

Laboratoire de Physique des Océans
UMR n° 6523 IFREMER – CNRS – UBO

F. Gaillard
C. Kermabon
H. Mercier

Juin 2002 - R.INT. DRO/UM/LPO 02-06

Synthèse des données par filtrage de Kalman, reconstruction des champs 4D sur la zone POMME

Analyses de référence



SOMMAIRE

1	Objectifs de l'étude et méthode.....	3
2	Description de l'analyse	3
2.1	Configuration	3
2.2	Les données	5
2.3	Construction des modes verticaux.....	6
3	Diagnostics et résultats.....	10
3.1	Diagnostics généraux	10
3.2	Champs analysés	10
3.3	Calcul de flux	16
4	Discussion	17

1 Objectifs de l'étude et méthode

L'inverse KA_V1 permettra d'effectuer la synthèse de l'ensemble des mesures de paramètres physiques: température, salinité et courants, effectuées durant la période couverte par l'expérience POMME. Ces mesures sont des mesures in-situ réalisées spécifiquement pour POMME, des mesures d'opportunité collectées via le centre de données CORIOLIS et les données d'altimétrie intégrées par l'intermédiaire du modèle SOPRANE.

La définition complète du modèle est fournie dans le document « Inverse KA-V1 : Description de la méthode ». Nous rappelons brièvement ici quelles en sont les caractéristiques principales.

Les variables de base (vecteur d'état) sont projetées sur des modes verticaux, les champs horizontaux sur les composantes de Fourier, ce qui permet un calcul précis des termes dérivés. Cette combinaison de données repose sur un filtre de Kalman dans lequel la prédiction est une simple persistance, pondérée par un rappel à la climatologie. La version actuelle est contrainte uniquement par les données, elle accepte les mesures in-situ de type profils de température et salinité et les mesures de courant. L'intérêt de cette formulation réside dans la priorité accordée aux données. Elle peut être utilisée pour valider ces données et détecter d'éventuels biais ou anomalies, en vérifiant leur compatibilité et la consistance avec les statistiques a-priori. Les champs produits seront une référence à laquelle seront comparés les résultats d'assimilation, il pourront aussi fournir des conditions initiales aux modèles de processus, soit dynamiques soit couplés dynamique-biologie.

Une analyse préliminaire couvrant les années 2000-2001 complète est présentée ici. Elle a été effectuée en combinant les analyses temps réel de température in-situ CORIOLIS avec les analyses de fonction courant SOPRANE. Les résultats permettent de disposer d'un contexte : champs de température, salinité, courant, géostrophiquement consistants, et de faire un premier bilan avant la disponibilité du jeu de données complet.

2 Description de l'analyse

2.1 Configuration

Les paramètres définissant la configuration de l'analyse sont les suivants :

- Période analysée: *années 2000-2001*,
- Zone POMME (figure 1).
- L'analyse est effectuée relativement à un profil moyen défini sur une base de donnée CTD indépendante.
- Modes verticaux : les modes verticaux sont associés au profil moyen et définis sur la même base de donnée (à quelques profils près). Ces modes sont représentatifs du cycle saisonnier et de la zone. Nous utilisons *4 modes de température* (et de salinité neutres), *2 modes actifs (baroclines)*, *1 mode barotrope*.
- Etat initial : *pas de perturbation/profils de référence*
- Climatologie : *pas de perturbation/profils de référence*
- Données :

- Profils : résultats des analyses objective Coriolis temps réel. L'erreur d'analyse est utilisée mais les corrélations spatiales sont ignorées. Résolution horizontale des données : 0.5 degré. Niveaux (en mètres): [5, 10, 20, 30, [40:20:300], [350:50:1950]].
- Soprane : vecteurs vitesse à 100 m, l'erreur est déduite de l'erreur altimétrique (MSLA) (les corrélations spatiales sont ignorées).
- pas de temps : 1 jour, en effet, pour limiter la demande en mémoire :
- les données Soprane sont fournies à $S*7+1$, où S désigne le numéro de semaine,
- les données AO sont distribuées sur 4 jours : $S*7+2$, $S*7+3$, $S*7+4$, $S*7+5$,
- résolution de l'estimation : 40 km (celle des runs de validation)
- covariances spatiales : 80 km, mémoire : 10 jours

