

Assimilation de données de température de surface dans un modèle hydrodynamique côtier à l'échelle régionale (MARS-3D)

P. Craneguy⁽¹⁾, C. Heyraud⁽²⁾, V. Monbet⁽³⁾

P. Lazure⁽²⁾, P. Garreau⁽²⁾, H. Pineau⁽¹⁾

(1) Actimar, (2) Ifremer, (3) Université Bretagne Sud



Contexte & Objectifs

Contexte

Dans le cadre de PREVIMER : système opérationnel d'océanographie, diffusant des observations et des prévisions de l'état de l'environnement en zone cotière (vent, vague, courants, température, salinité...)

Objectif

Étudier le potentiel de l'assimilation de données séquentielle de température de surface pour améliorer les prévisions en température et salinité dans le domaine côtier.

Régions : Golfe de Gascogne (& Golfe du Lions)

Modèle hydrodynamique MARS

Modèle de type Blumberg & Mellor

Grille horizontale : 4 km x 4 km

Résolution verticale : 30 niveaux sigma (résolution plus fine près de la surface)

Forçages météorologiques : modèle Arpège (tensions de vent)

Flux de chaleur : formules de Bulk

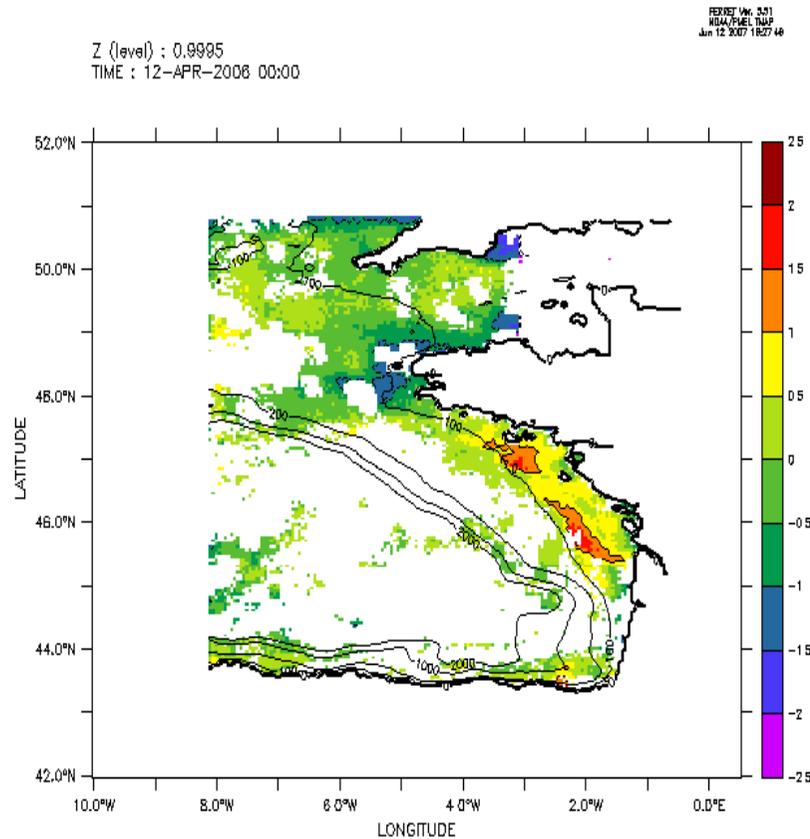
Prise en compte du débit des 4 rivières principales sur une base journalière (Vilaine, Loire, Gironde, Adour).

Conditions initiales et conditions aux limites : climatologie du Golfe de Gascogne.

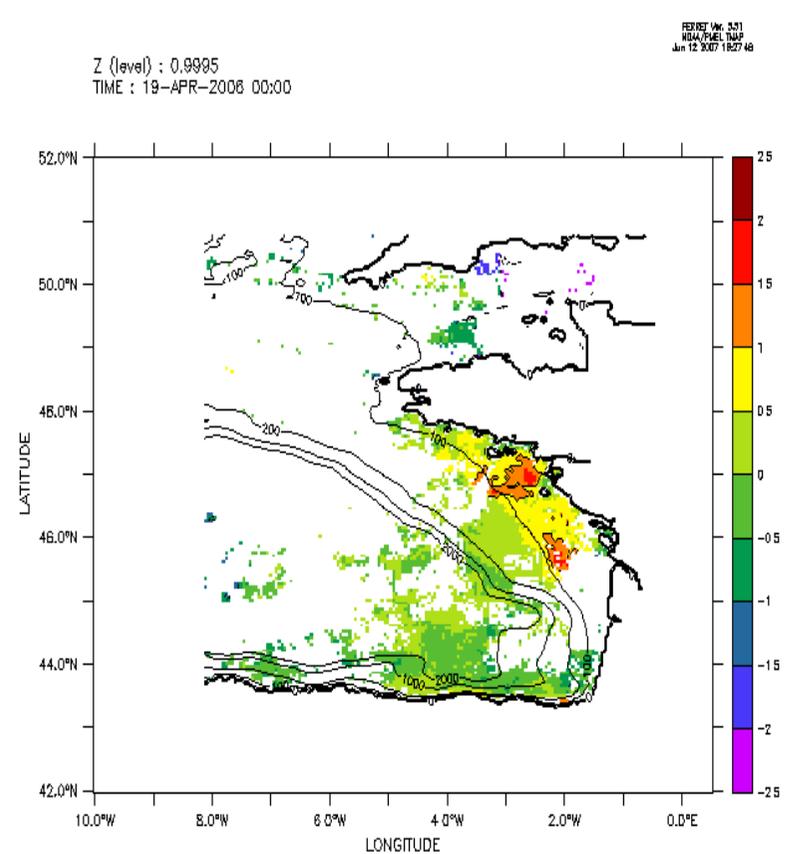
Niveau de la mer aux frontières ouvertes : modèle 2D européen

Le modèle numérique présente des erreurs...

Exemple : écart entre la prévision (modèle)
et des observations de température de surface (SEVIRI)

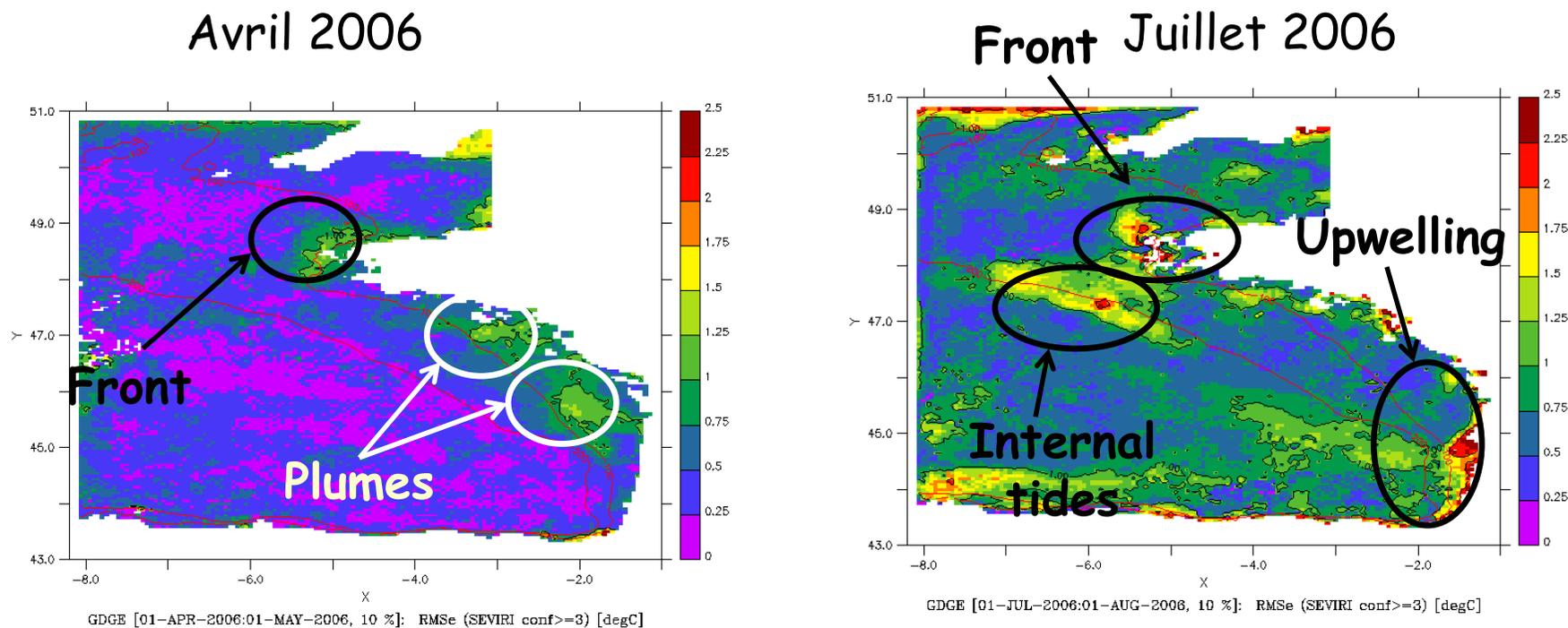


12/04/2006 Innovation au 12/04/2006 [Seviri Composite]



19/04/2006 Innovation au 19/04/2006 [Seviri Composite]

Erreurs en moyenne quadratique entre les prévisions et les observations (SEVIRI)



L'erreur du modèle est saisonnière et due à plusieurs sources dont la turbulence, le coefficient d'extinction de la lumière, les tensions de vent (modèle), la rugosité du fond,

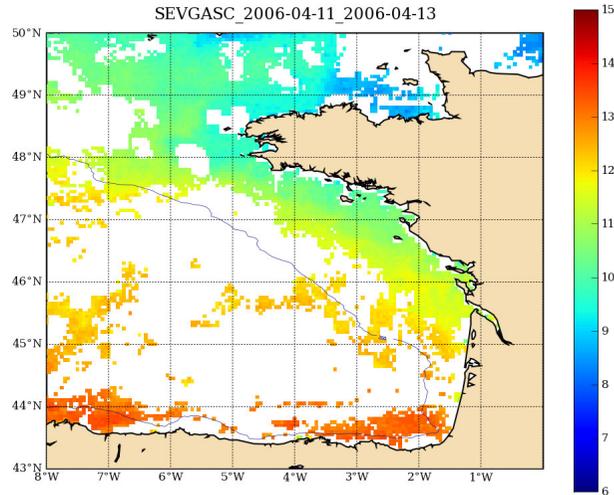
Proposition : assimiler des données de température de surface de la mer pour corriger l'énergie potentielle interne (température, salinité -> densité de l'eau)

L'énergie potentielle barotrope (niveau de la mer -> courants) s' « ajuste » dynamiquement lors de la prévision.

