



Introduction à la discussion « Assimilation de données pour les modèles régionaux/côtières »

Avec des résultats du gdt GMMC "assim/Gascogne":

N. Ayoub, M. Benkiran, G. Charria, Ph. Cranéguy, P. De Mey, F. Dumas, C. Heyraud, Hoang H.-S., J. Lamouroux, S. Raynaud, C.-E. Testut et al.

Usages possibles de l'assimilation en mers régionales/côtières/plateau

- Correction de l'état des modèles (y compris biais malgré difficultés théoriques) (l'assim n'améliore pas les modèles!)
- Estimation de paramètres (p ex diffusion), de variables non observées (subsurface, 2D), inversion (structure en modes verticaux)
- Amélioration des prévisions : routine (seulement à l'échelle régionale?), situations de crise (adv/diff de traceurs)
- Evaluation objective de la performance de réseaux d'obs: politique d'instrumentation de site (à la IOOS), observing system simulation experiments (OSSEs), etc.
- Downscaling statistique
- Initialisation
- Utilisation du cadre théorique: études de sensibilité, de prévisibilité (p.ex. Ensembles, "what if?").

VIFOP: Initialisation des modèles imbriqués

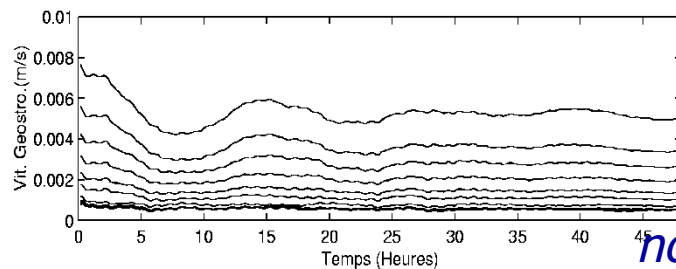


- Une interpolation simple conduit à l'échec (bathymétrie, trait de côte, etc.)
- Auclair et al. (JAOT 2000) → approche variationnelle

$$\mathbf{J} = \underbrace{\left(\mathbf{x}^a - \mathbf{x}^b\right)^T \mathbf{B}^{-1} \left(\mathbf{x}^a - \mathbf{x}^b\right)}_{\text{Background (GCM)}} + \underbrace{\left[\left(\begin{array}{c} \mathbf{y}^o \\ \delta_t \mathbf{y}^o \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \mathbf{H} \\ \mathbf{H}^\delta \end{array} \right) \mathbf{x}^a \right]^T \mathbf{R}^{-1} \left[\left(\begin{array}{c} \mathbf{y}^o \\ \delta_t \mathbf{y}^o \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \mathbf{H} \\ \mathbf{H}^\delta \end{array} \right) \mathbf{x}^a \right]}_{\text{Obs + tendencies of key variables}}$$

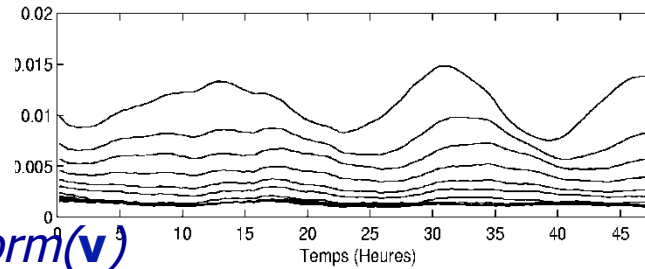
- Minimisation des transitoires de gravité suivant l'initialisation: linéaire tangent barotrope contenu dans \mathbf{H}^δ

SYMPHONIE
Golfe du Lion

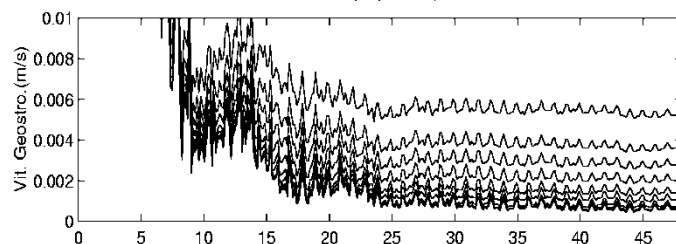


Composante géostrophique

$norm(\mathbf{v})$



sans



Composante agéostrophique

avec
contrôle
des
tendances

Quelques caractéristiques

- Communauté très réduite
- Physique et algorithmique: problème d'assimilation spécifique
 - HR, HF, marées, couplages, OBC, guide d'ondes, non-homogénéité statistique etc.
- Le positionnement stratégique de l'assimilation en côtier reste à préciser!
 - Encore très peu de réseaux d'obs. pérennes dans l'océan côtier
 - Apport de l'assimilation à préciser vis-à-vis des autres forçages: C_àl latérales, fleuves, atmosphère (plateaux)
 - Coût de l'assimilation vis-à-vis des autres développements de R&D: Evolutions numériques, résolution, forçages, bathymétrie, etc.
 - Lien vis-à-vis du downscaling; (non-)existence d'estimés d'erreur validés des modèles parents.

Objectifs du groupe de travail « assim Gascogne » du GMMC

- Analyser ensemble les approches et résultats d'assimilation des équipes participantes autour de périodes d'étude, domaines et variables communes
 - *Lieu*: Golfe de Gascogne en situations d'hiver et d'été, plateau + plaine, surface
 - *Variables*: surtout SST et SSH
 - *Méthodes stochastiques*: EnKF, EnOI, ArM, filtrage de rang réduit
 - *Aspects physiques*: processus dans le s/e d'erreur, apport de l'assimilation, etc.
 - *Aspects algorithmiques*: méthodes, nombre de membres, validité du spread, etc.
 - *Aspects données*: évaluation objective de la performance des réseaux
- Identifier les points délicats et sujets d'étude prioritaires
- Finalité double: (1) scientifique; (2) science en support de l'opérationnel

Activités

- Réunion 1, 21 septembre 2010, Toulouse
 - Prise de connaissance des études en cours dans les différentes équipes
 - Identification d'une marche à suivre pour le GdT
 - Préparation de la réunion 2
 - Choix d'une période hivernale (hiver 2007-2008)
- Réunion 2, 22-23 septembre 2011, station Ifremer de l'Houmeau
 - Représentation multivariée des s/e d'erreur, processus d'erreur importants
 - Préparation de la réunion 3
 - Représentation des erreurs sur deux périodes estivales (2006 et 2009)
 - Evaluation de l'assimilation de SST
- Réunion 3, 2-3 avril 2013, Brest
 - Avancement scientifique sur les thèmes ci-dessus
 - Bilan (en cours – rapport dû fin avril)
 - Débat autour de la suite à donner à ce GdT (se poursuit jusqu'à l'été).

Participants

Participants « permanents » (11):

- Nadia Ayoub, LEGOS
- Mounir Benkiran, CLS
- Guillaume Charria, IFREMER
- Philippe Cranéguy, ACTIMAR
- Pierre De Mey, LEGOS
- Franck Dumas, IFREMER
- Catherine Heyraud, ACTIMAR
- Hoang Hong-Son, SHOM
- Julien Lamouroux, NOVELTIS
- Stéphane Raynaud, ACTIMAR
- Charles-Emmanuel Testut, MO

Participants occasionnels (5):

- Rémy Baraille, SHOM
- Martial Boutet, thèse SHOM
- Yves Morel, SHOM
- Cyrille de Nicola, CDD LEGOS
- Giovanni Quattrocchi, CDD LEGOS/MO

Projets « proches »

- EPIGRAM
- MyOcean, MyOcean2
- Previmer
- JERICO
- OSTST, SWOT SDT

- Manque travaux de F. Lyard (SpEnOI), P. Marchesiello, et al.
- Manque collègues européens

Configurations

Groups	Configurations	Assimilation
PREVIMER / ACTIMAR Dumas, Cranéguy, Heyraud, Reynaud, Charria, (Lamouroux)	MANGA <ul style="list-style-type: none"> MARS3D <u>4km</u> Obc MERCATOR + tides 	<ul style="list-style-type: none"> EnKF (NERSC) ArM (coll. NOVELTIS+LEGOS) Data: SST, in situ (ArM)
LEGOS / NOVELTIS Ayoub, De Mey, de Nicola, Lamouroux	BOB-REG1 <ul style="list-style-type: none"> SYMPHONIE <u>3km</u> Obc PSY2v3 + FES 	<ul style="list-style-type: none"> AEnKF (BELUGA) Stoch. mod. ArM Data: ALT, SST, ++
MERCATOR Océan / LEGOS Testut, De Mey, Ayoub, Quattrocchi, Vervatis,	BISCAY36 <ul style="list-style-type: none"> NEMO <u>1/36°</u> Obc PSY2v3 + FES2004 	<ul style="list-style-type: none"> SAM-2 (→ EnOI) Stoch. mod. Data: ALT, SST, (profils)
MERCATOR Océan / CLS Benkiran	REAIBI12 <ul style="list-style-type: none"> NEMO <u>1/12°</u> Obc GLORYS2V1 + FES2004 	<ul style="list-style-type: none"> SAM-2 + 3D-Var Data: ALT, SST, profils
SHOM Hoang, Baraille, Boutet	HYCOM/BoB <ul style="list-style-type: none"> HYCOM <u>2km</u> Obc MERCATOR + tides 	<ul style="list-style-type: none"> Reduced-order scheme based on AF and Schur vectors Data: ALT, SST

- Configurations surtout régionales pour l'instant, résolution O(3km)
- Marées, O(10) composantes
- Schémas d'assimilation principalement ensemblistes.