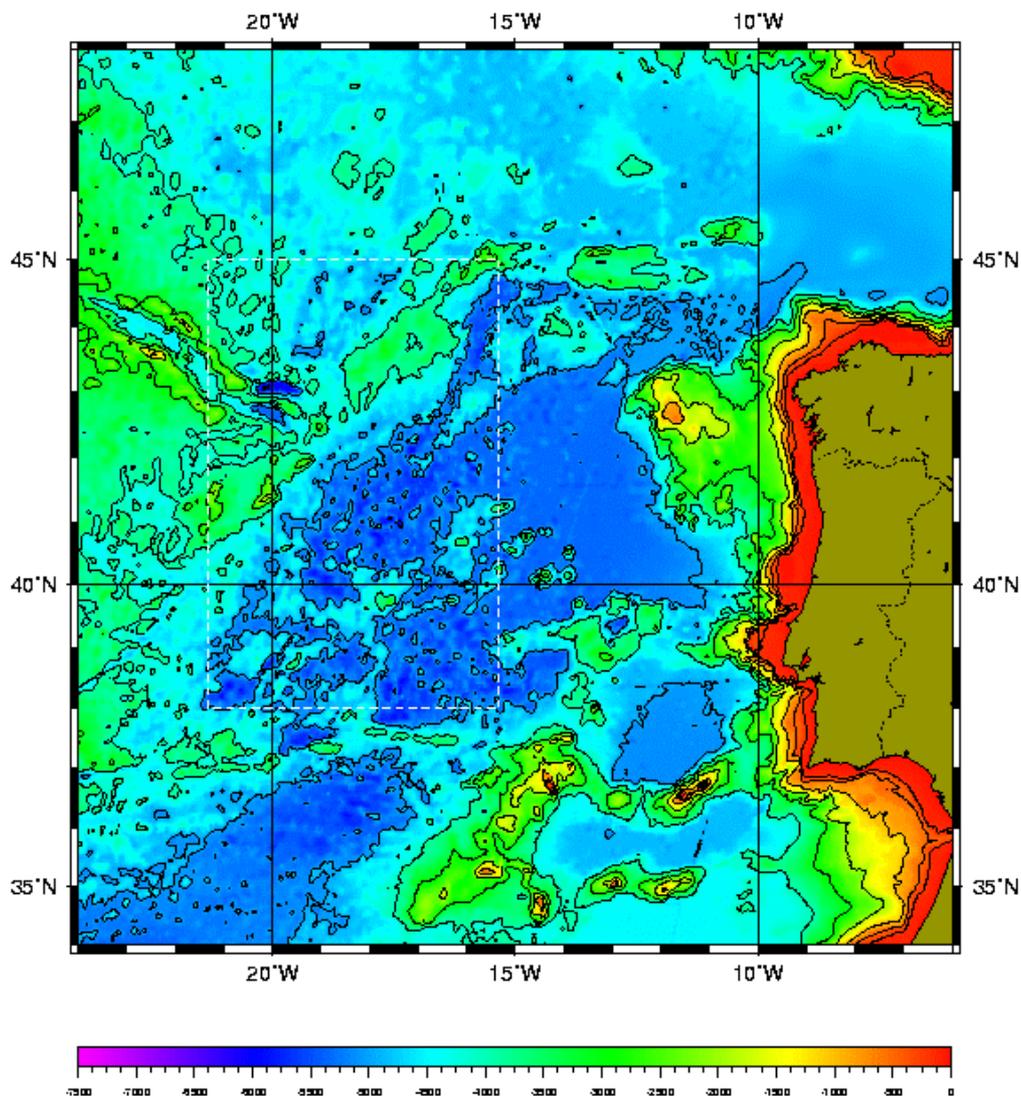


Figure 1 : Limites de la zone POMME analysée.

2.2 Les données

Une première inversion de référence couvrant les années 2000-2001 a été effectuée début 2002. Elle est construite à partir des courants à 100 mètres donnés par SOPRANE (figure 2), combinés avec les produits grillés issus de l'analyse objective CORIOLIS entre 0 et 2000m. (figure 1). Ces derniers résultats intègrent les mesures de type profil et l'atlas de T. Reynaud annuel

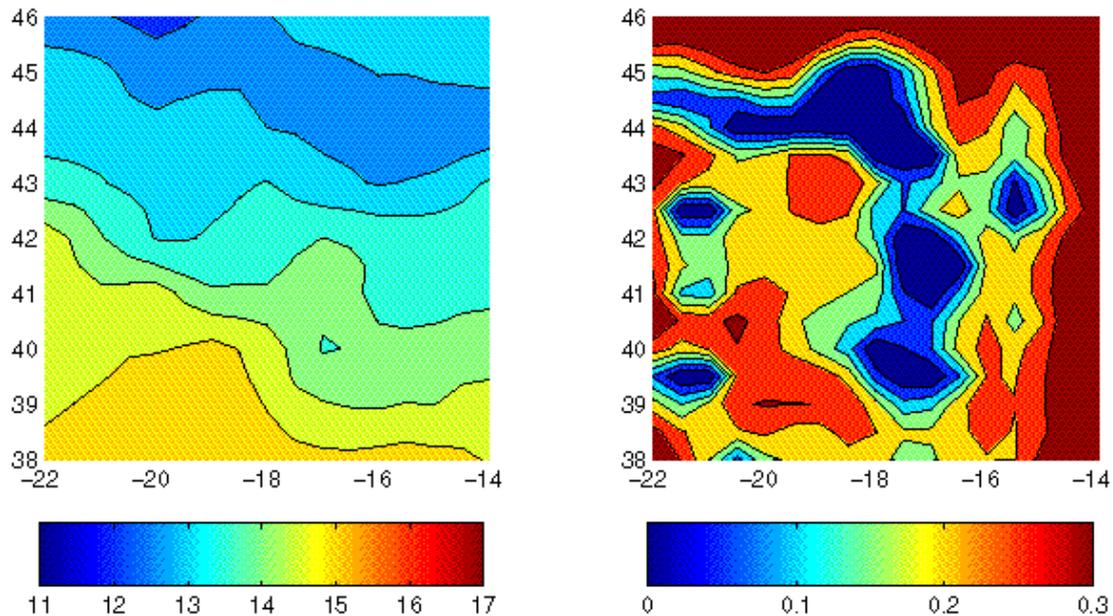


Figure 2 : Champs de température analysés sur grille régulière issus des analyses temps réel effectuées dans le cadre de CORIOLIS. A gauche température à 10 m début février 2001, à droite l'erreur d'analyse correspondante. Ces champs sont utilisés comme des données de profil dans l'analyse KA_ref.