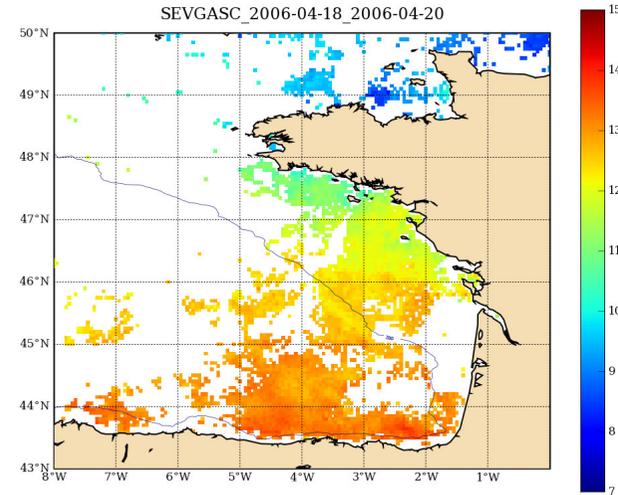
Choix : assimilation séquentielle

Données de température de surface (SST) exemples SEVIRI composite

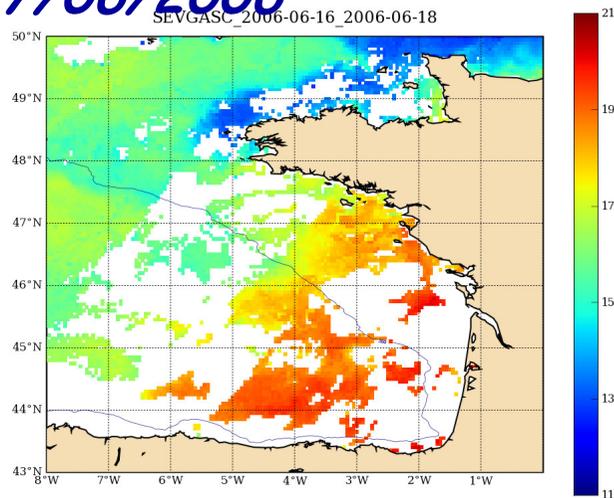
12/04/2006



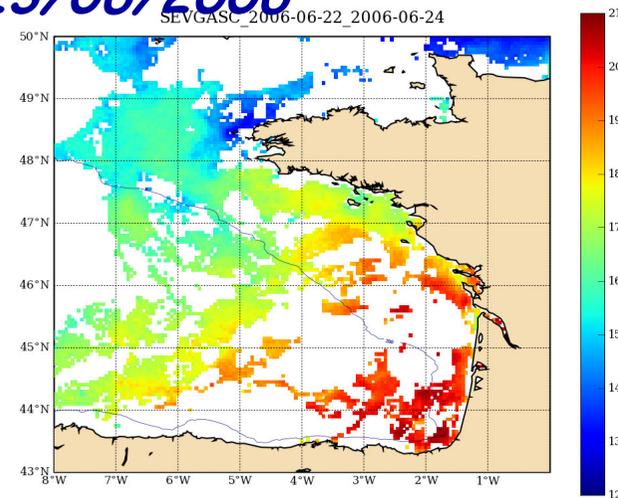
19/04/2006



17/06/2006



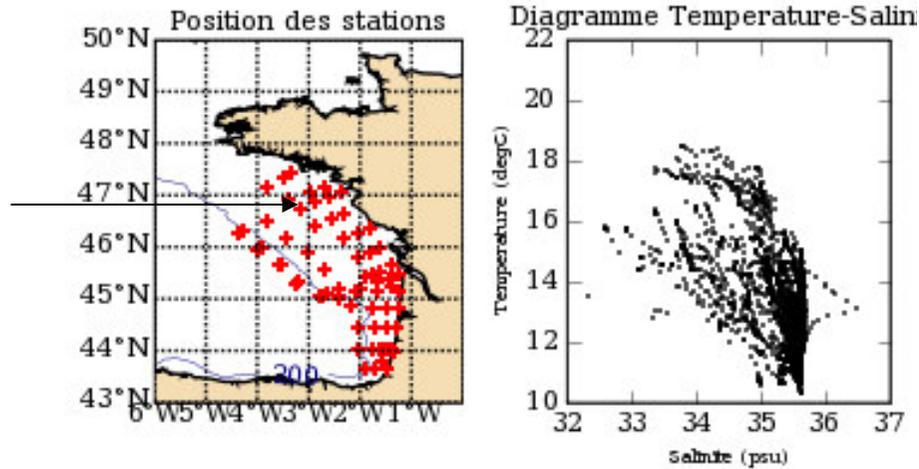
23/06/2006



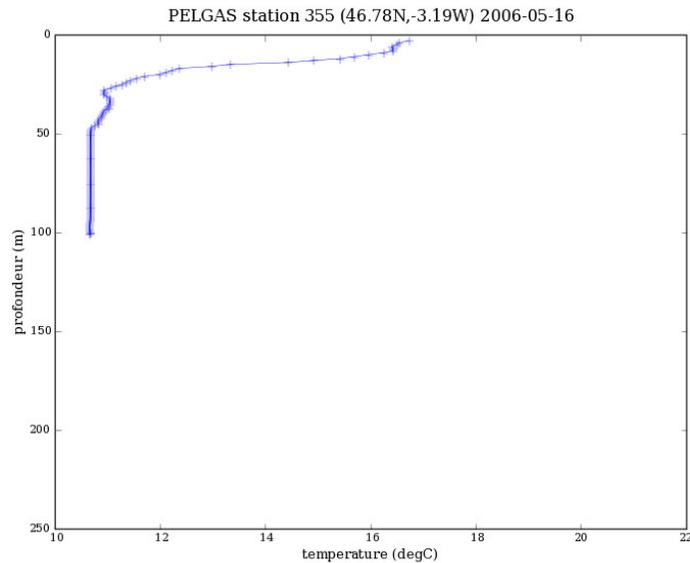
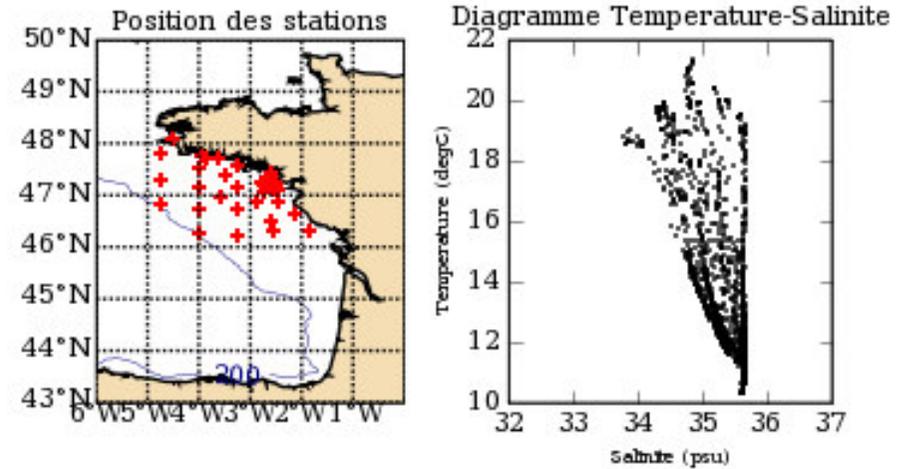
Données de température et de salinité

Profils, campagnes océanographiques

PELGAS (1-31 May 2006)



HABIT (6-12 July 2006)



Données utilisées uniquement pour la validation.

Assimilation de données

Quel filtre choisir?

Modèle de la forme

$$x_0 \sim \mathcal{N}(m_0, R_0)$$

$$x_t = f_t(x_{t-1}, \varepsilon_t; u_t)$$

dynamique fortement non linéaire

$$y_t = H_t x_t + \varepsilon_t'$$

équation d'observation linéaire

avec $\varepsilon_t \sim \mathcal{N}(0, Q)$ et $\varepsilon_t' \sim \mathcal{N}(0, R)$

Méthodes d'ensemble (équation d'observation linéaire)

$$x_t^{(i)} = f_t(x_{t-1}^{(i)}, \varepsilon_t^{(i)}; u_t) + K(y_t - \varepsilon_t'^{(i)} - H_t f_t(x_{t-1}^{(i)}, \varepsilon_t^{(i)}; u_t))$$

$$\text{EnKF} \quad : K = P_t^{(N)} H_t' (H_t' P_t^{(N)} H_t + R)^{-1}$$

$$\text{Filtre Part.} \quad : K = Q H_t' (H_t' Q H_t + R)^{-1}$$

On retient l'EnKF...