IBI-1/12° REANALYSIS (2002-2009)

IBI-1/12° 2002-2009 reanalysis:

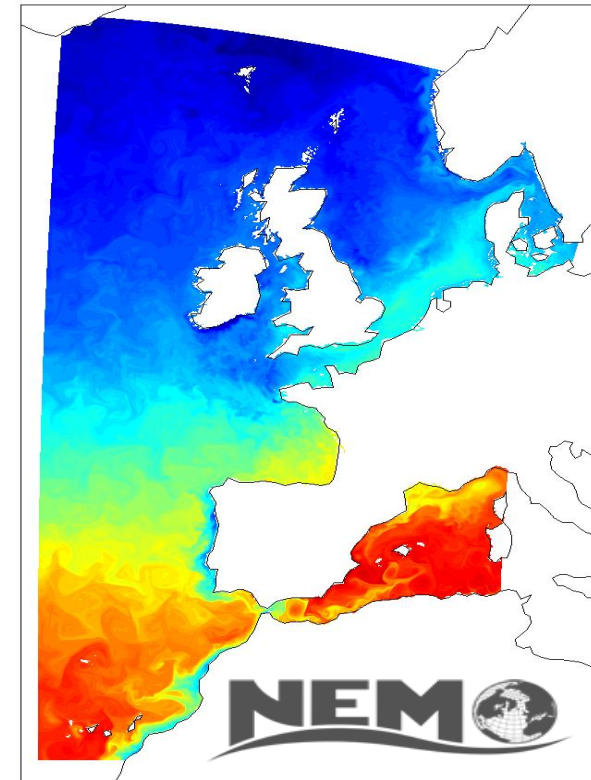
- **explicit free surface**, « **time splitting** » + Variable volume formulation
- **k- ϵ** : the Generic Length Scale (GLS) formulation (Umlauf and Burchard, 2003)
- **Tides** (including potential) : M2, S2, K2, N2, K1, O1, P1, Q1, M4, Mf, Mm
- **Atmospheric pressure forcing**
- Open boundaries from GLORYS2V1 1/4° reanalysis (daily)

Data Assimilation:

- Reduced order Kalman Filter (SEEK formulation)
- 3D-VAR Bias corrections : for T and S
- Incremental Analysis Updates (IAU) : Analysis J-2.5
- SST Correction in Bulk
- Quality Control of in situ observation

Assimilated Observations:

- Along track **SLA** observations From AVISO, usual corrections applied
→ filtering of tides in the Observation Operator H
- In situ **profiles**, S from CORA3.1 data base
- Reynolds AVHRR 1/4° **SST**

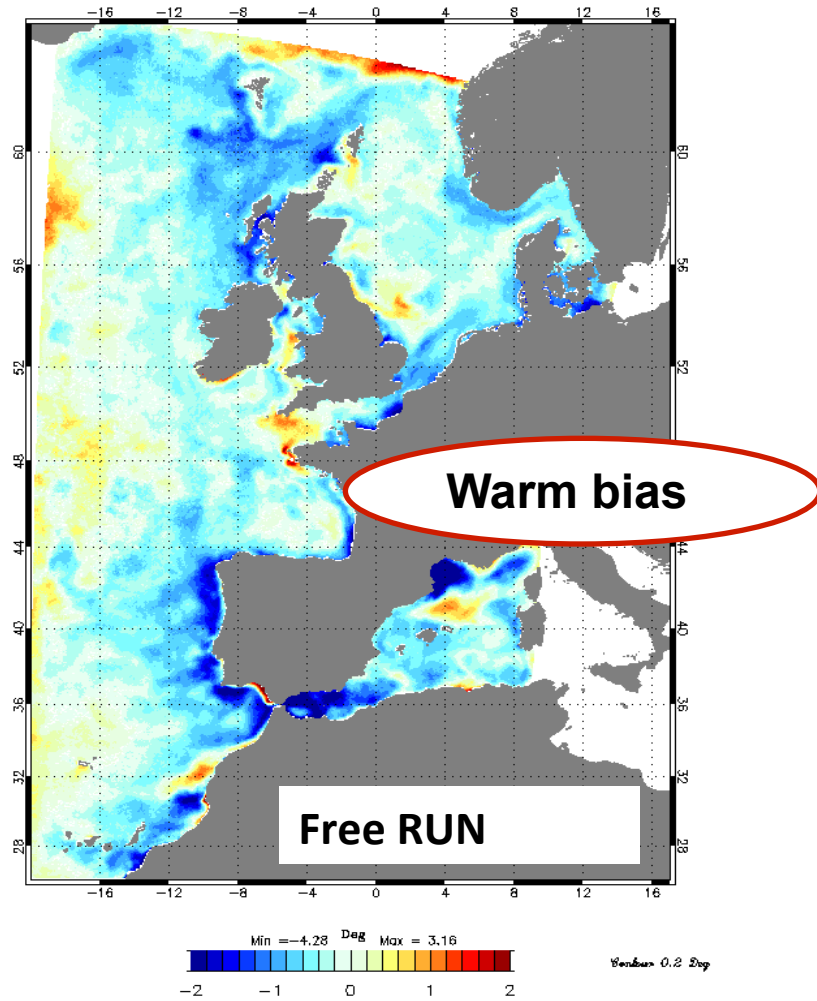


SST : MODEL vs L3S

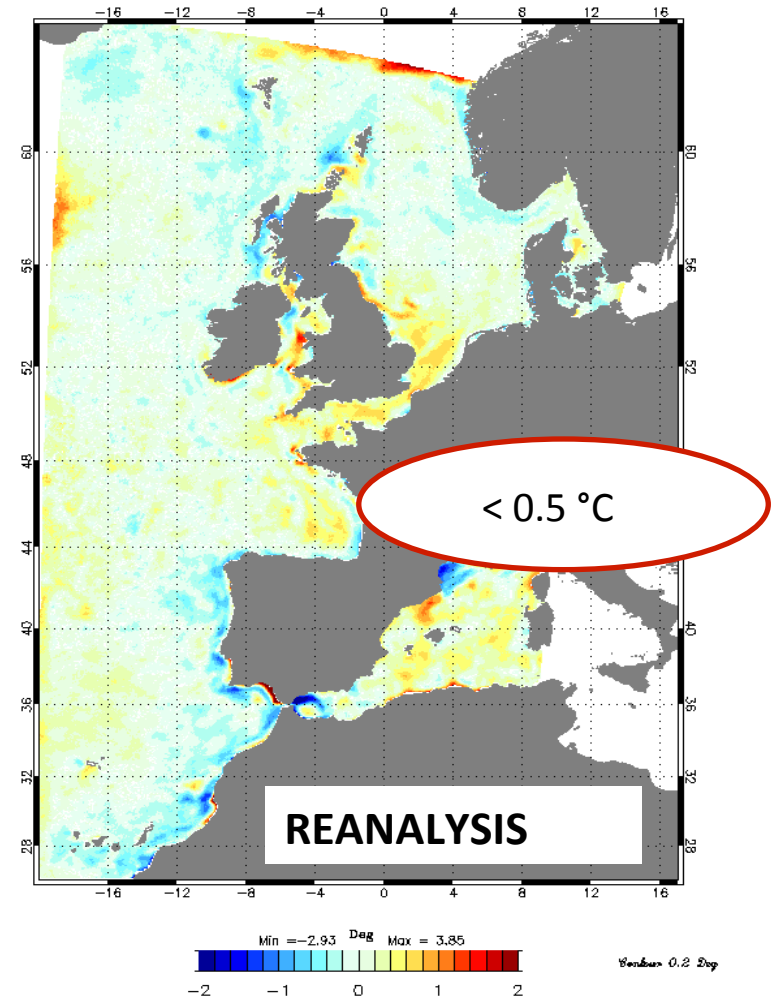
L3S (CMS **non assimilated**, 5x5 Km, Jul-Aug-Sep/2008)

Mean bias : SST(CMS) - SST(Model)

Mean bias (FREE RUN) : SST(CMS) - SST(Mod) for (JOS) 2008



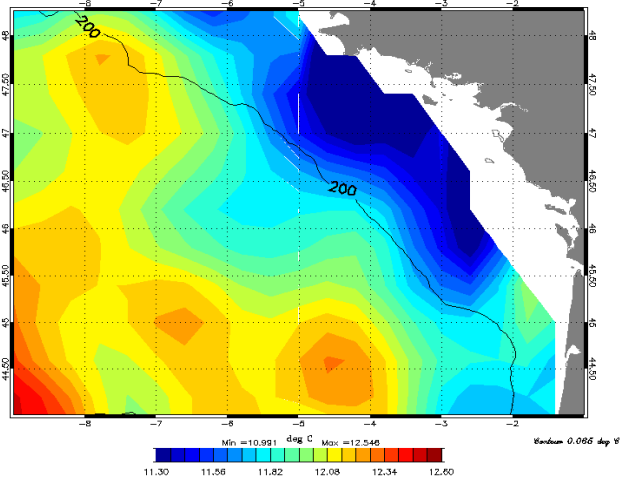
Mean bias (SAM V1 RUN) : SST(CMS) - SST(Mod) for (JOS) 2008