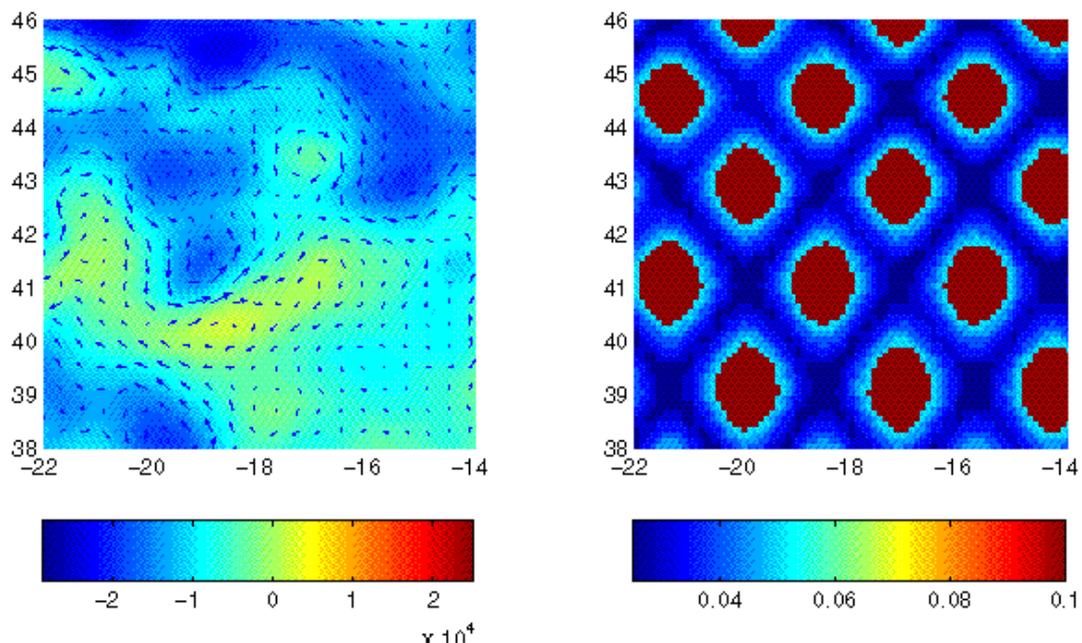


Figure 3 : Champs de fonction courant analysés par SOPRANE. A gauche la fonction courant et les vecteurs vitesse au premier niveau (100 m) début février. A droite l'erreur MSLA correspondante. Ces champs sont utilisés comme des données de vitesse à 100 mètres dans l'analyse KA_ref

2.3 Construction des modes verticaux

La décomposition verticale adoptée repose sur l'hypothèse que les perturbations de température et de salinité se font au premier ordre à densité constante. On déduit donc de l'anomalie de température une anomalie de salinité neutre. La variation de densité s'exprimera sur un mode de salinité dit actif. A cette variation de densité correspond une fonction courant barocline géostrophique. On adjoint à ces modes baroclines un mode barotrope de fonction courant.

Les profils de référence de température et de salinité sont construits comme la moyenne d'un ensemble de profils CTD de la décennie 1990 dont les positions sont fournies figure 4. Les coefficients d'expansion thermique et halin sont calculés pour ces profils à partir de l'équation d'état. On en déduit les profils $\alpha(z)$ et $\beta(z)$ qui permettront respectivement de déduire l'anomalie de salinité neutre de l'anomalie de température et l'anomalie de densité de l'anomalie de salinité active.

