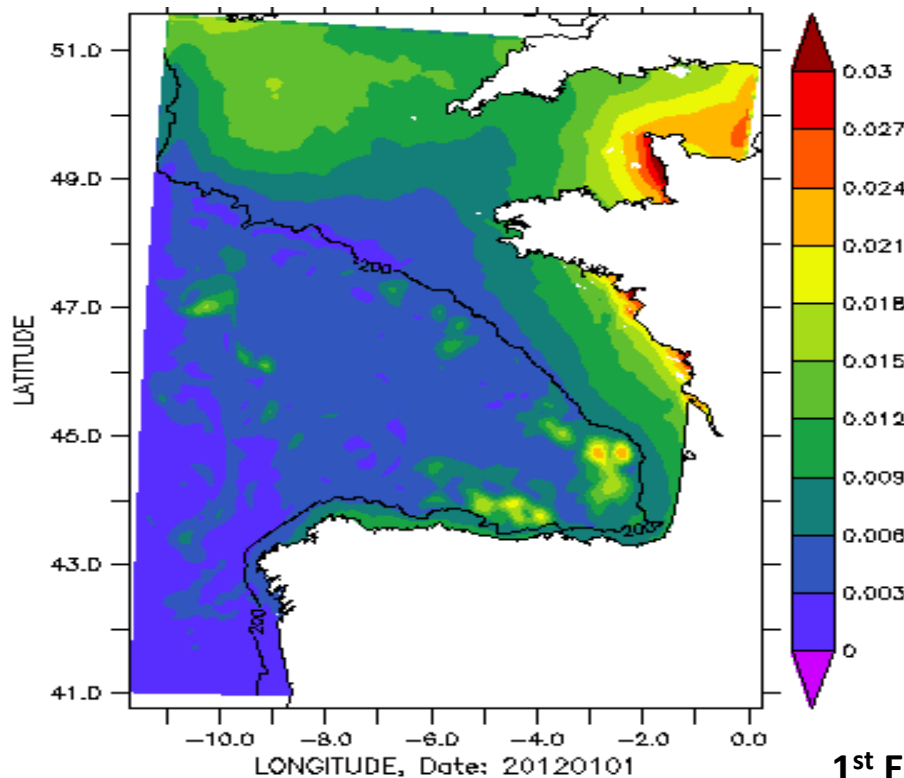
#### Framework of the development of an Ensemble scheme

- progressive dev/transformation of the Mercator data assimilation tool (SAM2)
- No regressive quality in the results at each upgrade of the system
- Huge configuration : Global 1/36, 100000 processors, 100 millions of observation, 100 000 observations for each local bubble

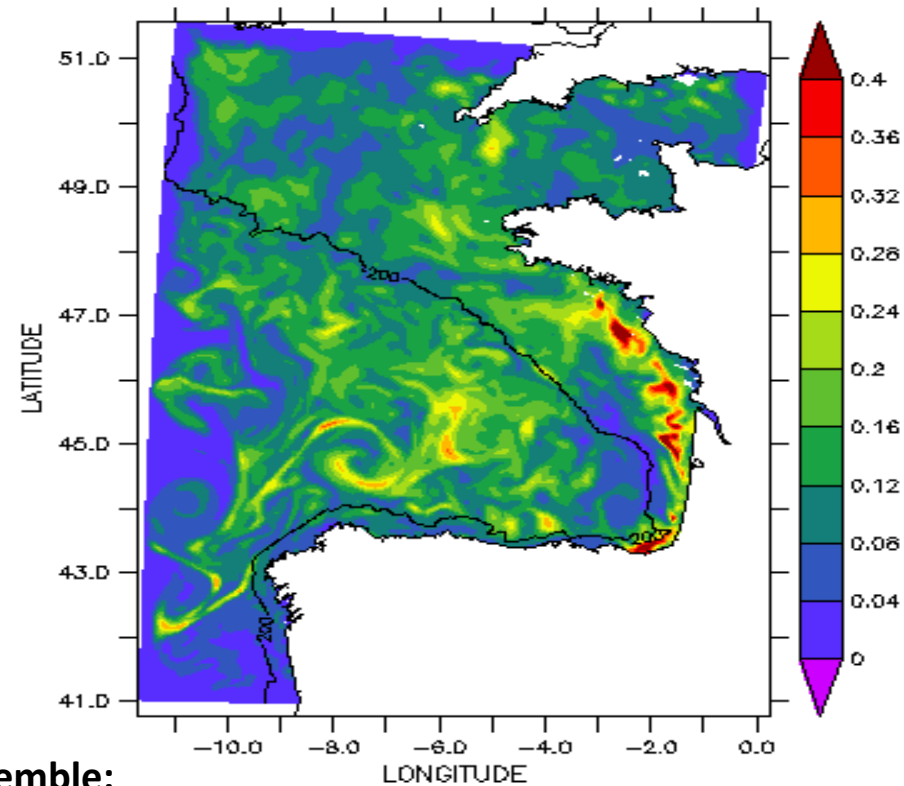
# Ocean Response to Wind Perturbations



- Abyssal plain (SST errors):  
large spread at the periphery of eddies
- Abyssal plain (SSH errors):  
low frequency mesoscale decorrelation
- Armorican Shelf (SST errors):  
large spread at the river sources