Bourrelet d'eau froide

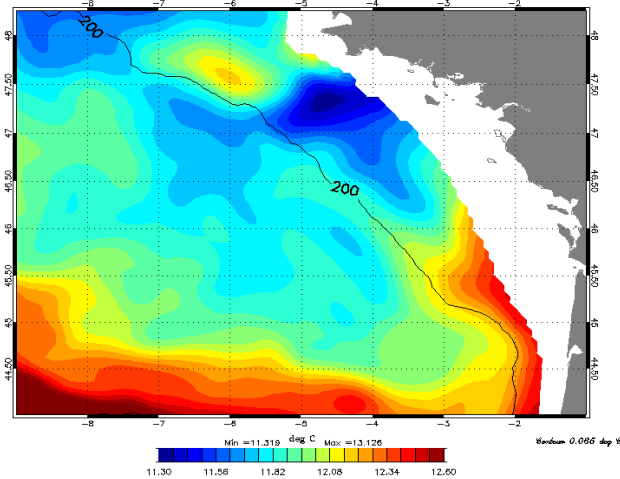
Mean (August) Temperature at 100m

Temperature (August) at 105m : BOBYCLIM



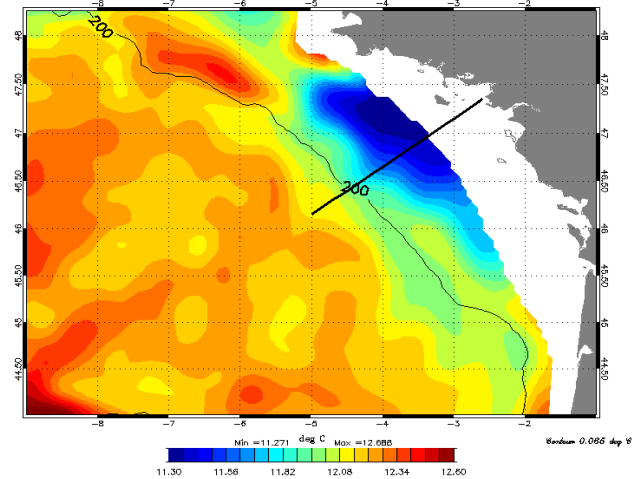
BOBYCLIM

Mean Temperature (August 2002-2009) at 105m : Free Model



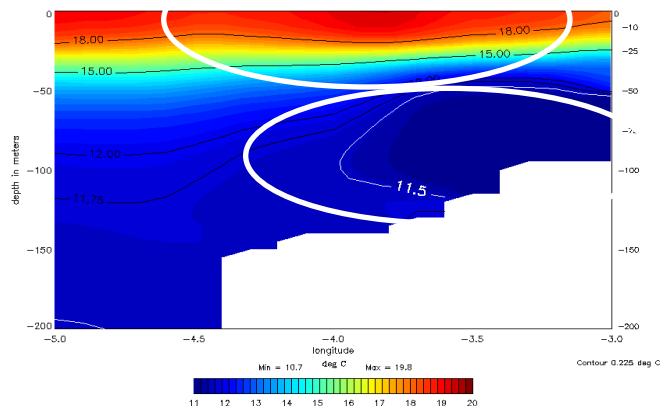
FREE RUN

Mean Temperature (August 2002-2009) at 105m : REAIBI V1

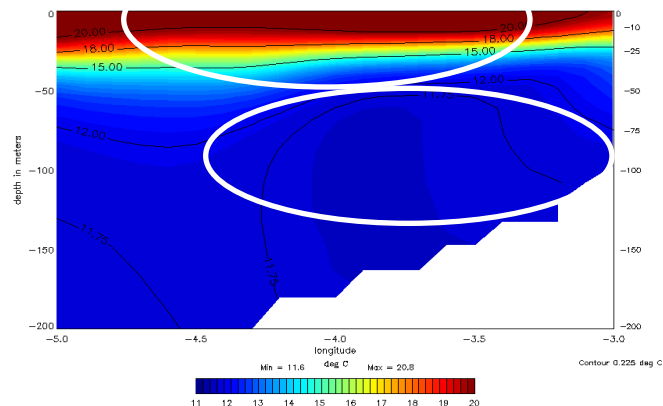


REAIBI12V1

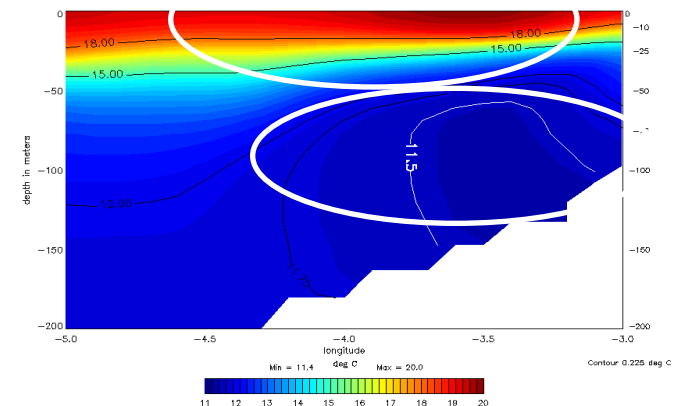
BOBYCLIM (August)



Mean Temperature (August 2002-2009) : Free Model

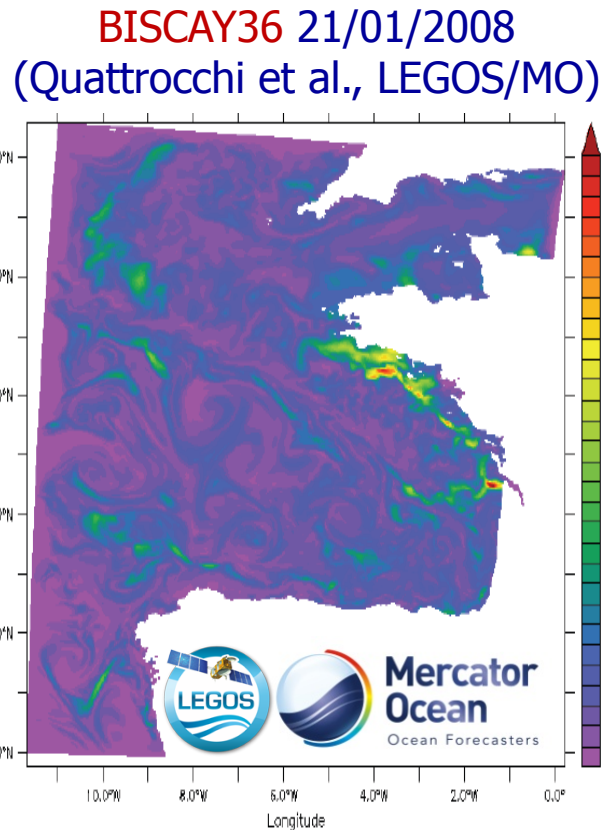
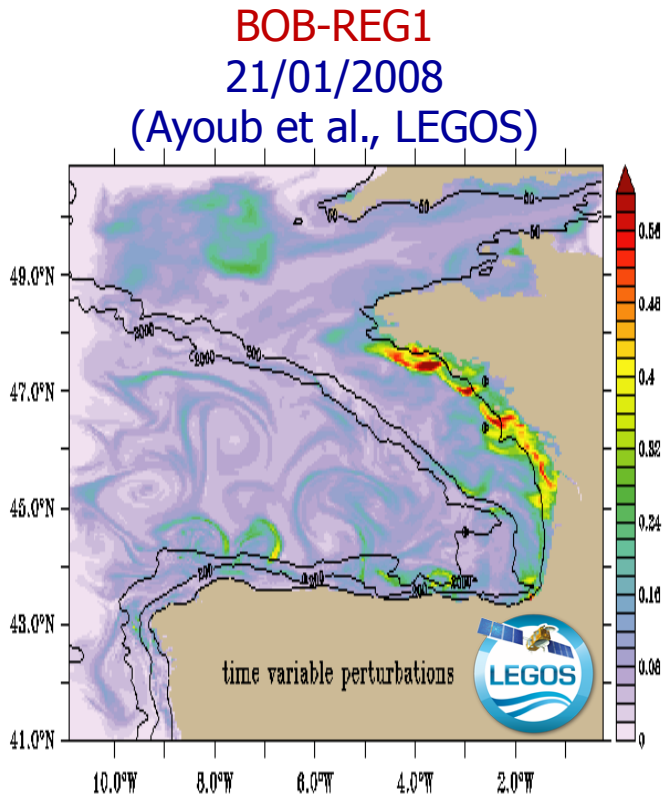


Mean Temperature (August 2002-2009) : REAIBI V1

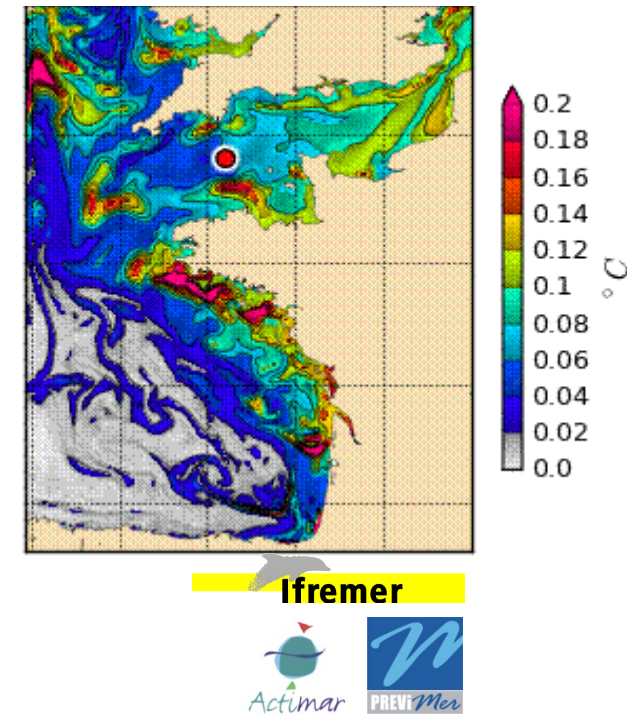


Community assessment of model error in the BoB: ensemble-based error estimates in winter 2007-2008

SST Ensemble stdev($^{\circ}\text{C}$) in response to wind uncertainties



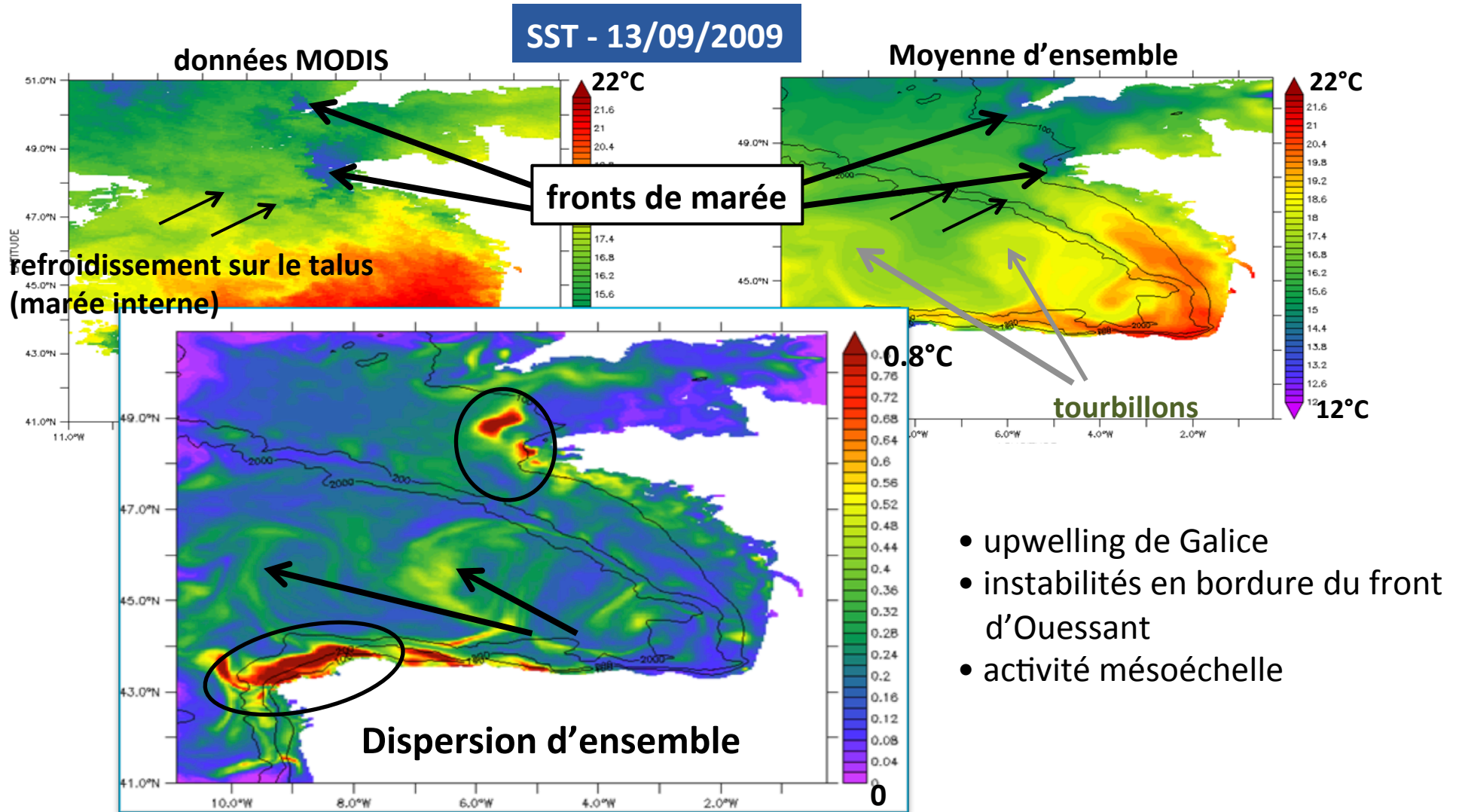
MANGA 15/01/2008
(Heyraud et al., Actimar/IFREMER)



- Specific response on the shelf (intense, faster, small-scale patches)
- Specific response over the abyssal plain (weaker, slower, filament-like)

Quelle est la sensibilité des processus physiques représentés dans le modèle au forçage stochastique en vent ?