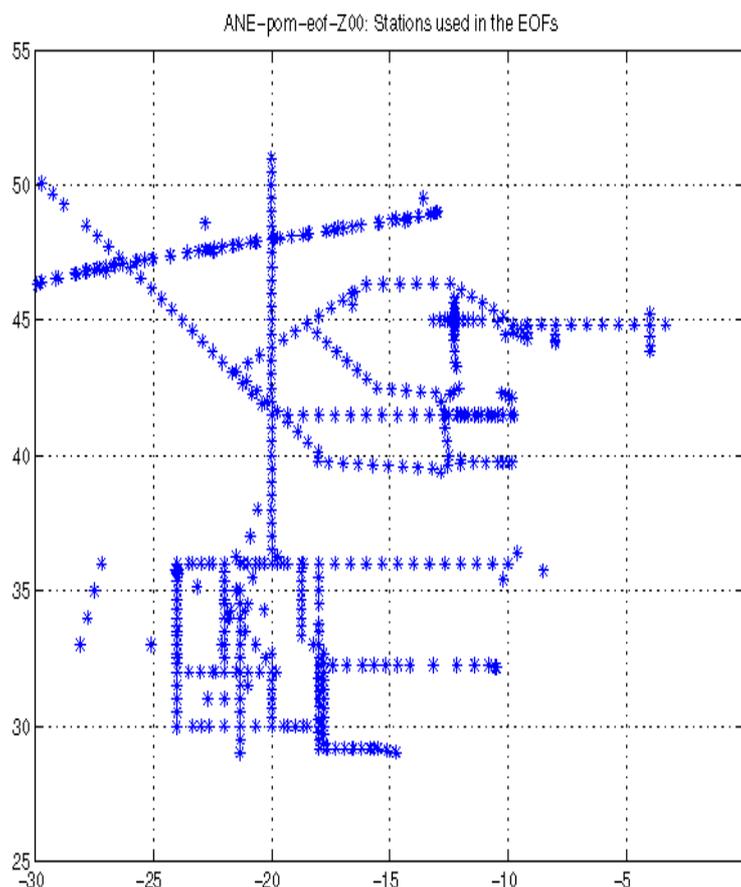


Figure 4 : Position des stations hydrologiques (profils CTD) utilisés pour construire les profils de référence et les modes verticaux.

La même base de données est utilisée pour calculer les fonctions empiriques orthogonales. Les profils sont centrés sur les profils moyens et les modes de température sont calculés. Chaque profil de température est ensuite transformé en un profil de salinité neutre qui est soustrait de l'anomalie de salinité. On calcule alors les modes correspondant à la partie active de l'anomalie de salinité.

Pour l'analyse KA_ref, les champs sont reconstruits sur 4 modes de température et 2 modes de salinité actifs. Les profils moyens et les modes sont présentés figure 5. L'efficacité de cette reconstruction dépend de la complexité et de la représentativité du profil : un profil contenant des structures de petite échelle ou des caractéristiques rares dans la base de données sera moins bien représenté qu'un profil plus simple et courant. Des exemples de reconstruction extrêmes sont présentés figure 6.

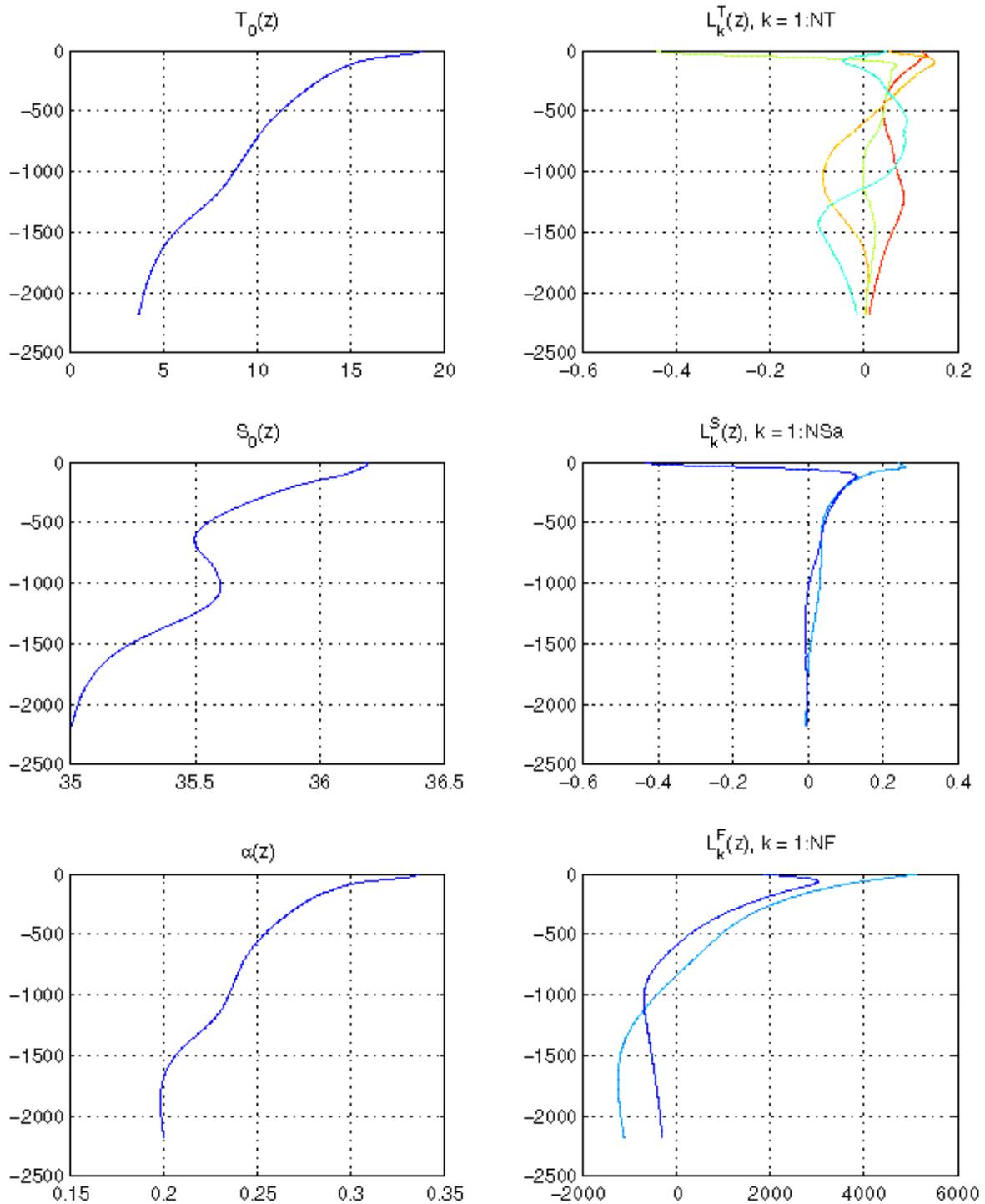


Figure 5 : Profils moyens de température, salinité et coefficient de conversion S_a – densité (gauche) et modes de température, salinité et fonction courant (droite) utilisés pour l'analyse KA_ref.