Contraintes

- coût de calcul (équation d'état)
 - stockage mémoire
- faible nombre d'éléments d'ensemble
- dimension de l'espace d'état ($1.9 \cdot 10^6$ points de grille)

Propriétés des méthodes d'ensemble

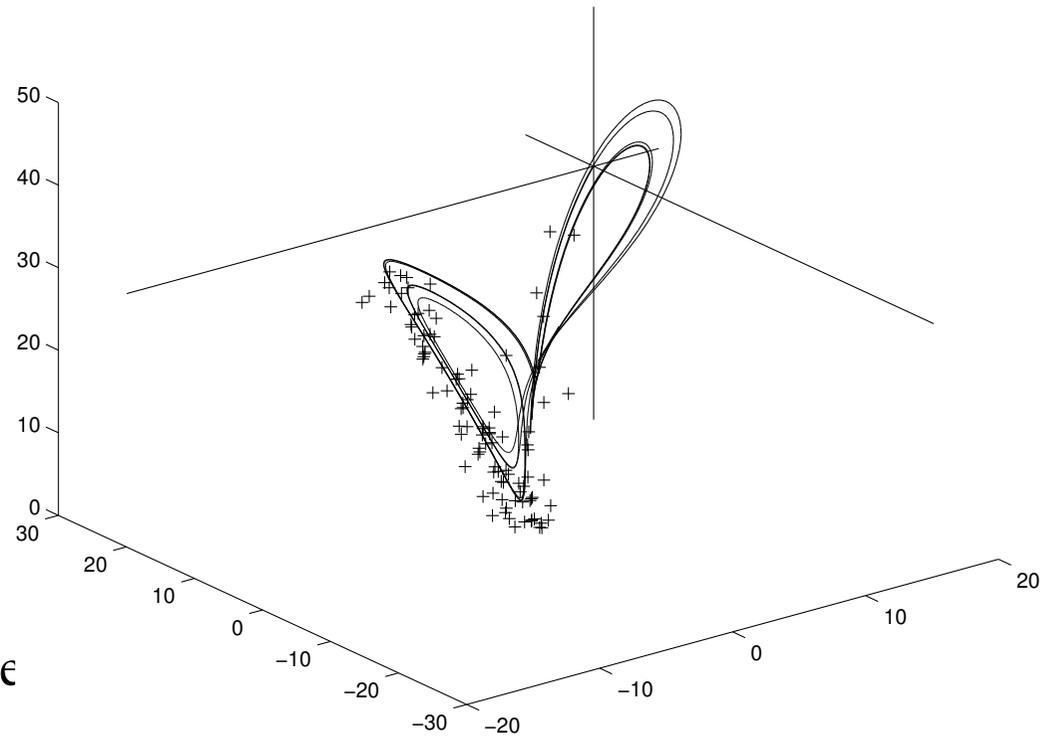
- quand le nombre d'éléments tend vers l'infini :
 - convergence en $n^{-1/2}$ (loi limite dépendant du filtre)
- quand le nombre d'éléments est faible :
 - des expériences montrent que
 - dépend du modèle...* → **loi a posteriori (EnKF) presque gaussienne**
 - biais (EnKF) < biais (FP) pour les composantes observées**
 - variance (EnKF) ? variance (FP)**
 - Exemple : oscillateur de Lorenz

Exemple : oscillateur de Lorenz

Introduit par Lorenz (1963)
-> modèle simplifié d'un écoulement fluide

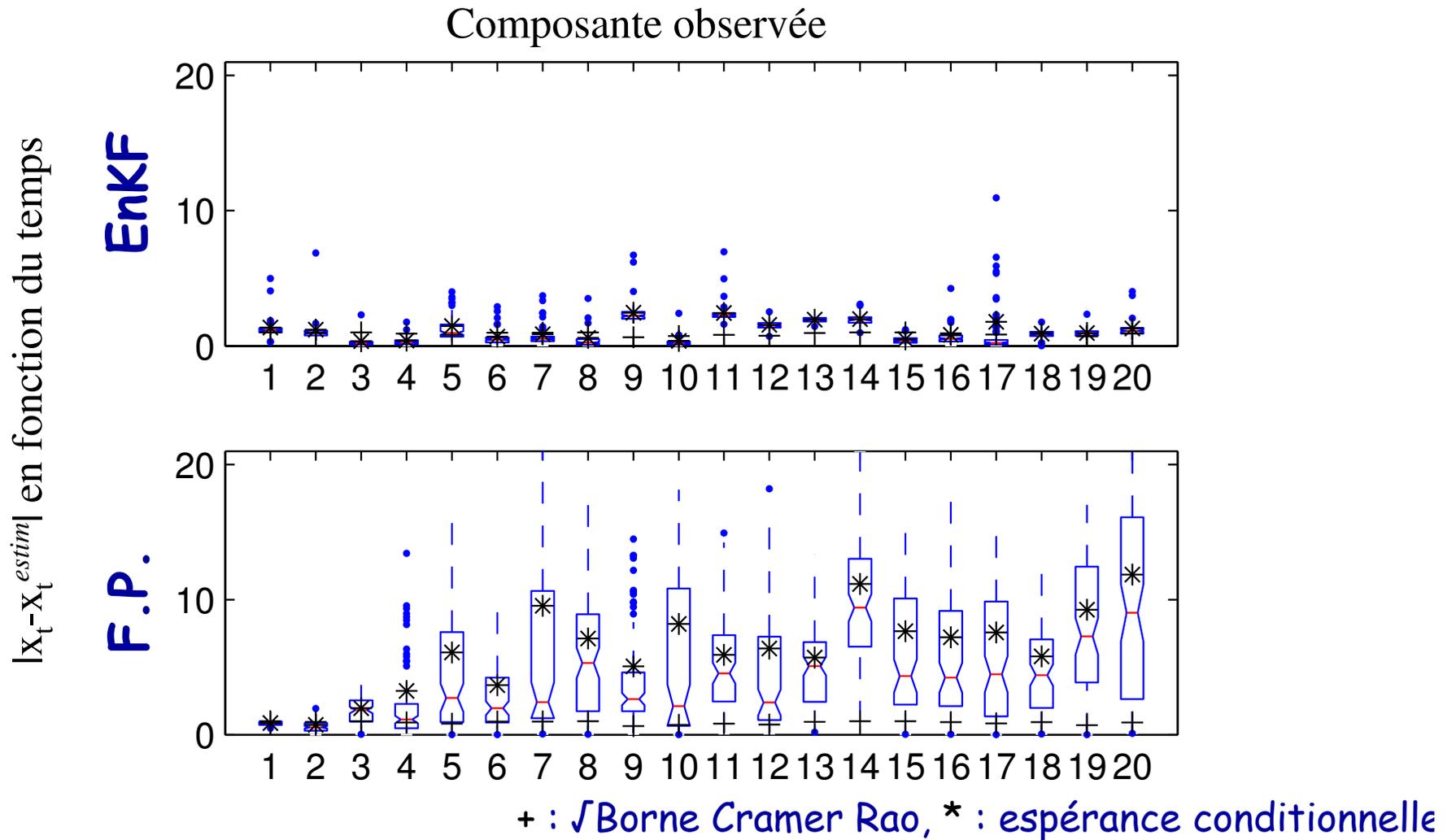
$$\begin{aligned} dx_t/dt &= 10(y_t - x_t) + dw_t^x/dt \\ dy_t/dt &= 28x_t - y_t + x_t z_t + dw_t^y/dt \\ dz_t/dt &= x_t y_t - 8/3 z_t + dw_t^z/dt \end{aligned}$$

Trivarié, non linéaire (chaotique)