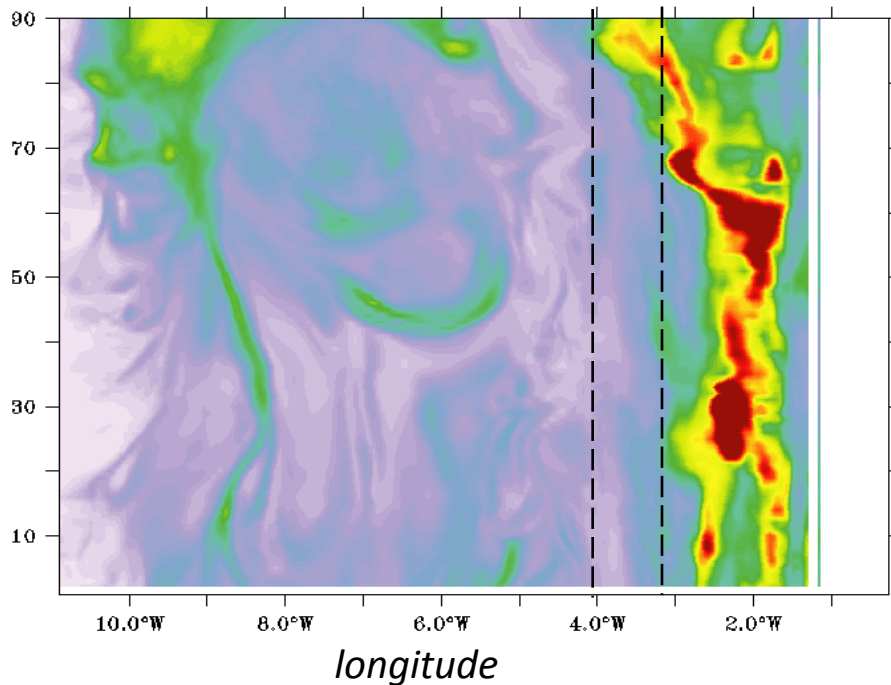
Ensembles de 54 simulations en Jan-Mars 2008 et Juin-Août 2009 générés en perturbant le vent



Quelle est la sensibilité des processus physiques représentés dans le modèle au forçage stochastique en vent ?

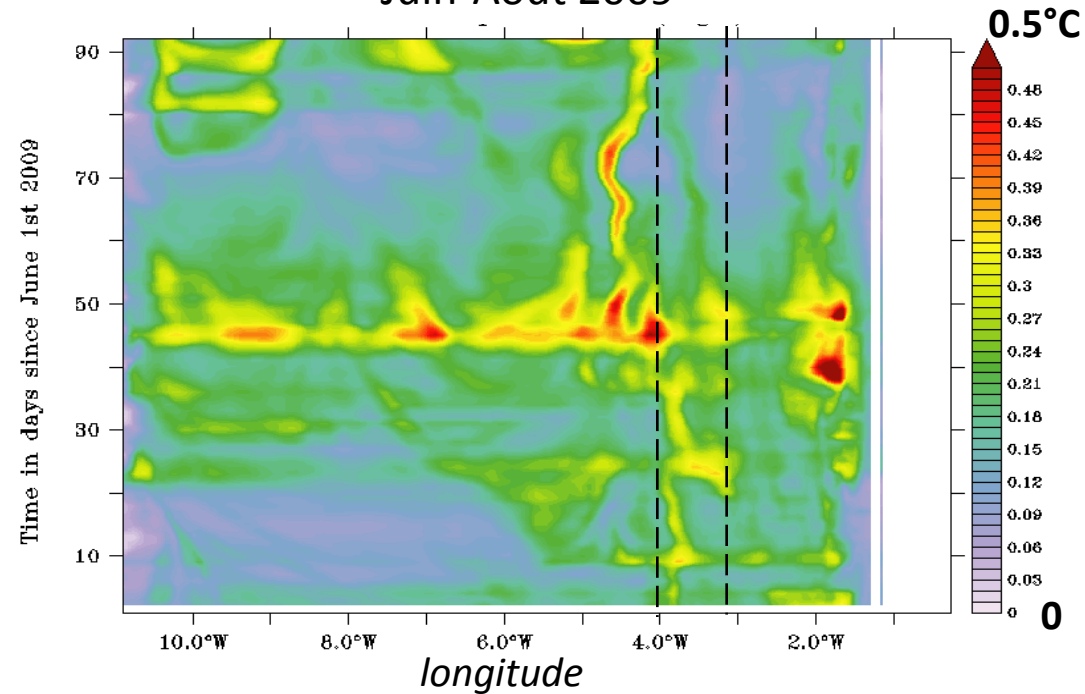
Dispersion d'ensemble en SST à 46°N comparaison hiver/été

Jan-Mars 2008



- régimes plateau/plaine
- faible dispersion dans la plaine (MLD profonde)

Juin-Août 2009



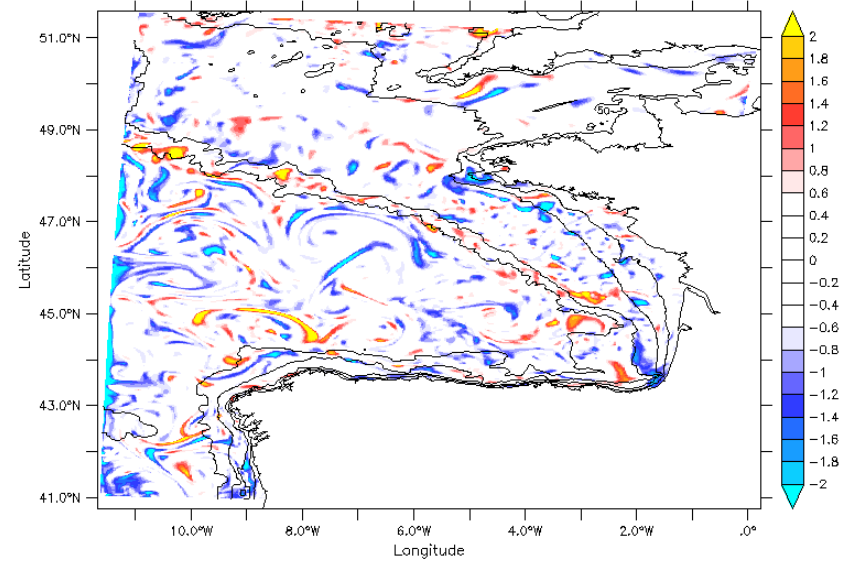
- régimes plateau/talus/plaine
- coup de vent du 11-15 juillet

Distribution statistique des erreurs hiver 2007-2008 – NEMO

DEPTH (m) : 0.494
T : 0.5 to 40.5

DATA SET: ENS__20080115_20080116_gridT

FERRET Ver 6.303
NOAA/PSEL TRUF
Jan 24 2012 16:45:44

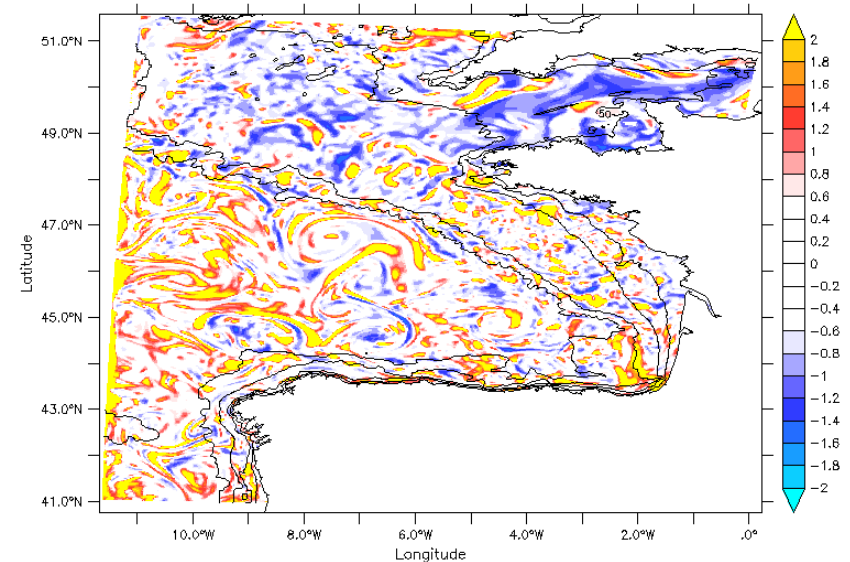


SST_skewness

DEPTH (m) : 0.494
T : 0.5 to 40.5

DATA SET: ENS__20080115_20080116_gridT

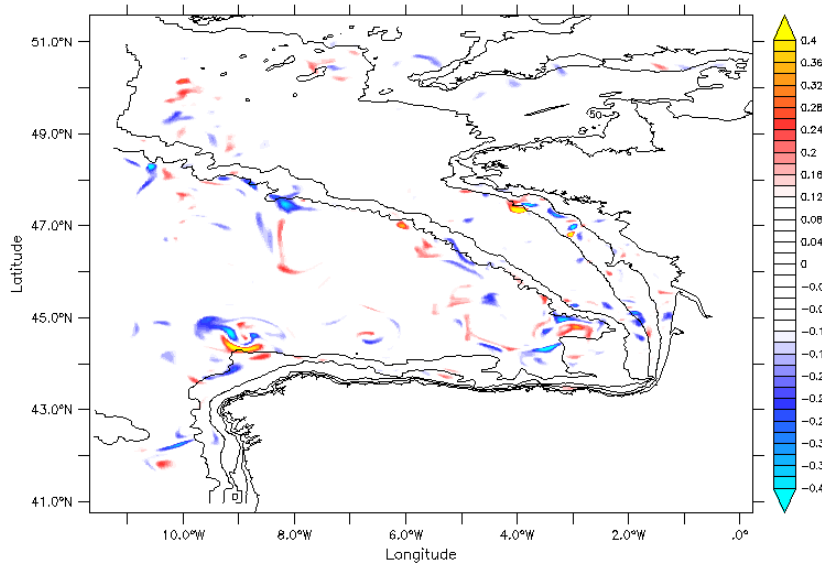
FERRET Ver 6.303
NOAA/PSEL TRUF
Jan 24 2012 16:45:44



Excess_KURT

DEPTH (m) : 0.494
T : 0.5 to 40.5 DATA SET: BISCAY-T24_1dAV_20080115_20080116_gridT_R20071201