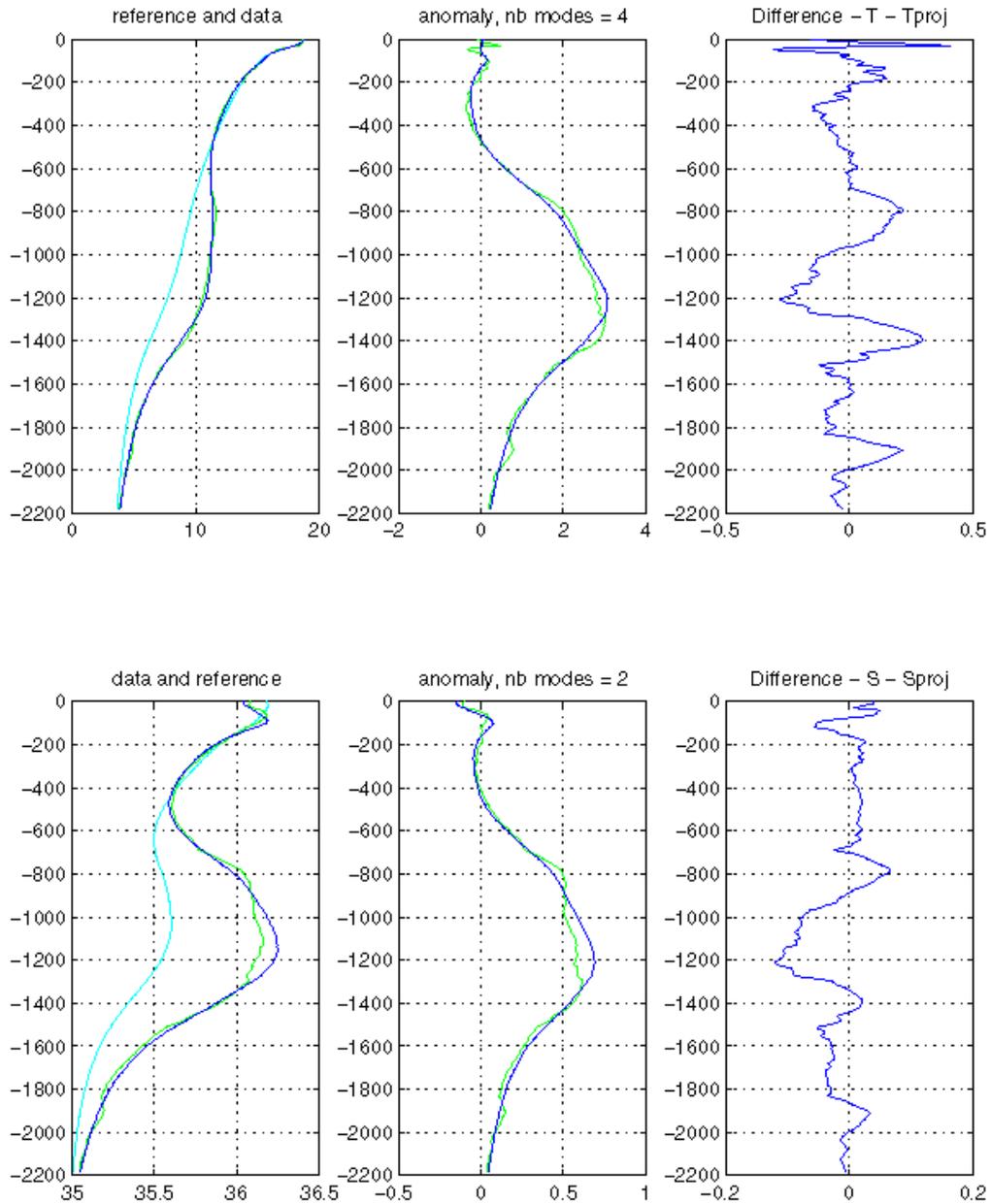


Figure 6-a : Profils de température (haut) et salinité (bas), reconstruction avec 4 modes de température et 2 modes de salinité active en deux points de la zone. A gauche les profils absolus moyen (cyan), original (vert) et reconstitué (bleu). Au centre l'anomalie, à droite la différence ou erreur de reconstruction.