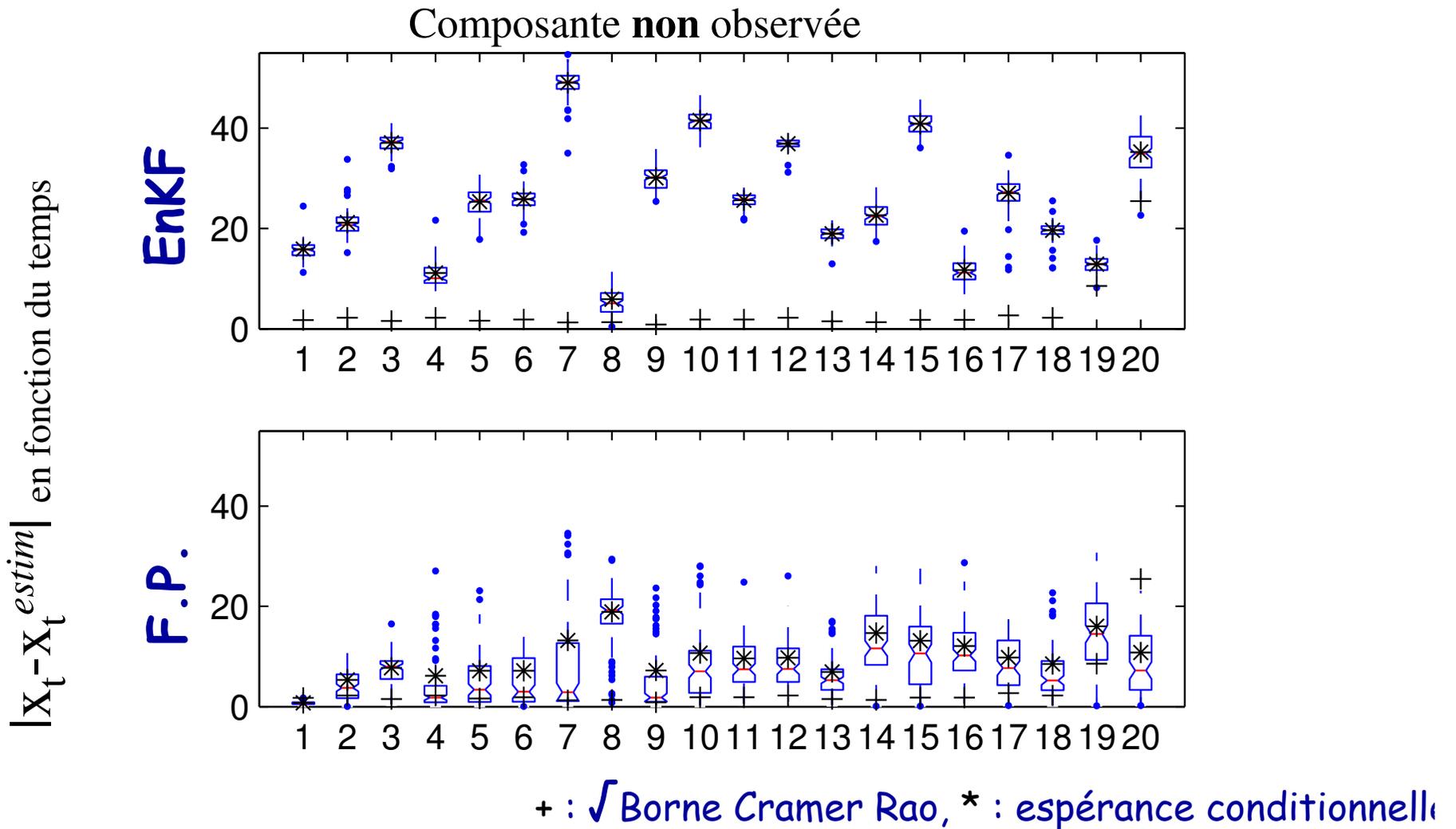
Propriétés du filtre EnKF

*Exemple : oscillateur de Lorenz, 1 composante observée,
20 pas d'assimilation, 20 éléments d'ensemble, 500 répétitions*



Propriétés du filtre EnKF

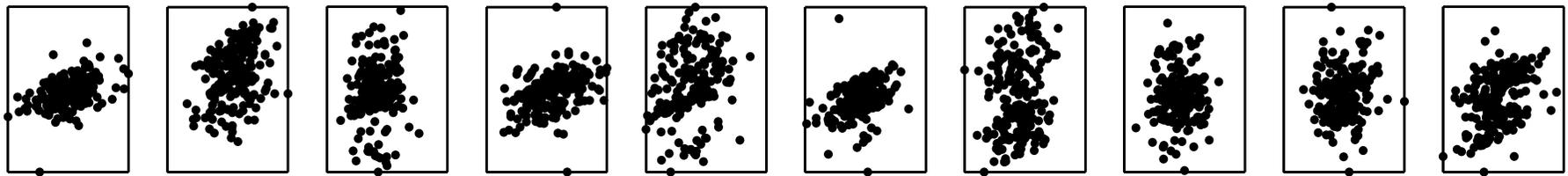
*Exemple : oscillateur de Lorenz, 1 composante observée,
20 pas d'assimilation, 20 éléments d'ensemble, 500 répétitions*



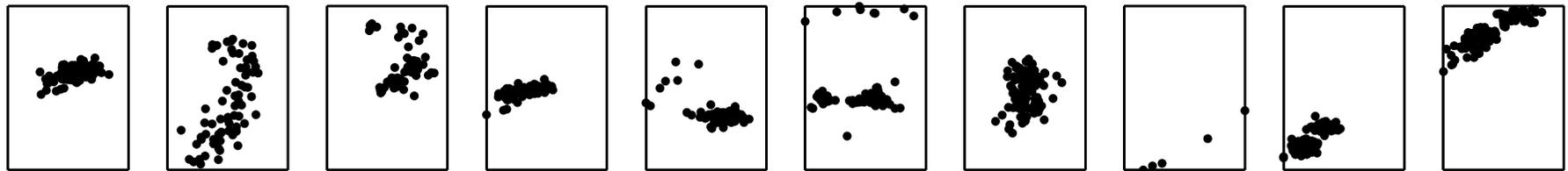
Propriétés du filtre EnKF

Distribution jointe (x,y) avec x observé

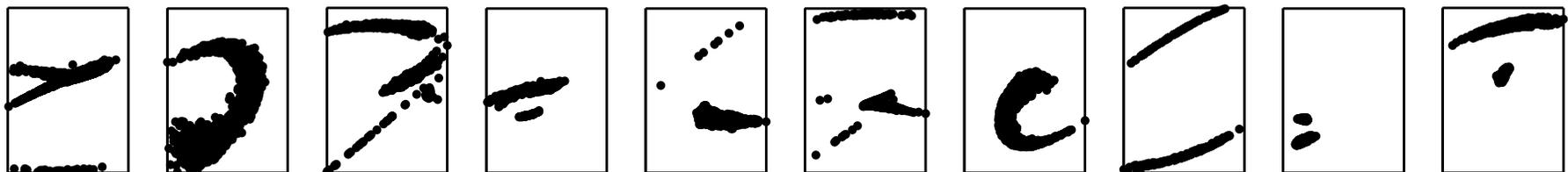
Enkf (200 éléments)



F.P. (200 particules)



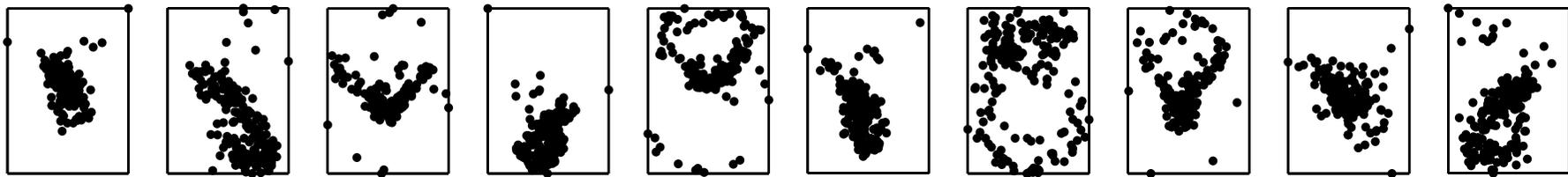
Distribution a posteriori (FP, 10000 particules)



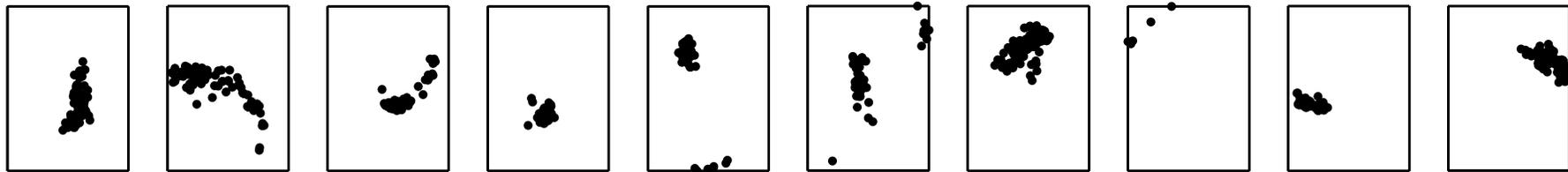
Propriétés du filtre EnKF

Distribution jointe de (y,z) , x observé

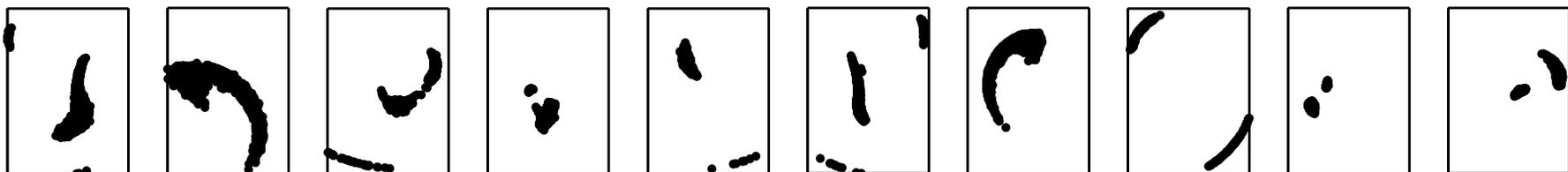
Enkf (200 éléments)



F.P. (200 éléments)



Distribution a posteriori (asymptotique)



Assimilation de données
de température de surface
dans le modèle MARS

Assimilation de données – mise en oeuvre

Erreur de prévision

Sources d'erreur

- Paramètres du modèle
turbulence, coefficient d'extinction de la lumière
- Tension de vent

Nombre d'éléments d'ensemble : 30

Vecteur de contrôle : $\mathbf{X} = (T, S, \psi)$ avec ψ : coefficient d'extinction
(paramètre du modèle, estimé)

Ensemble initial : température et salinité perturbées

Equation d'observation : rayon d'influence proportionnel à la distance à la côte

Erreur d'observation : variance diagonale (pas de structure spatiale), dépendant du niveau de confiance accordé aux données (CERSAT) et croissante dans le temps