FERRET Ver 6.303
NOAA/PSEL TRUF
Jan 24 2012 12:55:04



ENSmean-Reference

Risque d'effet diffusif d'une assim
Gaussienne

Expériences jumelles d'assimilation de SST dans le Golfe de Gascogne par filtre de Kalman d'Ensemble

Code **Symphonie** (Marsaleix et al., 2009) – Configuration régionale BOB-REG1

- équations primitives, hydrostatique, version S2008.15
- 3 km x 3 km résolution, 43 vertical niveaux (coordonnées sigma généralisées)
- forçage atmosphérique: champs à 3h ALADIN/Météo-France
- forçage de la marée: 9 ondes de FES2004 aux frontières ouvertes + géopotentiel
- conditions initiales et aux frontières ouvertes: PSY2V3 - MERCATOR
- période d'étude: Jan – Mar. 2008

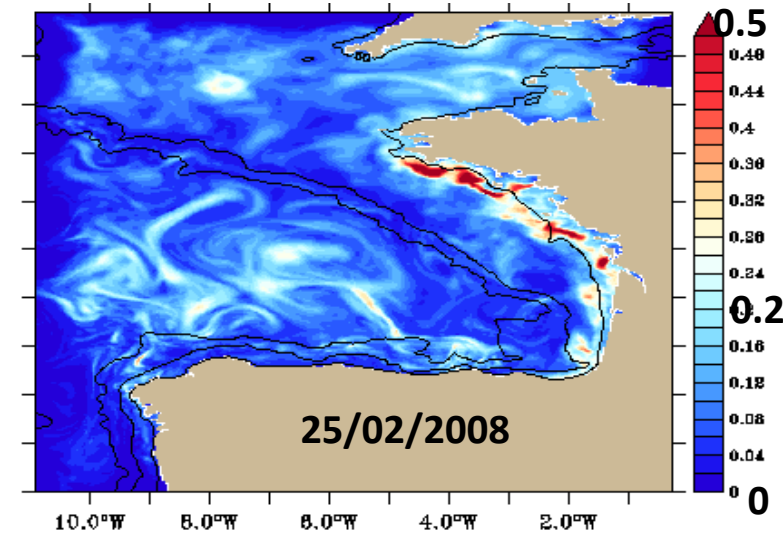
Code d'assimilation **Beluga/SEQUOIA** (De Mey, 2008)

- local, asynchrone 4D EnKF
- ensemble généré en perturbant le forçage en vent

Runs test pour vérification et réglages*

- expériences jumelles, 15 Fév. – 25 Mar.
- ensembles de 22 membres
- pseudo-obs de **SST issues d'un membre non utilisé**, générées sur grille régulière (tous les 15 km)
- erreurs d'obs non corrélées (0.3°C)
- variables de contrôle: SLA, T(z), S(z)
- cycle d'assimilation variable (2 ou 5 jours)

SST dispersion d'ensemble (°C)



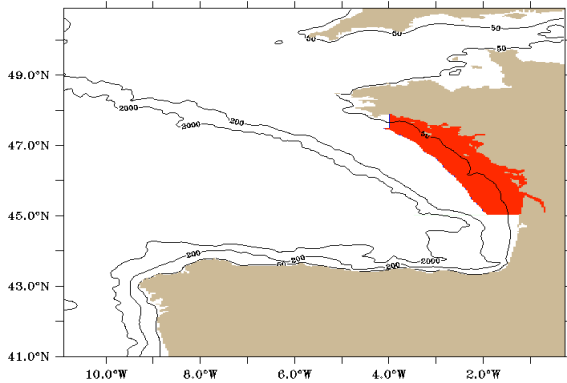
* Calculs effectués sur le cluster du POC/Laboratoire d'Aérodynamique

RMS des écarts prévision-vérité en SST

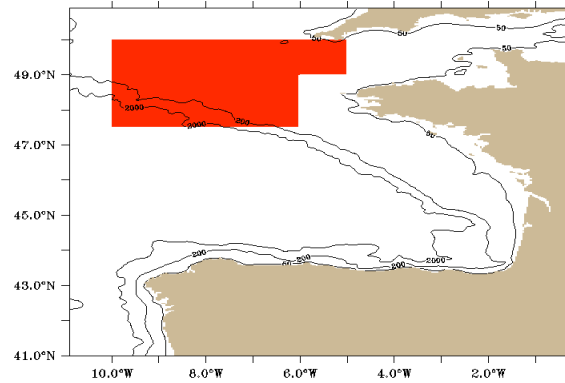
Expériences jumelles sur la période Février-Mars 2008

Plateaux Armoricain et Celtique

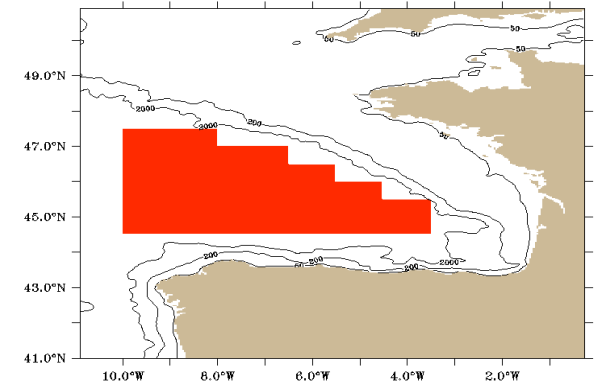
Plaine



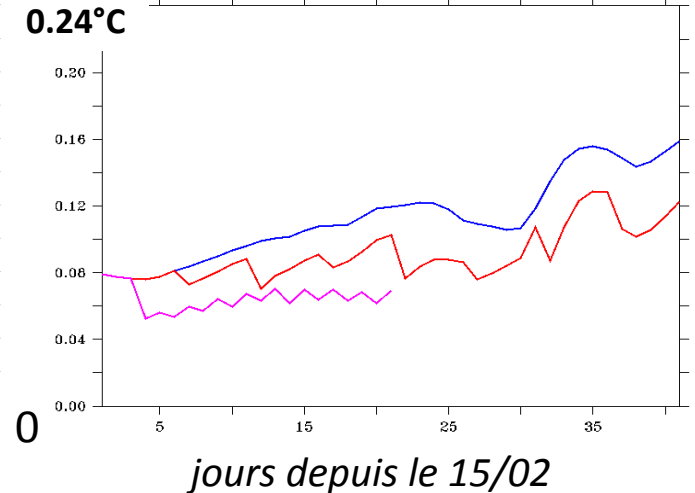
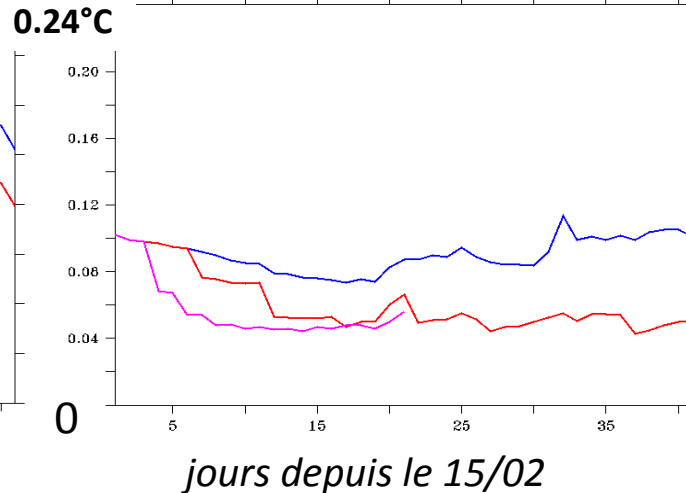
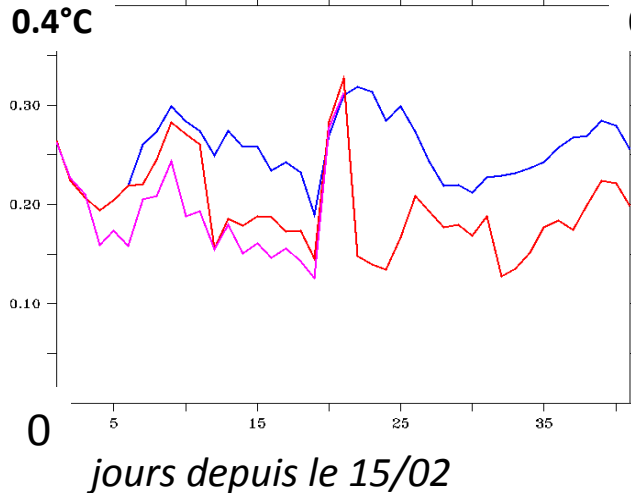
Daily RMSdiff btwn ens. mean and truth in SST (C) - Box 5



Daily RMSdiff btwn ens. mean and truth in SST (C) - Box 9



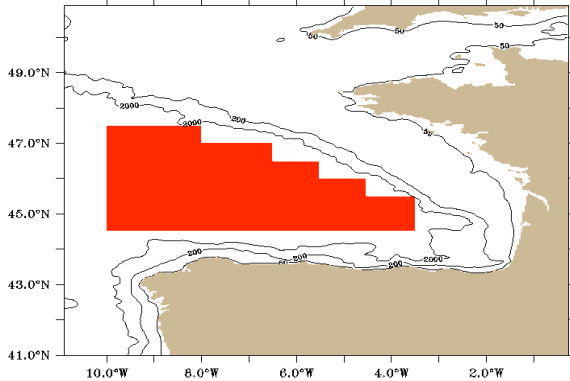
Daily RMSdiff btwn ens. mean and truth in SST (C) - Box 7



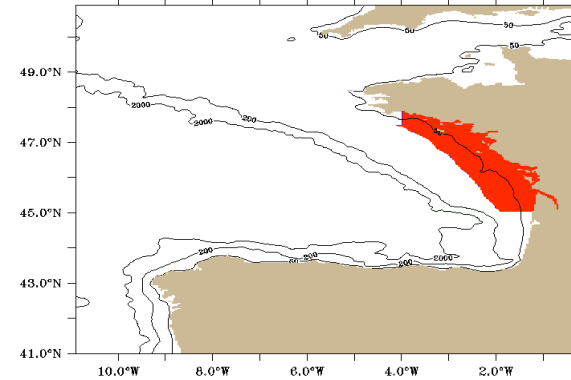
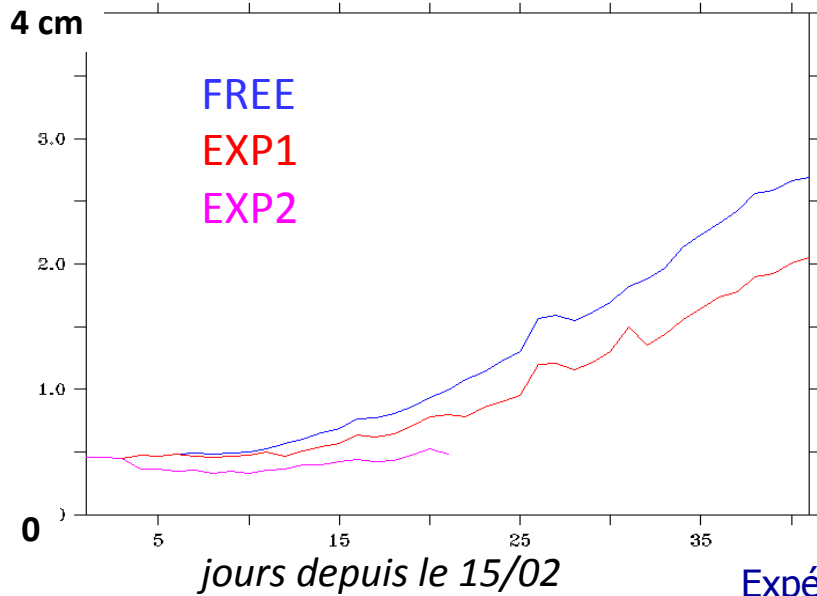
FREE EXP1 EXP2

Contraindre la SSH en assimilant les obs de SST ?