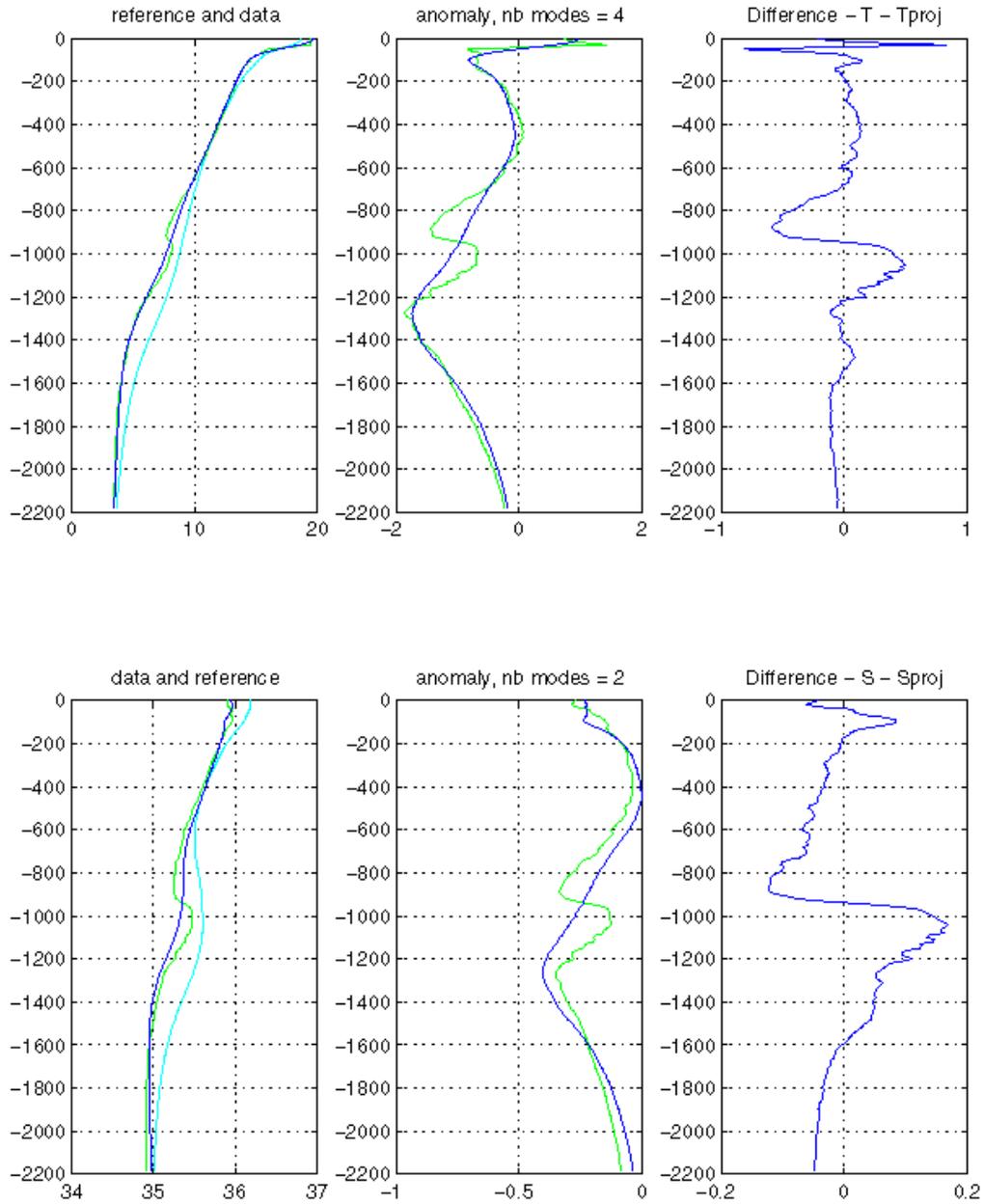


Figure 6-b : Profils de température (haut) et salinité (bas), reconstruction avec 4 modes de température et 2 modes de salinité active en deux points de la zone. A gauche les profils absolus moyen (cyan), original (vert) et reconstitué (bleu). Au centre l'anomalie, à droite la différence ou erreur de reconstruction.

3 Diagnostics et résultats

3.1 Diagnostics généraux

Le premier diagnostic consiste à vérifier la compatibilité des données entre elles et avec la connaissance a priori des erreurs de mesure. Les résidus traduisent cette compatibilité : la solution proposée soit satisfaire les données avec une précision en accord avec les erreurs a-priori, le rapport résidu sur erreur initiale doit être d'ordre 1. Les valeurs montrées figure 7 sont en règle générale légèrement inférieures : cela indique soit une surestimation des erreurs, soit un manque de contraintes. On note cependant deux exceptions dans les résidus SOPRANE, autour des jours 100 et 350 de l'année 2000. Il s'avère que pour ces analyses, les champs SOPRANE comportaient des anomalies. Notre analyse tend à rejeter ces données, incompatibles avec les analyses précédentes et les échelles spatiales spécifiées dans les covariances.

Le second diagnostic consiste à s'assurer que les caractéristiques énergétiques du champ sont en accord avec les variances a-priori. Les données combinées dans cette analyse sont la température et la vitesse à un niveau. Le premier type de données contraint les modes de température (modes 1 à 4 ici), le second type contraint essentiellement le mode barotrope (mode 0), car le cisaillement n'est pas fourni. Les deux jeux de données ont donc des rôles indépendants et de ce fait, rien ne garantit la consistance des champs de température et de salinité, pour cela des informations de cisaillement ou de salinité sont indispensables. L'interprétation des résultats restera donc très prudente. La série temporelle de l'énergie de chaque mode est fournie figure 7. Comme attendu les modes dominants sont les modes 1 et 2, et le mode 0. Les modes baroclines 5 et 6 sont négligeables.