Analyse tous les 3 jours

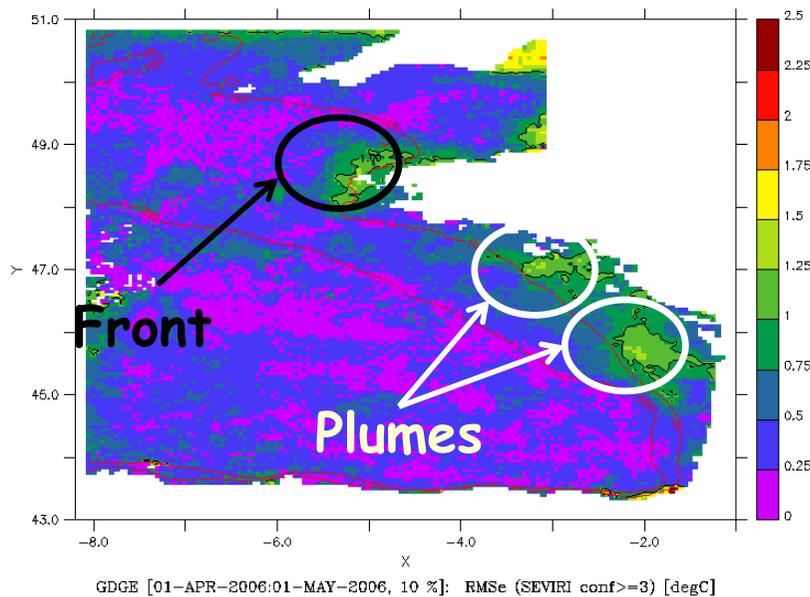
2 périodes tests Printemps, 19 avril au 30 mai 06
Eté, 23 juin au 14 juillet 06

Résultats

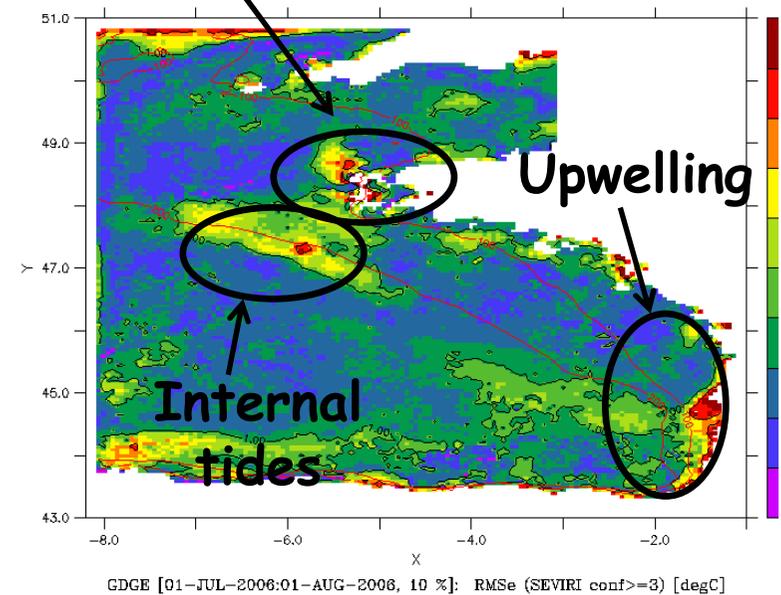
- **Overall Statistics : Spring & Summer experiments**
- **Detailed Results : Spring experiment**
- **Summary & Perspectives**

Erreurs en moyenne quadratique entre les prévisions et les observations (SEVIRI)

Avril 2006



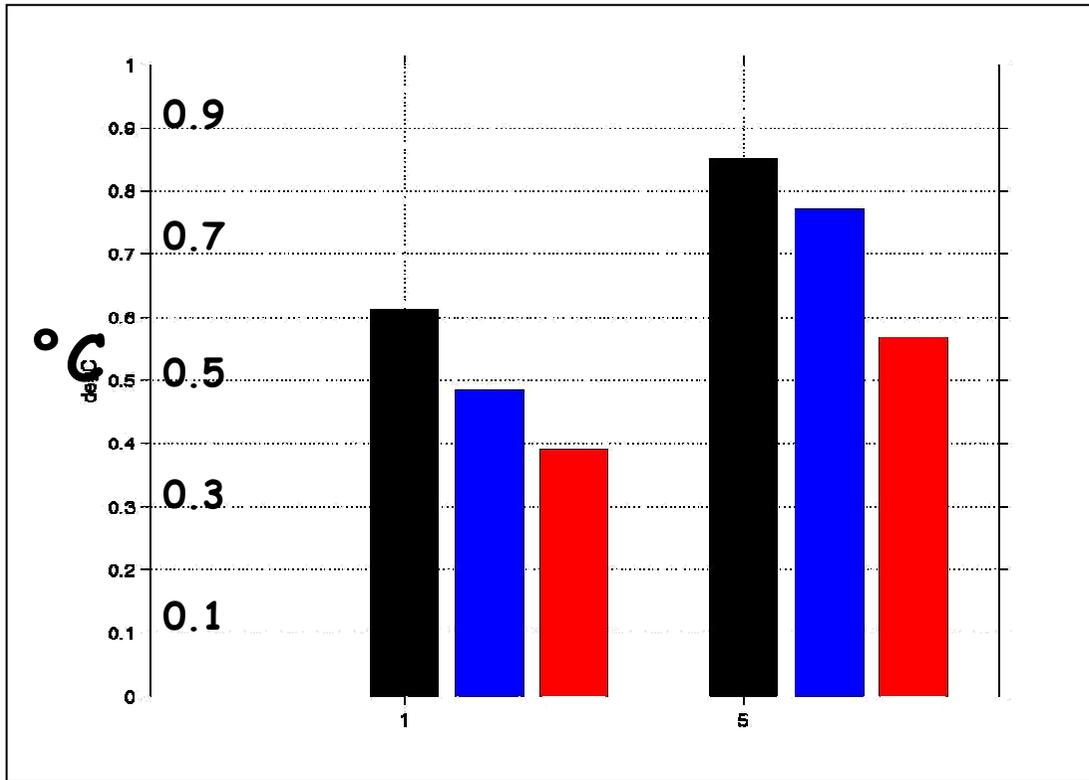
Front Juillet 2006



Results

Overall statistics

Sea Surface Temperature RMS error (shelf)



Spring

Summer

Forecast
Analysis

21%
35%

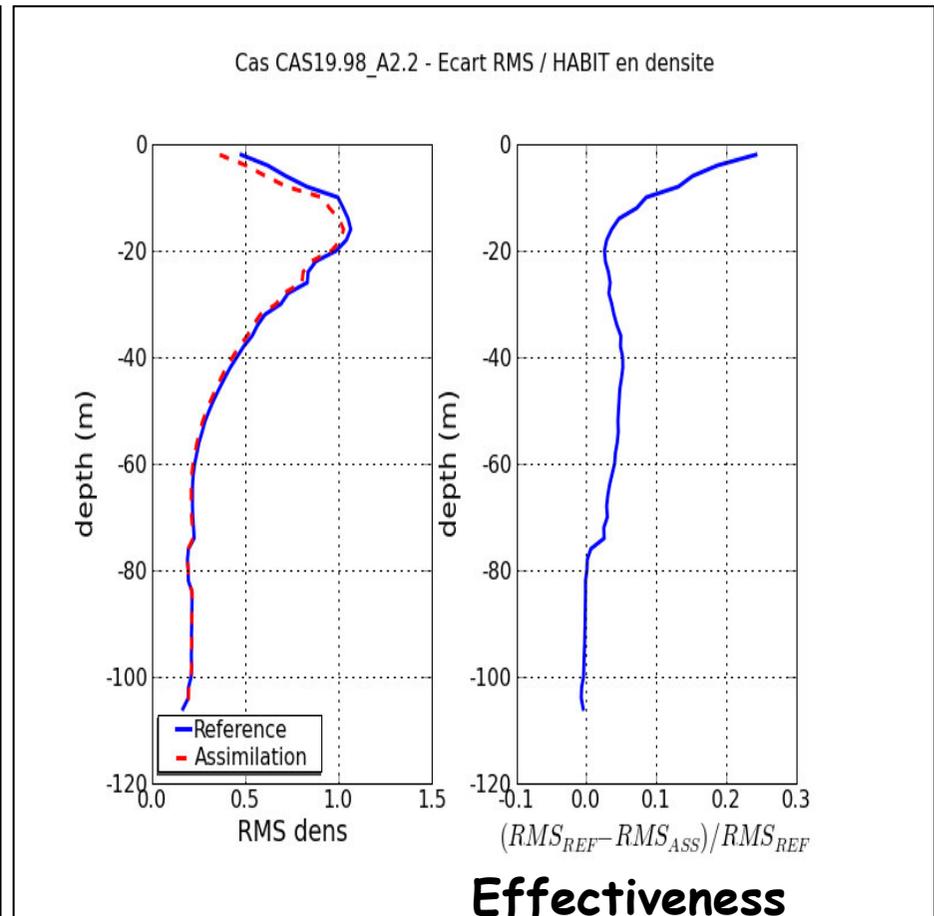
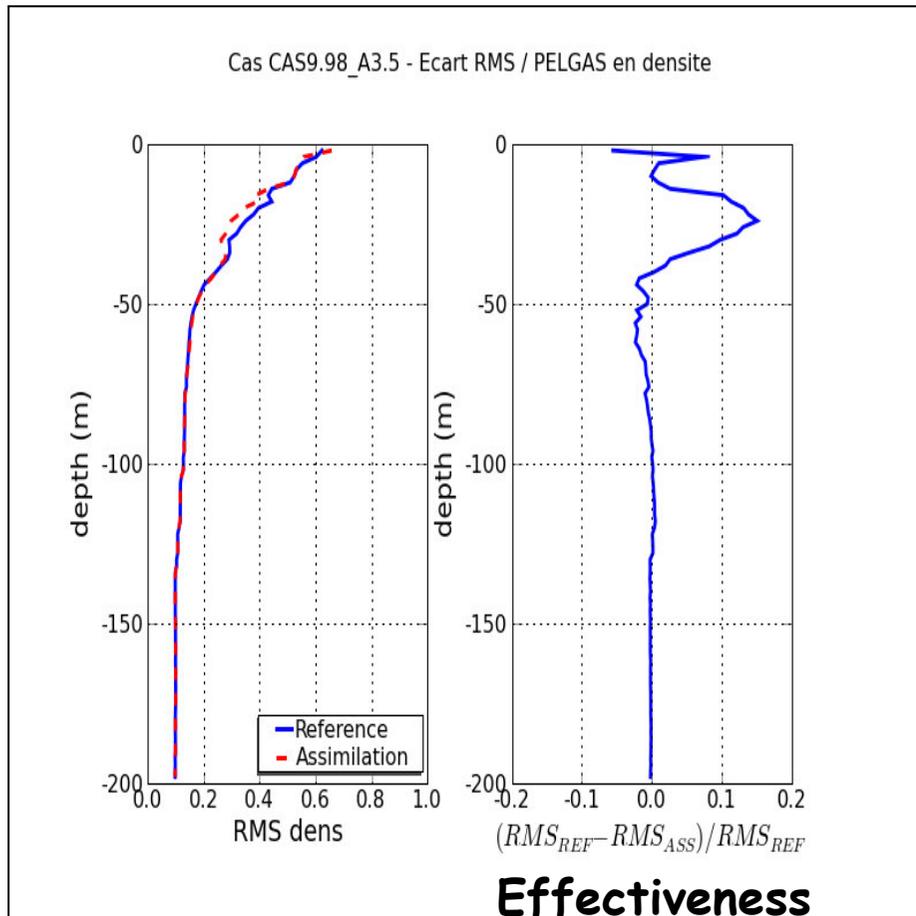
9%
33%