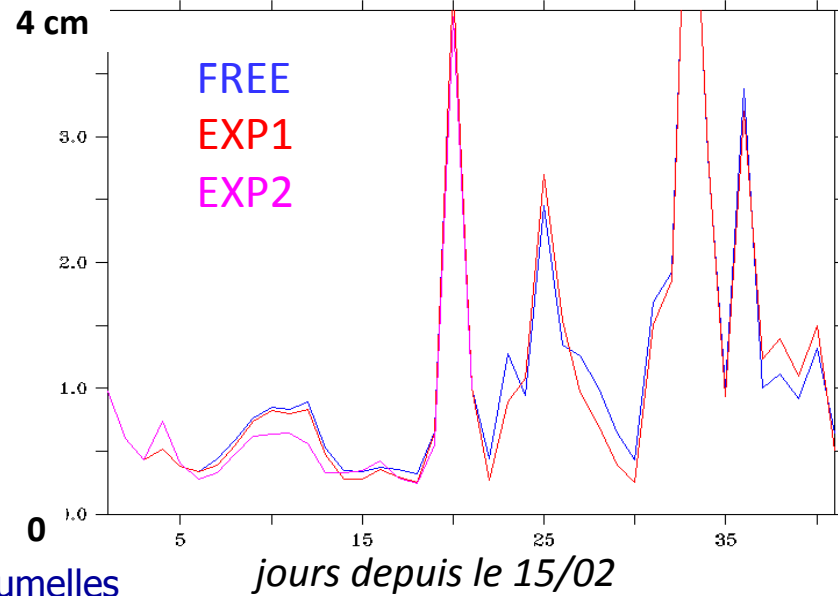
RMS des écarts prévision-vérité en SSH (cm)



Daily RMSdiff btwn ensemble mean and truth in SSH(cm) – Box 7



Daily RMSdiff btwn ensemble mean and truth in SSH(cm) – Box 5



Expériences jumelles
sur la période Février-Mars 2008

EnKF assimilation of observed SST in MARS3D in the Bay of Biscay



- **Forecast error characterization**

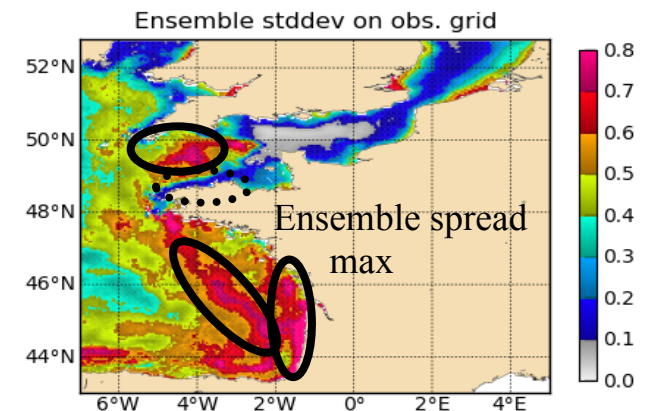
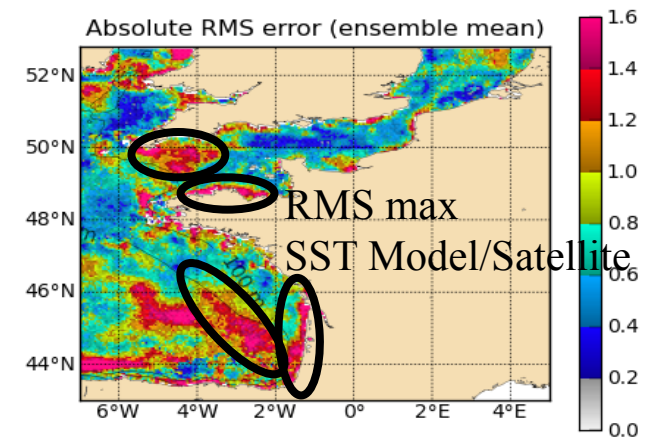
- **Observation: Satellite derived SST (Seviri) -> Model Performance**

- **SST Ensemble assessment**

- 50 members
 - Error sources
 - *Meteorological forcing*
 - *Model parameters (turbulence, friction, extinction coefficient ...→sensitivity study)*
 - *Initial conditions (undersampling over 7 days)*

- **Ensemble characterization**

- Good statistical consistency
 - Enough spread to explain SST errors
 - Members distribution
 - Correlation, Representatives



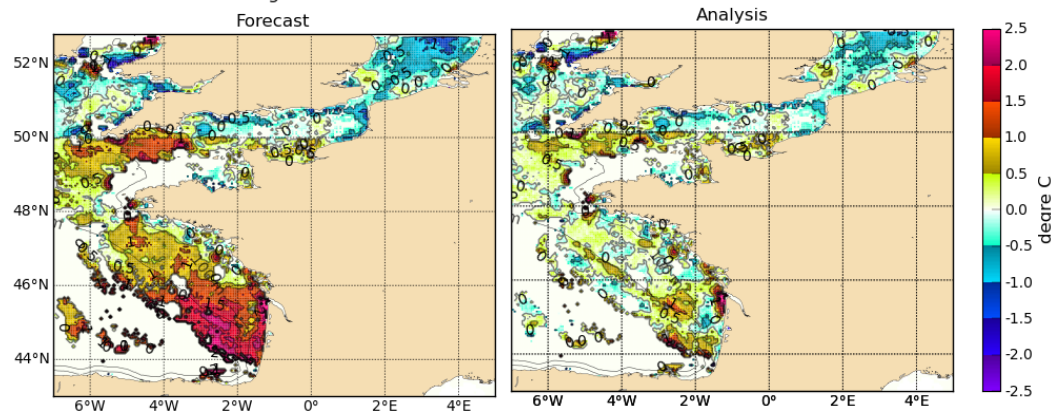
EnKF assimilation of observed SST in MARS3D in the Bay of Biscay



- **Assimilation of SST**
 - **Assimilation skill**
 - Ensemble Kalman filter – 50 members
 - Forecast covariance error : from ensemble
 - Observation covariance error (instrumental, representativity, age error)
 - Summer experiment -- 6 cycles every 4 days
 - 2D covariance localization
 - **SST: 30% RMSe improvement vs free run in the whole domain**
Can reach 40% in "Basque" region and 10% in "Manche Ouest"
- **Correction remains after 4 days but significantly decreased**
- **Better ocean stratification (increased)**

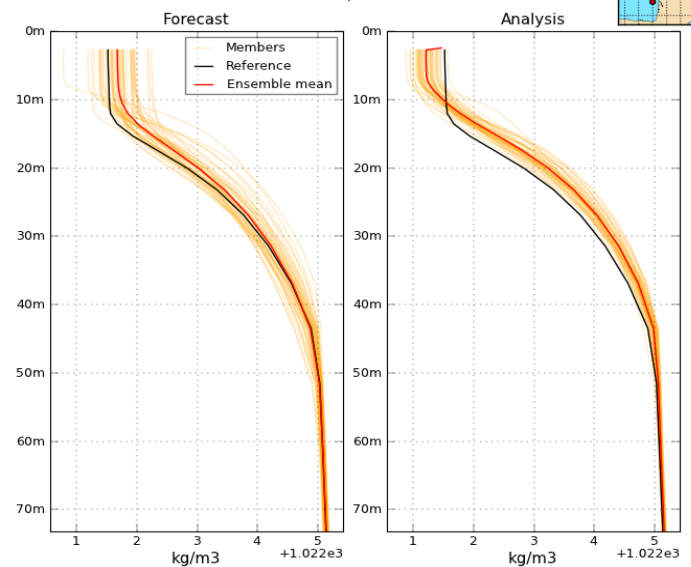
AS_CYCLES_50

SST: Innovation - average over 2006-7-16 - 2006-7-16



DENS - Analysis date: 2006-07-16

Pos.: 2°W, 45.5°N



Stochastic implementation of RM analysis (1/2) (ArM, De Mey, 2010)

Assume we have a generator of prior error samples e.g. from forecast Ensemble anomalies, a stochastic model, etc.

Matrix of samples: \mathbf{A}^f

We get stochastic estimates:

$$\bullet \hat{\mathbf{P}}^f = \frac{1}{m-1} \mathbf{A}^f \mathbf{A}^{fT} \quad (\text{ARM1})$$

$$\bullet \hat{\boldsymbol{\chi}} = \frac{1}{m-1} (\mathbf{R}^{-1/2} \mathbf{H} \mathbf{A}^f) (\mathbf{R}^{-1/2} \mathbf{H} \mathbf{A}^f)^T = \mathbf{S} \mathbf{S}^T \quad (\text{ARM2})$$

conveniently using $\mathbf{S} = \frac{1}{\sqrt{m-1}} \mathbf{R}^{-1/2} \mathbf{H} \mathbf{A}^f$ = scaled Ensemble observation anomalies (e.g.

Sakov et al., *Ocean Dynamics*, 2009)

Stochastic implementation of RM analysis (2/2) (ArM, De Mey, 2010)

From (ARM2), the ev problem in RMS is now a sv problem in ArM.

We now have the following stochastic estimates:

- $\hat{\boldsymbol{\sigma}}$ = RM spectrum estimate = squares of the singular values of \mathbf{S}
- $\hat{\boldsymbol{\mu}}$ = Array Mode estimates = singular vectors of \mathbf{S}
- $\hat{\boldsymbol{\rho}}_{\mu} = \frac{1}{\sqrt{m-1}} \mathbf{A}\mathbf{S}^T \hat{\boldsymbol{\mu}}$ = Modal representer estimates

In practice there is no limitation in the choice of observation operator.

- It can operate in space, time, and across variables.
- In practice we calculate $\mathbf{H}\mathbf{A}^f$ as $H(\mathbf{A}^f)$ when calculating \mathbf{S} (e.g. Ensemble members made to generate their own observation proxies).