3.2 Champs analysés

Les champs de température et courant peuvent être reconstitués sur la zone à tous les niveaux supérieurs à 2000 m. Il est ainsi possible d'avoir un premier aperçu de la variabilité saisonnière et inter-annuelle. La figure 8 montre la superposition des deux champs à 200 m aux saisons extrêmes pour les deux années. On remarque la présence de moyenne échelle, plus ou moins résolues, dans les deux champs mais pas de corrélation nette à cette profondeur.

Le champs de température est très proche du champ fourni en entrée et qui résulte de l'analyse de niveaux individuels. Il est donc intéressant de voir l'effet de la projection sur les modes verticaux, et en particulier, la capacité de ces modes à suivre l'évolution de la couche de mélange. Le critère de détection de la base de la couche de mélange :

$$(T_{\text{surf}} - T_{\text{base}}) > 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

fournit un résultat correct à condition de remplacer la température de surface par la température à 50 m. Le second mode de température est en effet très intensifié en surface, le manque de données entre $Z = 5$ m et $Z = 0$ conduit à une légère erreur dans l'estimation du coefficient de ce mode, se traduisant par une structure thermique en surface peu réaliste. On peut supposer que ce défaut sera compensé avec l'utilisation de mesures de thermosalinomètre. En attendant, la structure verticale superficielle ne sera pas regardée. La profondeur de la couche de mélange détectée par l'analyse (figure 10) est en accord avec celle estimée dans les champs CLIPPER 1/6 de mars 2000 (figures 9).

On remarque aussi la variation inter-annuelle de la profondeur : l'année 2001 a produit une couche de mélange plus profonde. La comparaison des points située à 39N, 42N et 45N indique que la zone de fort gradient est situé vers 42N en 2000 et entre 42N et 45N en 2001. La figure 11 montre la distribution spatiale de cette profondeur au cours de l'année 2001.