Density vertical profile

RMS error

Spring experiment

Summer experiment



Results

- Overall Statistics
- Detailed results : Spring experiment
- Summary & Perspectives

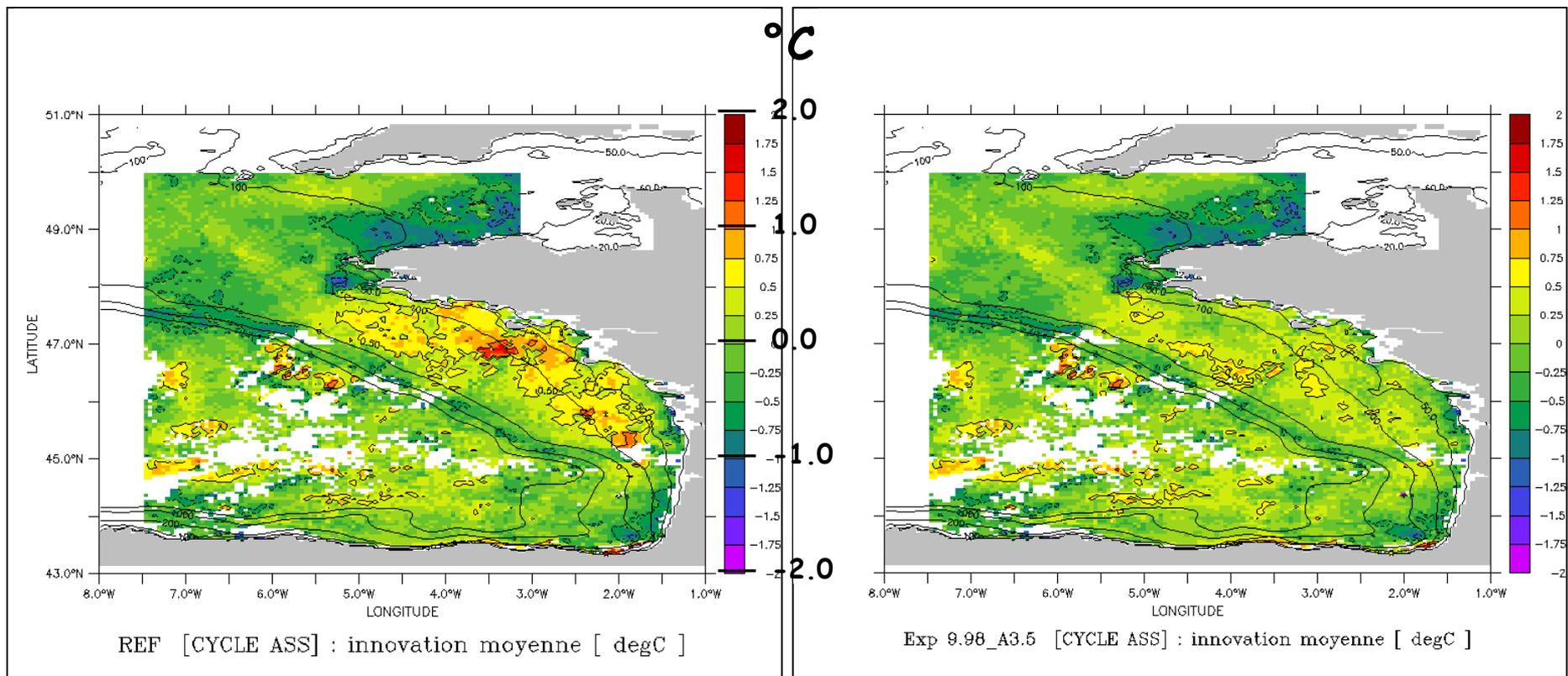
Results

Spring Experiment

Sea Surface Temperature: bias bias

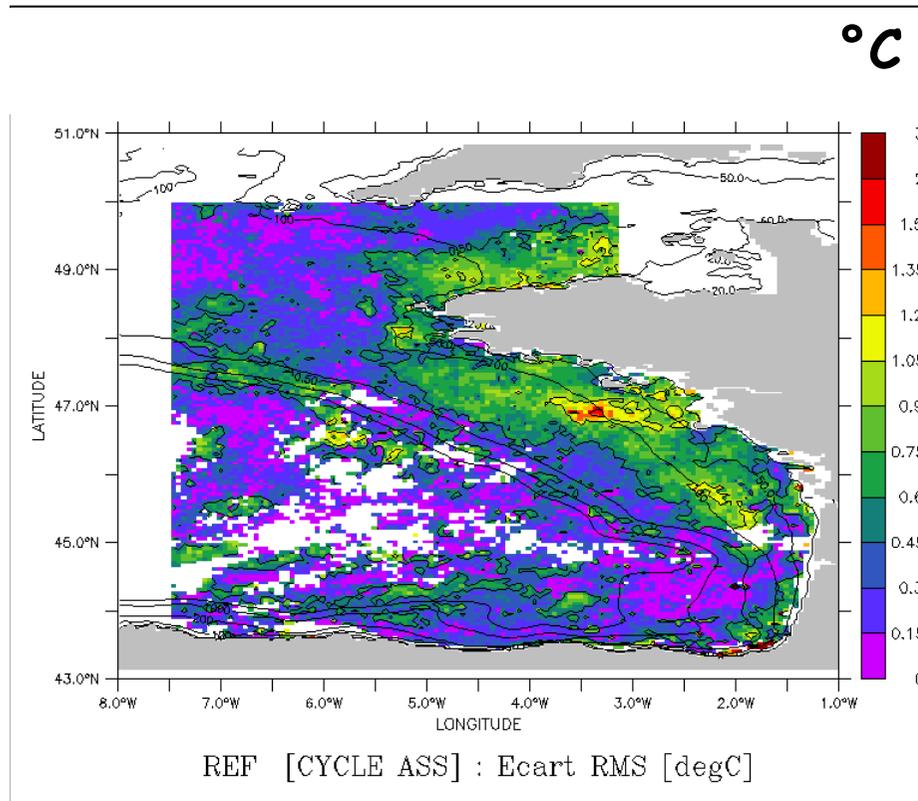
Control Run

Ensemble Mean Forecast

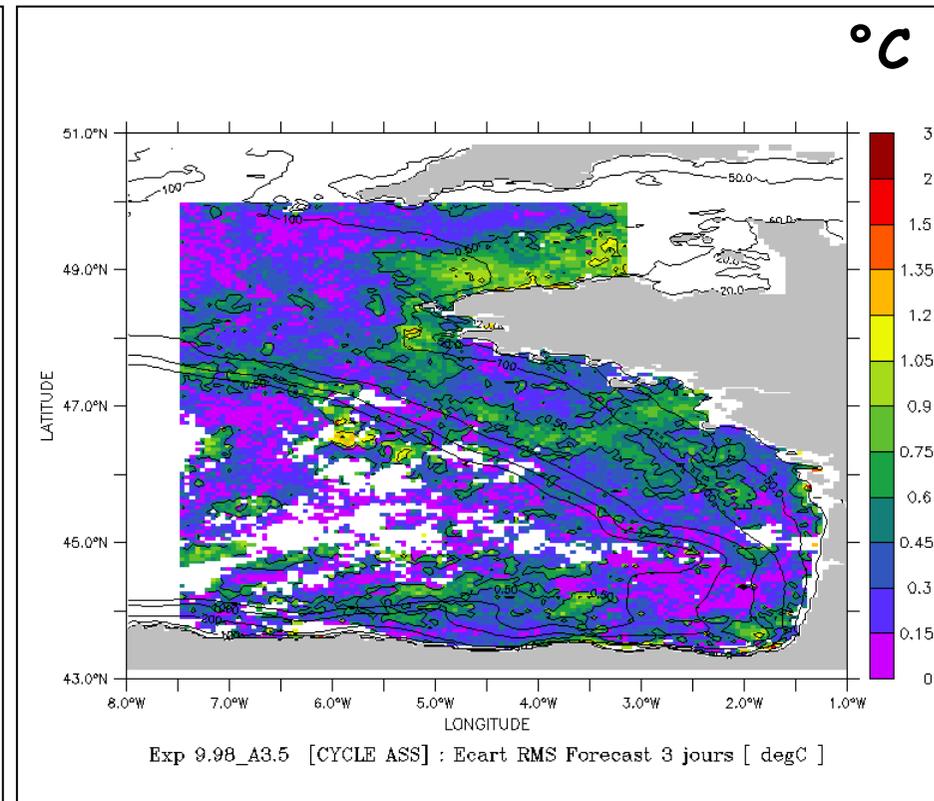


Sea Surface Temperature: RMS difference RMS difference

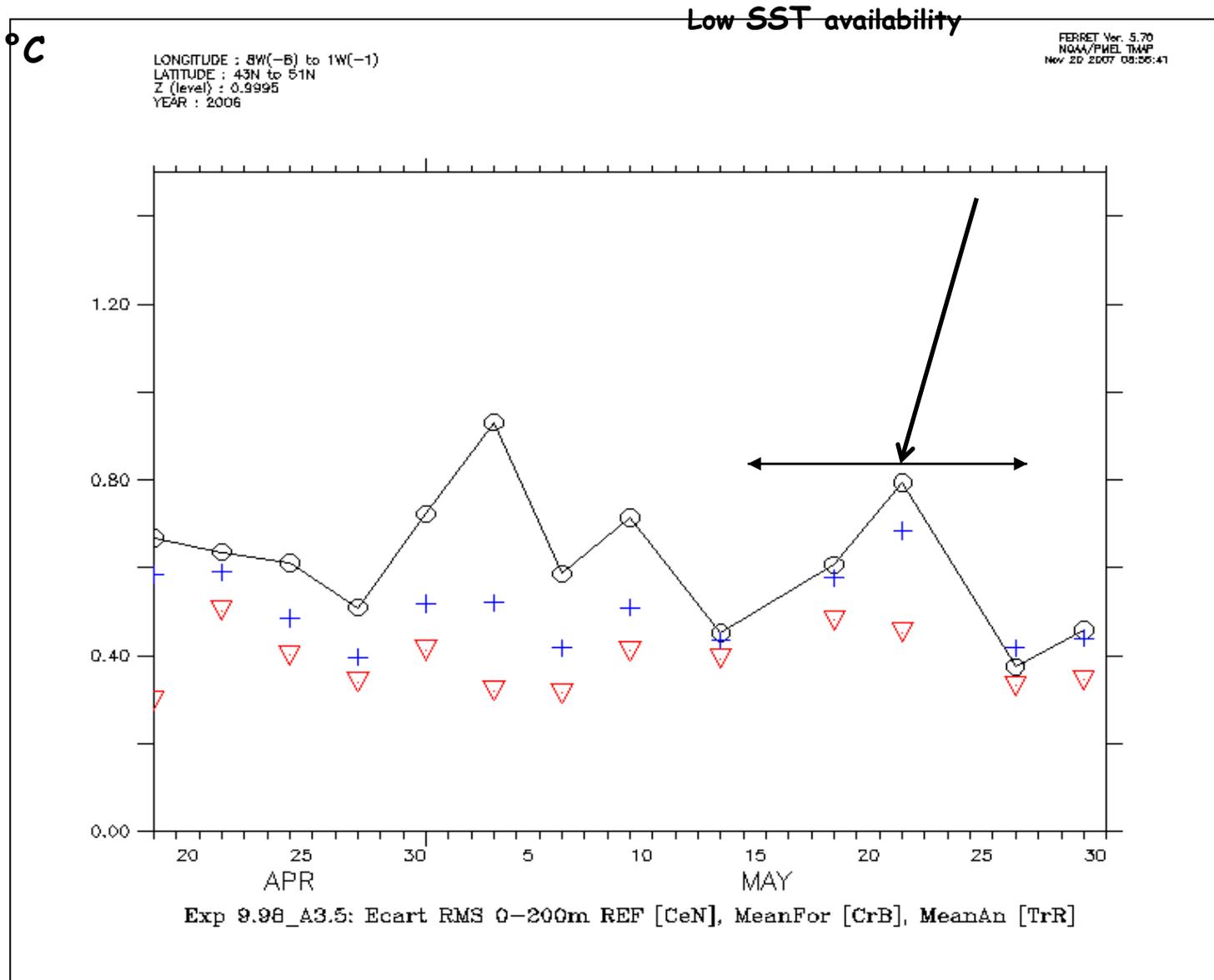
Control Run



Ensemble Mean Forecast



Sea Surface Temperature: RMS difference

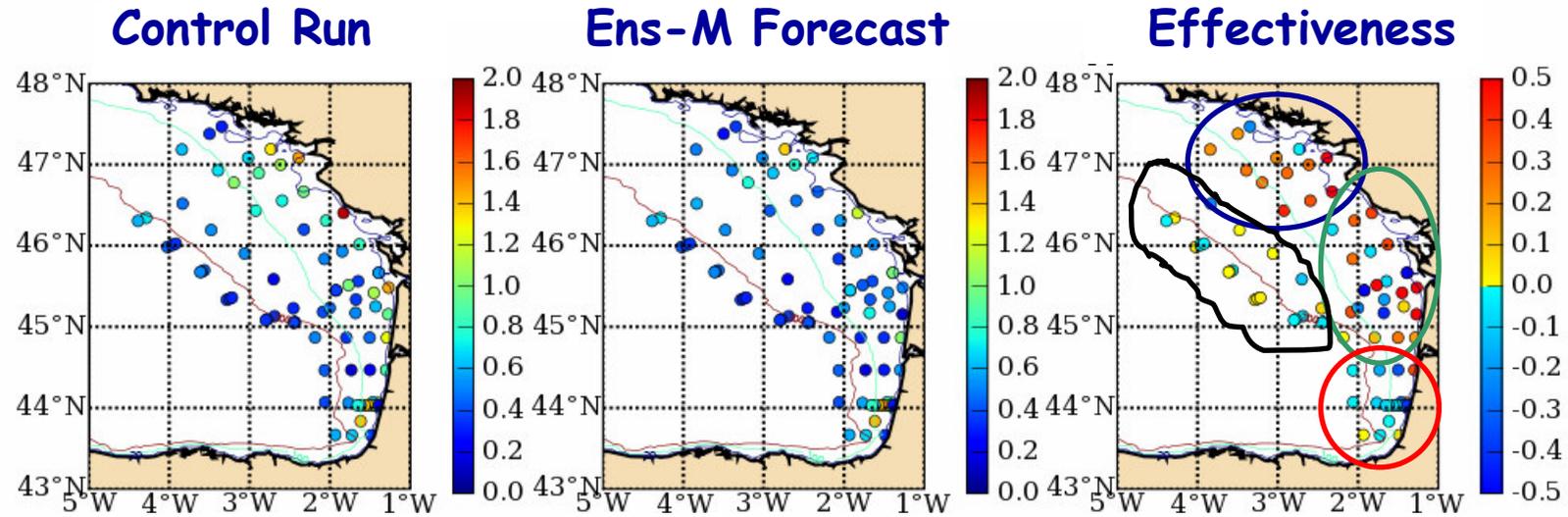


Results

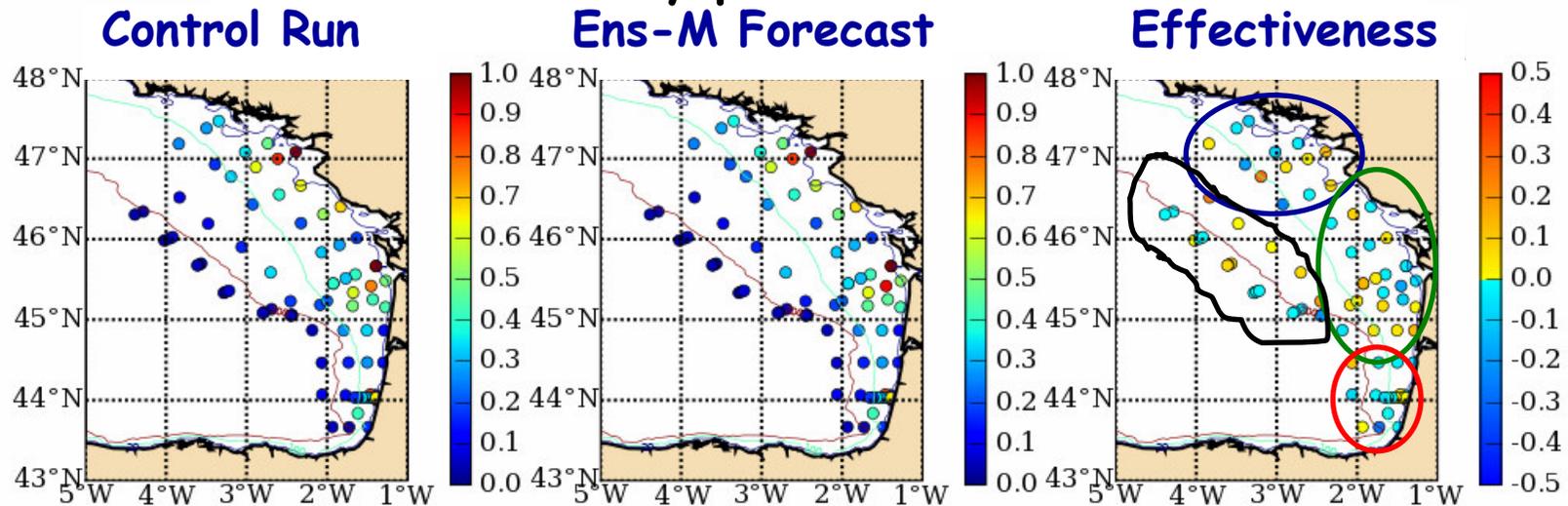