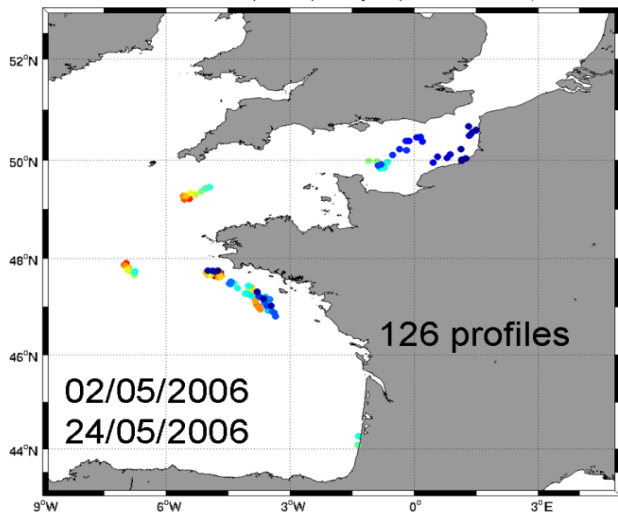
Application: discriminating scenarii for the RECOPECA network

- ArM approach (Le Hénaff & De Mey 2009): **performance of array at detecting (and hence constraining) forecast errors**
- 3 scenarii: year 2008, year 2010, whole dataset between 2006-2011
- Observation error: 0.3°C
- Model uncertainty from MARS3D ensemble (50 members)



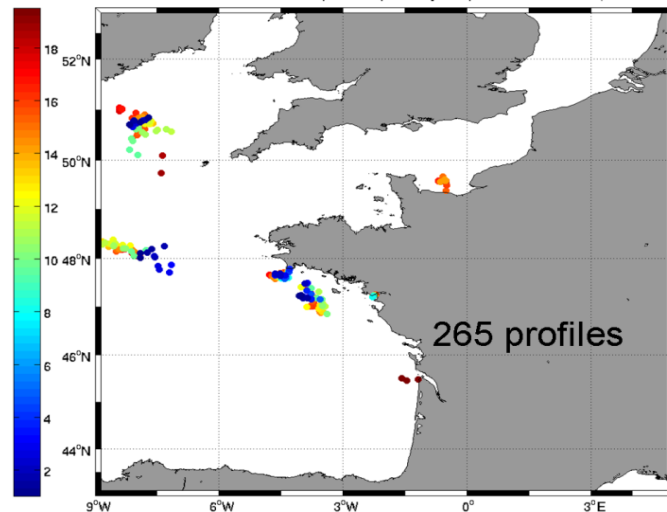
Reference 2008

Positions and times of profile measurements - [2006-05-02 - 2006-05-24 12:00:00]
- reference 2008 - 126 profiles - (unit-days elapsed since 2006-05-02)



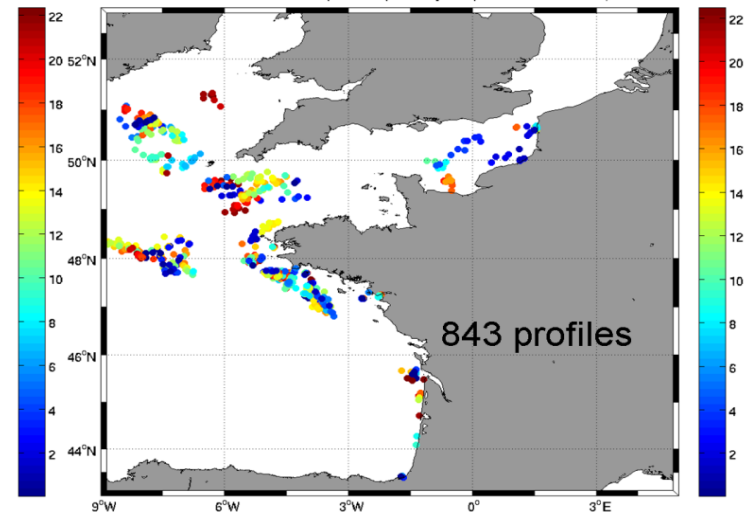
SC1 : based on 2010

Positions and times of profile measurements - [2006-05-02 - 2006-05-24 12:00:00]
- Scenario base 2010 - 265 profiles - (unit-days elapsed since 2006-05-02)



SC2 : cumulated profiles 2006-2011

Positions and times of profile measurements - [2006-05-02 - 2006-05-24 12:00:00]
- Scenario 2006-2011 - 843 profiles - (unit-days elapsed since 2006-05-02)



G. Charria (Ifremer), J. Lamouroux (Noveltis), P. De Mey (LEGOS),
S. Raynaud, C. Heyraud, P. Craneguy (Actimar), F. Dumas (Ifremer),
M. Le Henaff (RSMAS, Miami)

Example of results

Eigenvalues > 1



Forecast error modes caught by the observation network

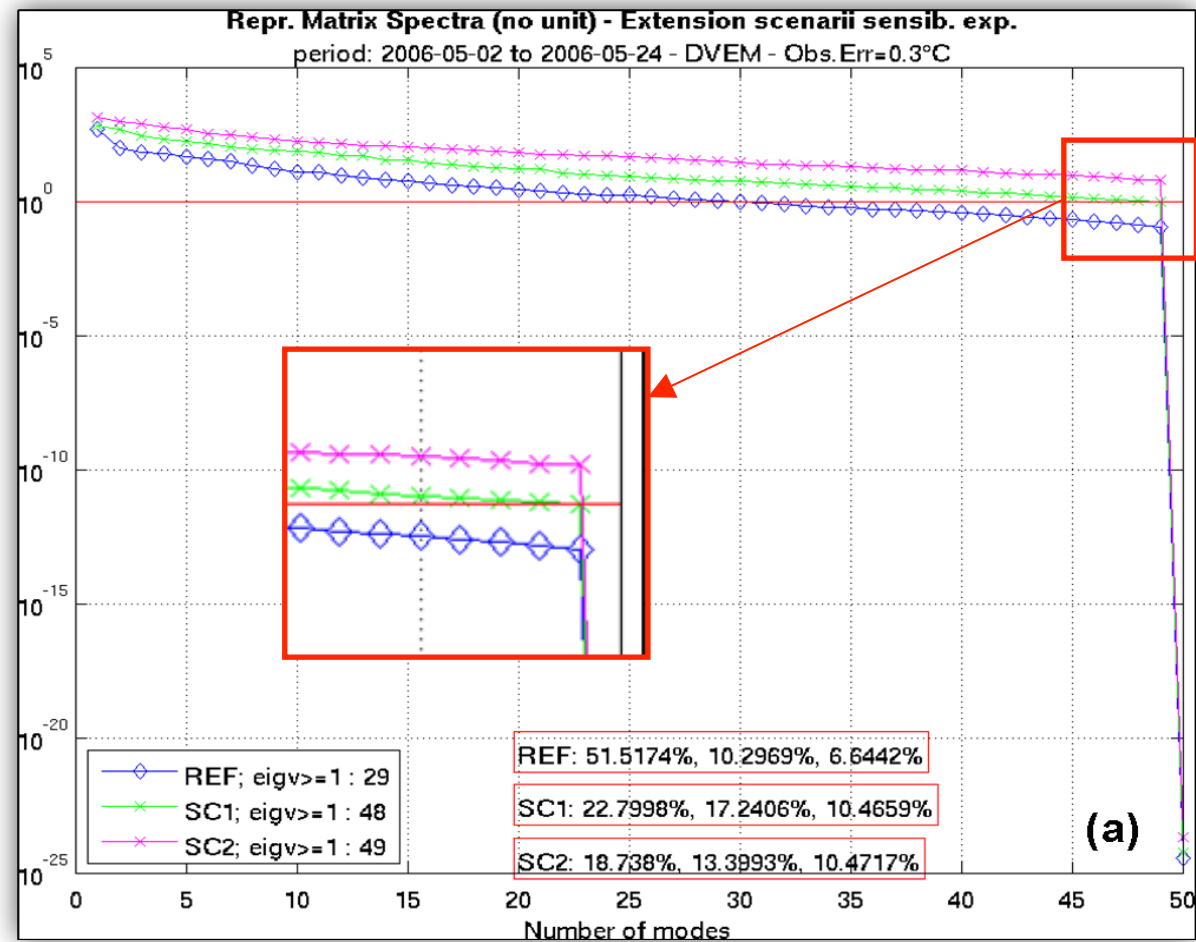


As could be expected, larger number of observations (SC2) = system better described using these observations