Spread SSH (m)



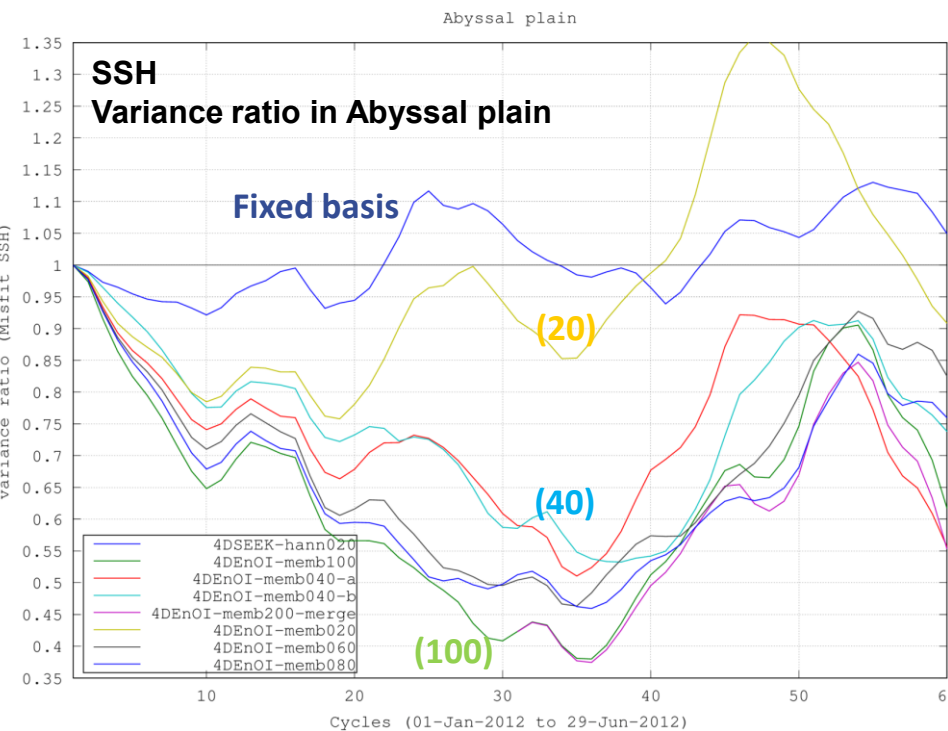
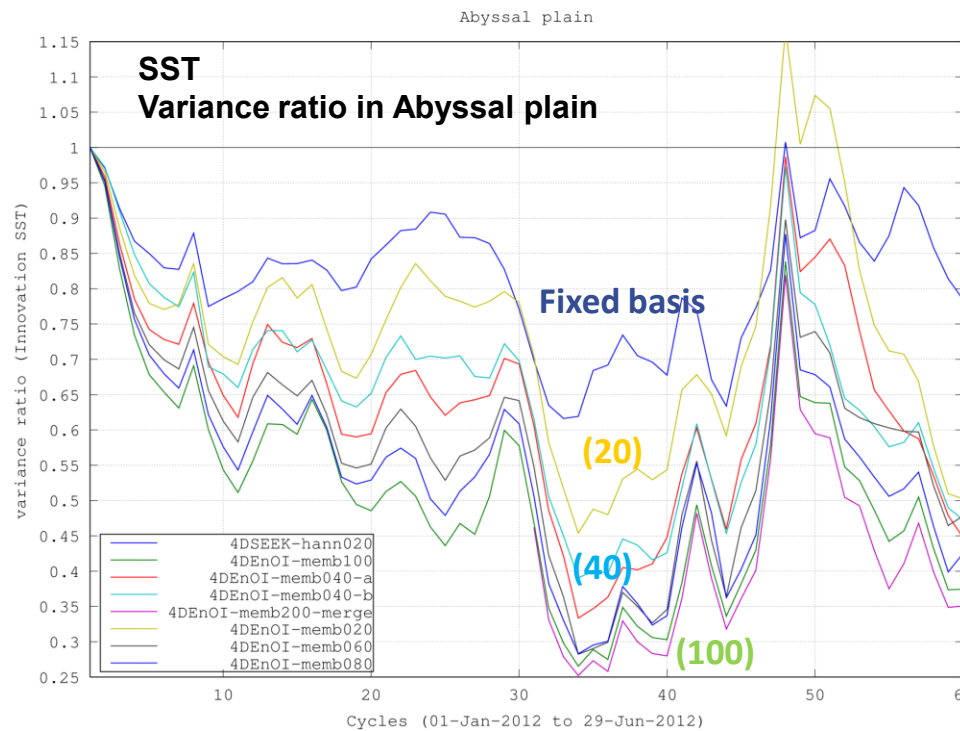
Spread SST (°C)

1<sup>st</sup> Ensemble:

01.Jan.2012 - 29.Jun.2012



# DA Experiment: Ensemble Size





# *Conclusion*

**8 Chantiers pour lesquels des collaborations doivent être mises en place**  
**Il y en a déjà beaucoup qui fonctionnent : NEMO, DRAKKAR, SiMED, Mercator Vert, SIMBAD, ENIGME, AMICO ...**  
**Le GMMC est là pour ça, il y a un nouvel appel d'offre cette année**

**On a de quoi s'occuper!**