Spring Experiment

T, S profiles

Temperature profile : RMSe



Salinity profile : RMSe



Results

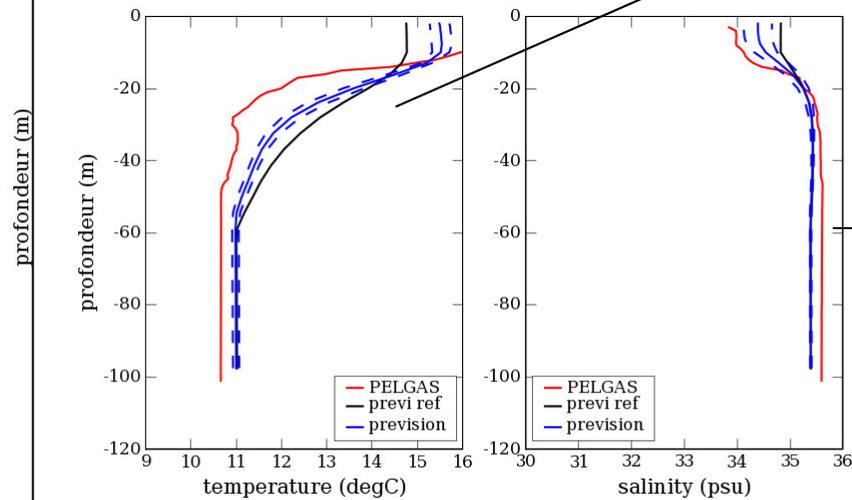
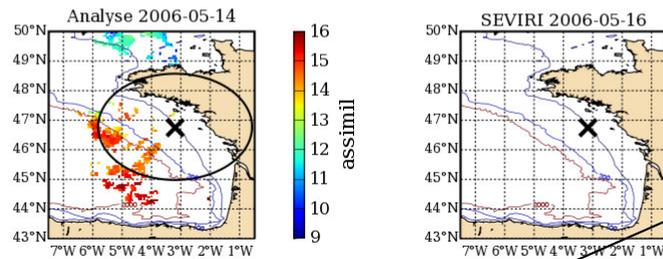
Spring Experiment

T & S LOIRE Plume

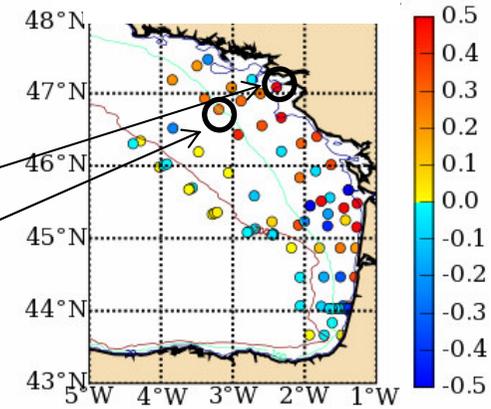
Validation du CAS9.98_A3.5 avec la campagne PELGAS

Comparaison entre PELGAS Station 355 46°46'N 03°11'W 2006-05-16 00:00

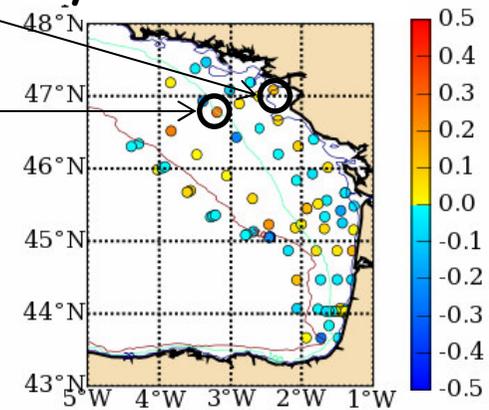
et MARS 3D GDGE-ASST 46°46'N 03°11'W 2006-05-16 00:00



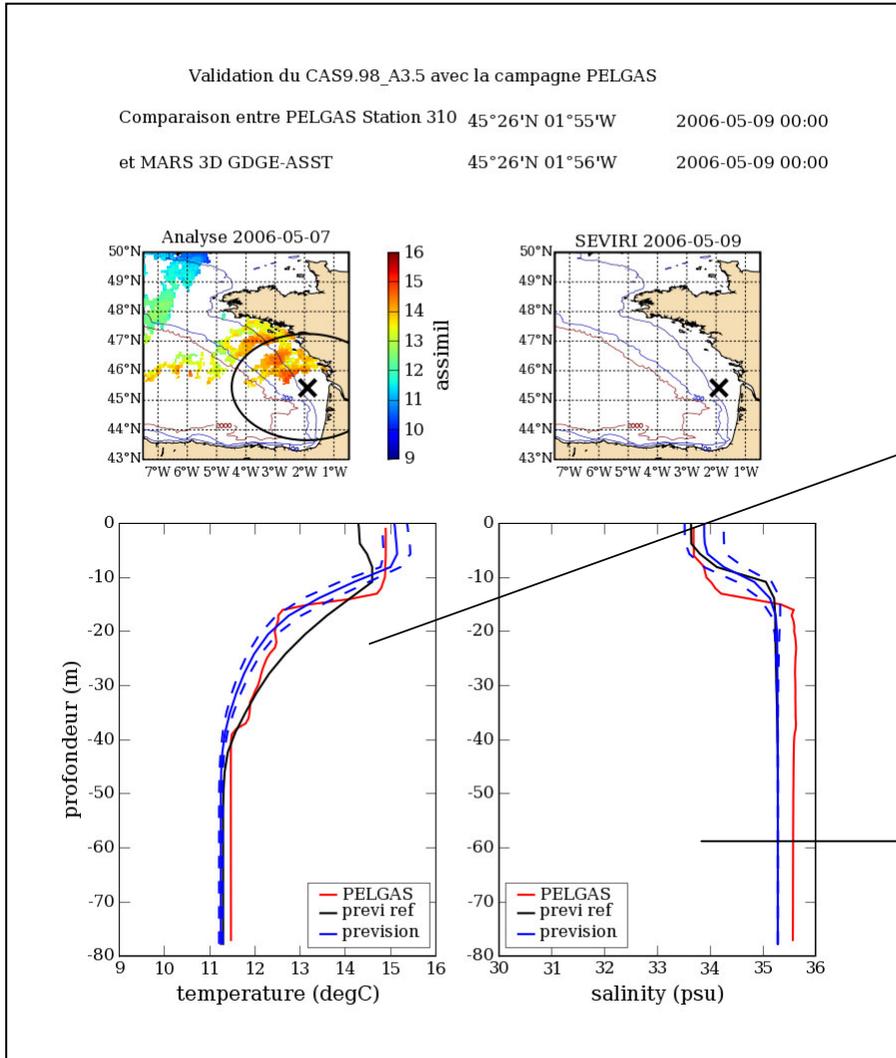
Temperature Profiles: Effectiveness



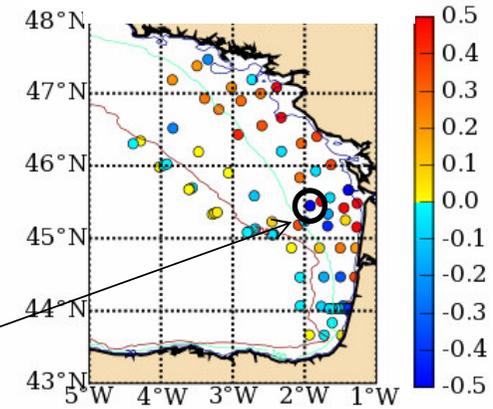
Salinity Profiles: Effectiveness