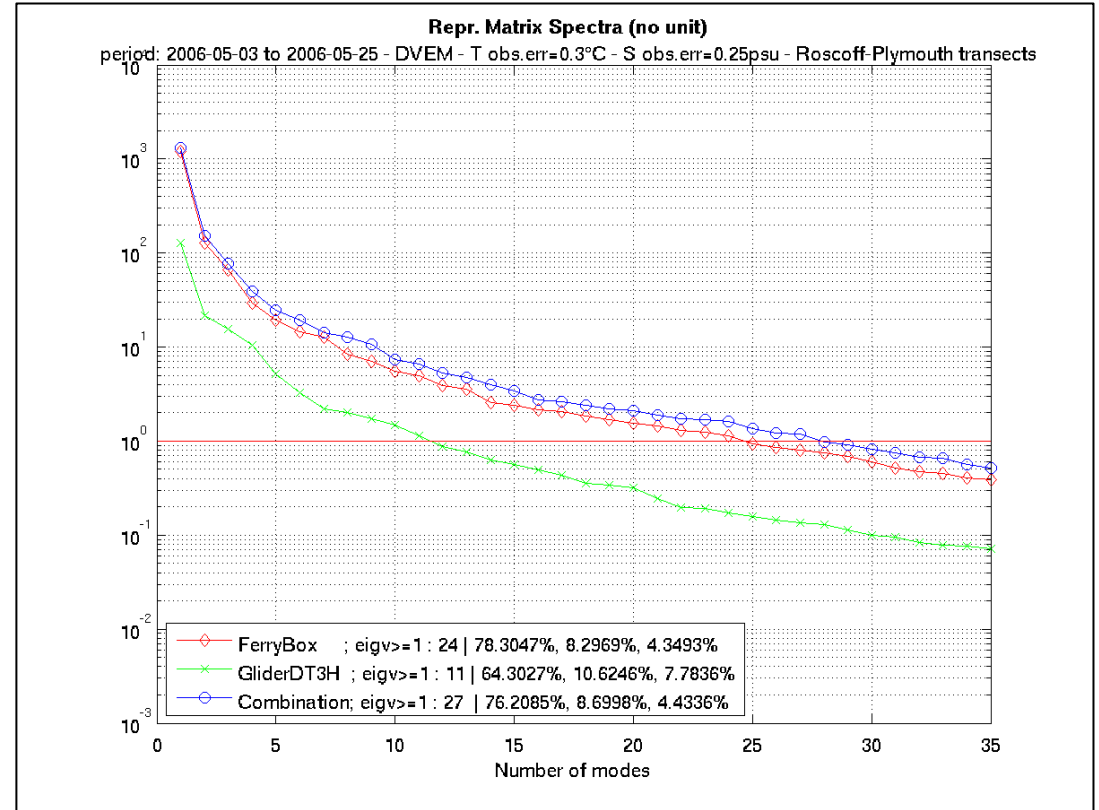
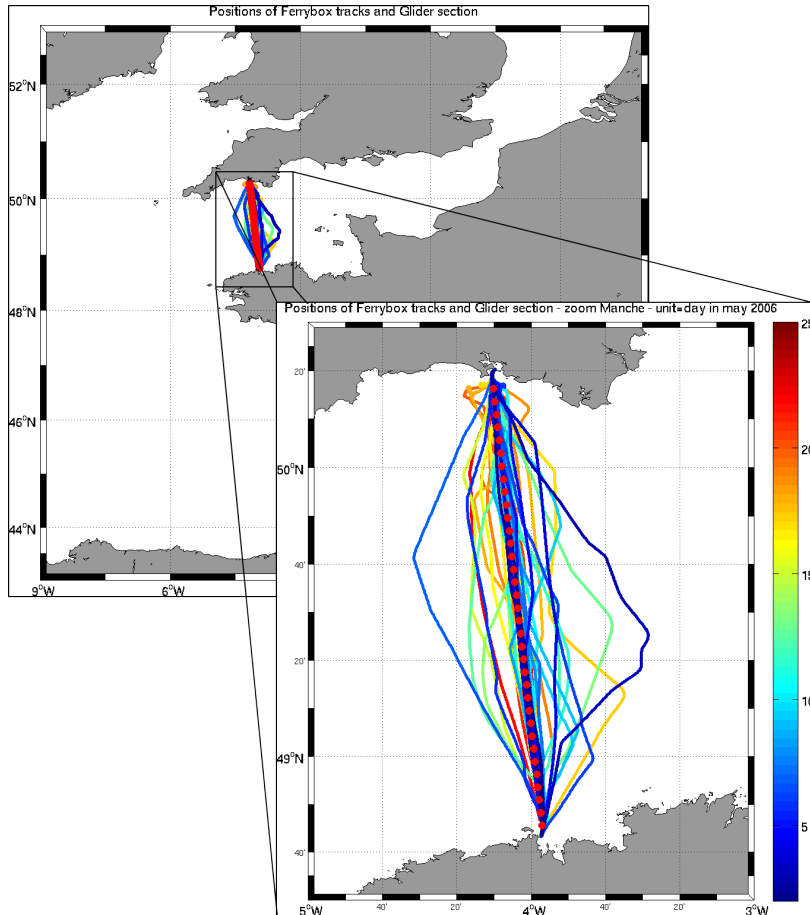
But ...

Possible to optimize. For example, this study shows: Geographical distribution >>> number of profiles (REF more “efficient” than SC1)

« efficiency » = nb of “modal profiles” / nb of available profiles



Roscoff-Plymouth Ferrybox vs. Glider



Une méthode de filtrage réduit pour l'assimilation de données. Application à la modélisation du Golfe de Gascogne avec HYCOM et à l'identification de paramètres

Hong-Son Hoang, Rémy Baraille, Martial Boutet
SHOM/HOM



Mise en place d'une méthode stochastique pour l'estimation de paramètres de la matrice de covariance d'erreurs de prévision (sur la base d'une séparation horizontal-vertical)

Mean cost function

$$J(\theta) = E(\Psi(\delta M(k), \theta)) \Rightarrow \min_{\theta}$$

$$\theta = (c_{lm}, L_d) \quad (\text{parameters: vertical covariance, horizontal correlation length})$$

Sample cost function $\Psi(\delta M(k), \theta) =$

$$\left\| M^*(t) - M_v(c_{lm}) \otimes M_h(\rho_x, \rho_y, L_d) \right\|_F^2$$

Simultaneous Perturbation Stochastic approximation (SPSA)

$$\theta(t+1) \leftarrow \theta(t) - \gamma(t) \nabla_{\theta} \Psi[\theta(t)]$$

$\nabla_{\theta} \Psi[\theta(t)]$ **Sample gradient is calculated by simultaneous perturbation (stochastic) of all parameters**

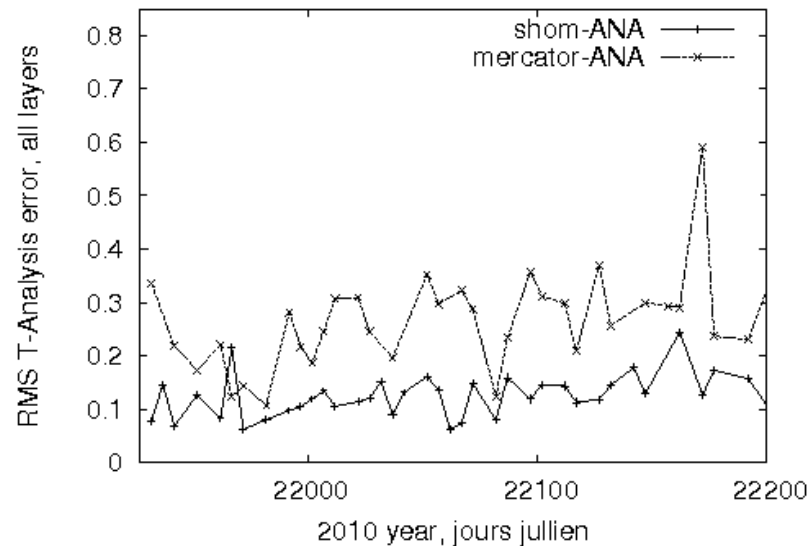
Modèle SHOM-HYCOM

1. z-coordinate near surface
2. Isopycnal coordinate in the deep ocean
3. Terrain following near the bottom
4. Variables = (h, u, v, T, S)
5. Grid = (720 x 471 x 40), 1,8 km resolution
6. Forced: boundary mesoscale from basin model MERCATOR
7. Tides
8. Real ECM atmospheric forcing fields at surface
9. Regional model of the Bay Biscay

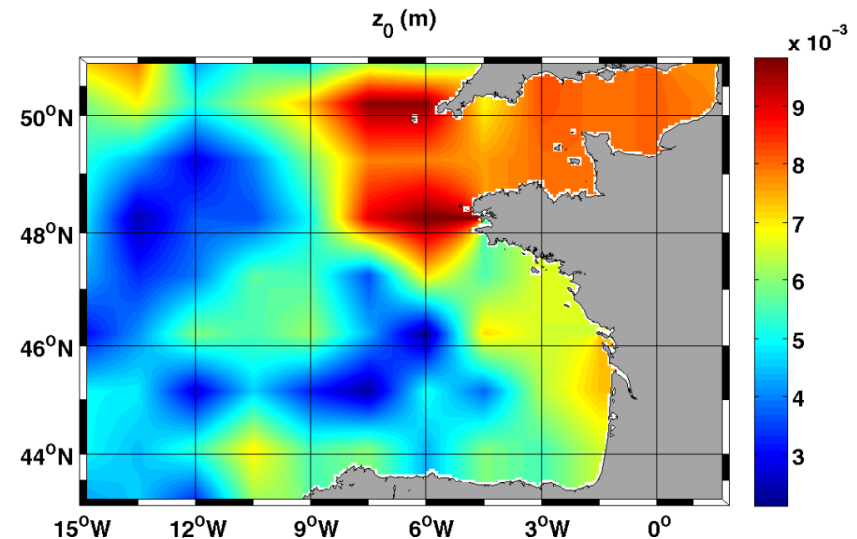
Numerical experiments

SHOM-HYCOM experiments

1. Assimilation of SSH, SST, in situ observations of the year 2010
2. Estimation of friction coefficient in a simplified HYCOM barotropic version (regional model of the Bay of Biscay).



1. Analysis RMSE (T) of SHOM and MERCATOR



2. Estimation of friction coefficient.
True coefficient $z_0 = 8 \cdot 10^{-3}$

The coefficient is well estimated in near-coastal regions. For offshore regions there is a difficulty to estimate it well (certainly due to insensitivity of this region to friction coefficient; to be confirmed by a future sensitivity study).

Premiers bénéfiques

- Discussions très utiles et instructives au sein du groupe
- Confirmation de l'intérêt et de la richesse des méthodes stochastiques et ensemblistes dans l'océan côtier
- Les discussions au sein du groupe ont également été utiles pour la définition de programmes de travail:
 - Janvier 2013: Projet « Pauline7 » (Pinazo/De Mey) pour le séminaire de prospective OO d'Autrans (arbre multiéchelles phy/bio)
 - Mars 2013: Volet « downscaling statistique » du projet AMICO (action Copernicus-France du MEDDE) (LEGOS, MO, IFREMER, SHOM)
 - Avril 2013: Post-doc joint (LEGOS/MO) de Vassilios Vervatis (MyOcean2) pour la mise en place d'un EnOI dans la configuration IBI
 - Participation à une suite d'EPIGRAM?

La suite...

- Rapport final disponible!
- Poursuite du groupe?
 - Poursuite du gdt?
 - Autour d'un projet commun?

Idées / priorités pour une suite

(selon concl réunion finale + discussions ultérieures)

- Veille méthodologique, en particulier sur les méthodes d'ensemble
 - Coût
 - Méthodes adaptées à la modélisation HR, observabilité, contrôlabilité
- Définition de diagnostics de santé de l'assimilation
- Travaux centrés sur une expérience en lieu et date donnés (exp pilote)
- Exploration des stratégies de downscaling (couplage grande échelle – petite échelle)
- Pas/peu de réseaux d'obs. pérennes; besoin de concevoir les réseaux en fonction des modèles (et de leurs limites) → le groupe doit contribuer à la R&D sur l'évaluation objective de la performance des réseaux d'observations
- Etudes de sensibilité, tests de prédictibilité (approches ensemblistes)
- Génération des ensembles + « consistency »
- Assimilation de données de radars HF
- Sélection d'échelles via l'opérateur d'obs, via la formulation (spectrale) etc.
- etc.

Expérience pilote?

- Unité de lieu/temps/action
- Double finalité
 - Science
 - Science en support de l'opérationnel
- Volet "Prédicibilité" centré sur des processus (mésos/submésos, fronts, panaches, etc.)
 - Métrique statistique: simulations d'ensemble
 - Métrique empirique: mesures de vérification
 - Impact de stratégies de modélisation couplée, de forçages
 - Impact du downscaling (et des produits assimilés à grande échelle)
 - Apport de l'assimilation (diverses techniques/physiques)
 - Sélection d'échelles
- Volet "Impact des obs" pour aider à la définition d'un réseau d'obs pérenne
 - Apport du réseau d'obs, complémentarité entre les obs
 - Arguments pour la définition d'un observatoire
- Volet "estimation de paramètres".



Discussion