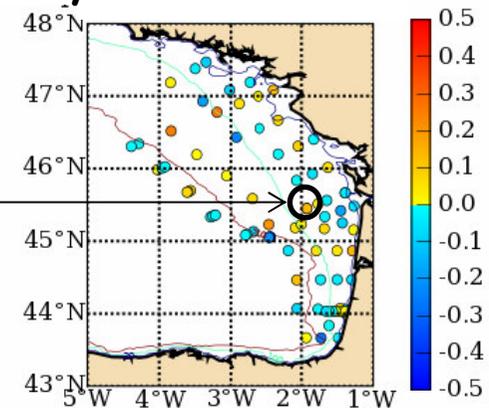
Results Spring Experiment T & S GIRONDE Plume



Temperature Profiles: Effectiveness



Salinity Profiles: Effectiveness



Summary & Perspectives

SST

Effectiveness (Forecast) = 9 to 21 %

Spring: Efficient: plumes, mid-april to mid-may

Not efficient: English Channel

→ Forecast error sources still to be found

T-S profiles

Effectiveness (Forecast) = 20 to 10 % (mainly Mixed Layer)

Spring: Efficient: Loire plume (Gironde plume)

Not efficient: Shelf Break & Basque area

→ 3D extinction coefficient, wind

Uncertainty

Forecast error underestimated by ensemble dispersion

→ error sources, ensemble size, ...