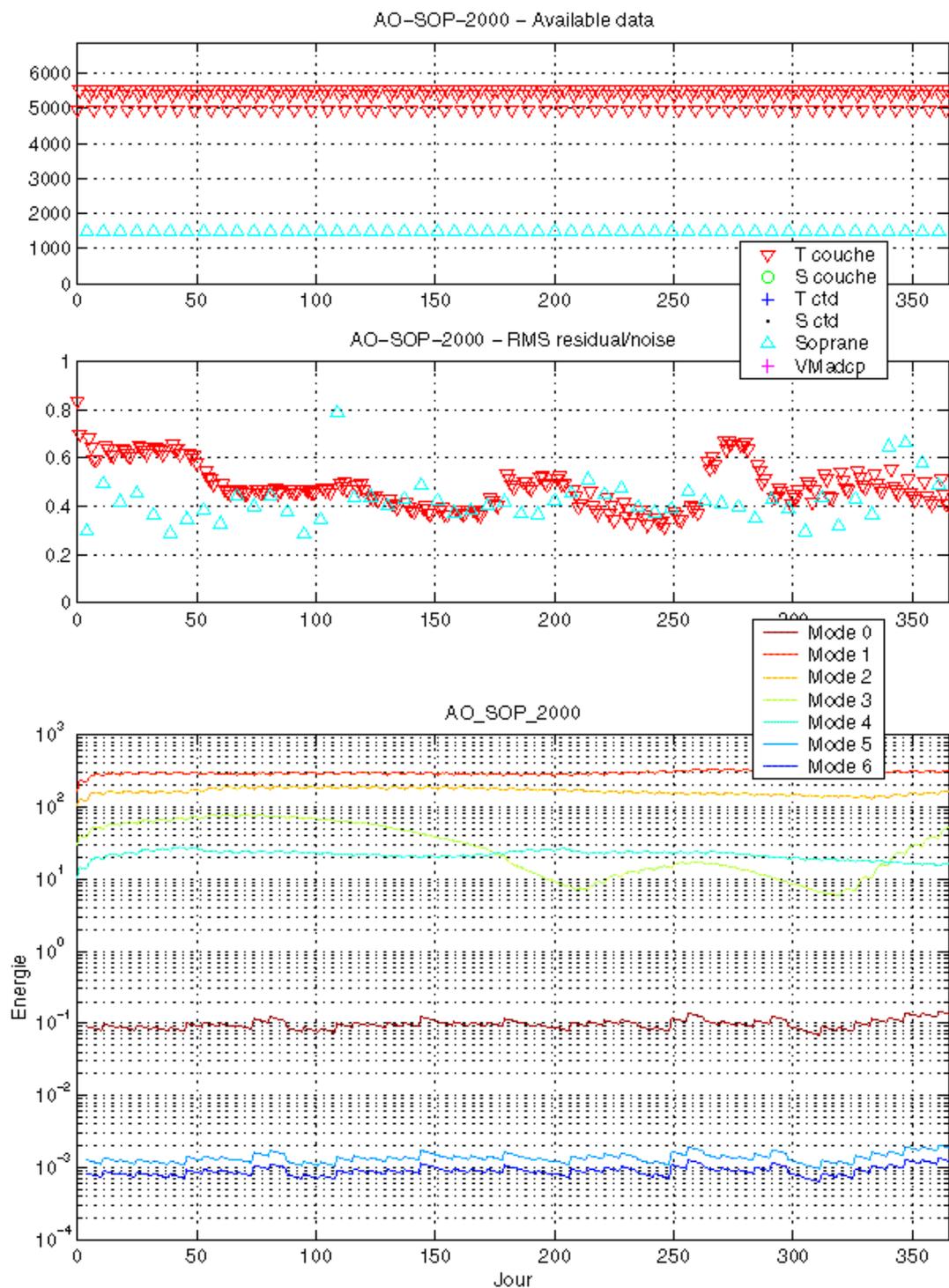


Figure 7-a : Diagnostics généraux des analyses 2000. En haut le nombre de données (par type), au centre le rapport résidus/erreur a priori, en bas l'énergie des modes, le tout en fonction du jour d'analyse relatif au 01/01/2000.

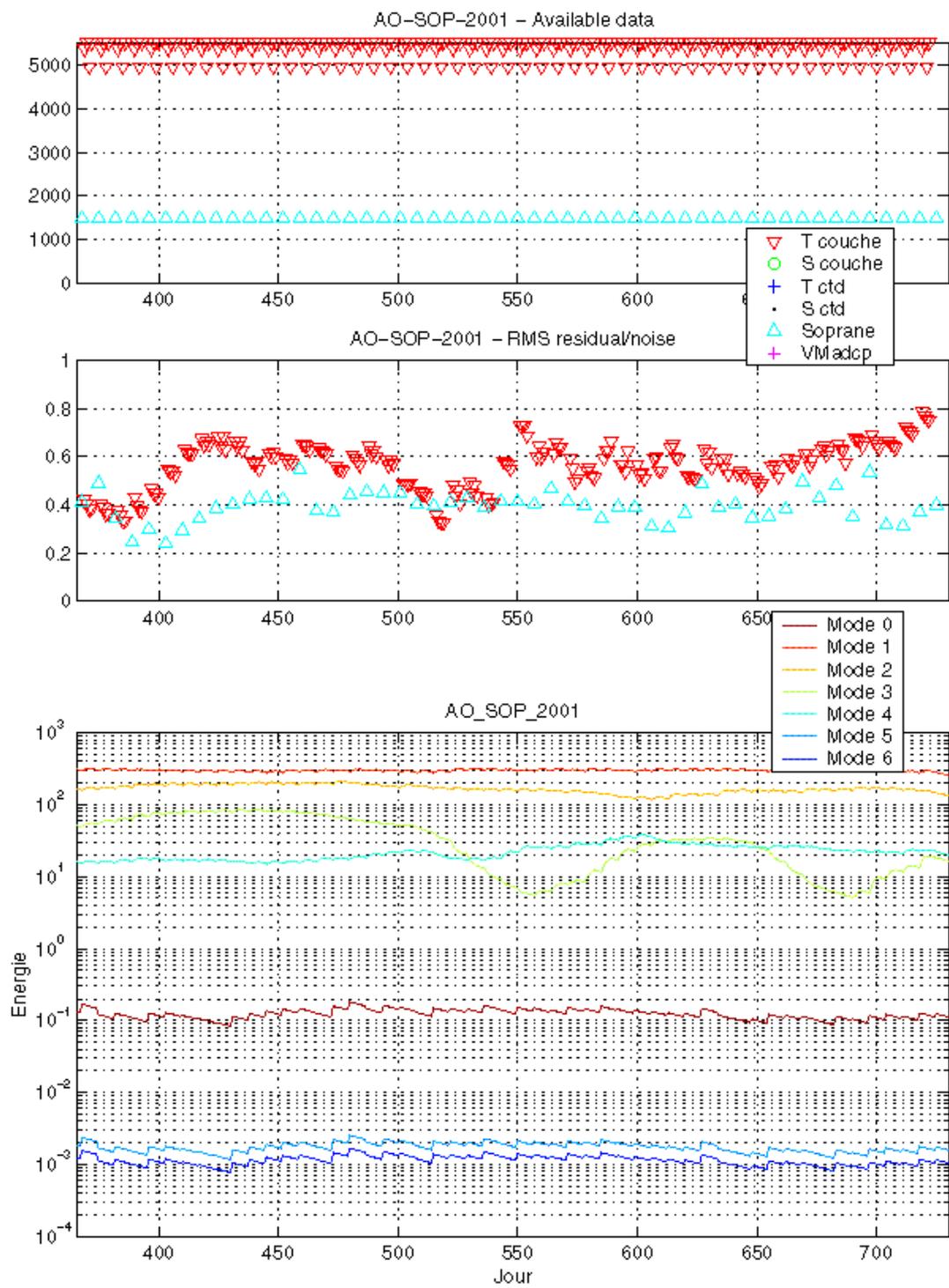


Figure 7 : Diagnostics généraux des analyses 2001. En haut le nombre de données (par type), au centre le rapport résidu/erreur a priori, en bas l'énergie des modes, le tout en fonction du jour d'analyse relatif au 01/01/2000.

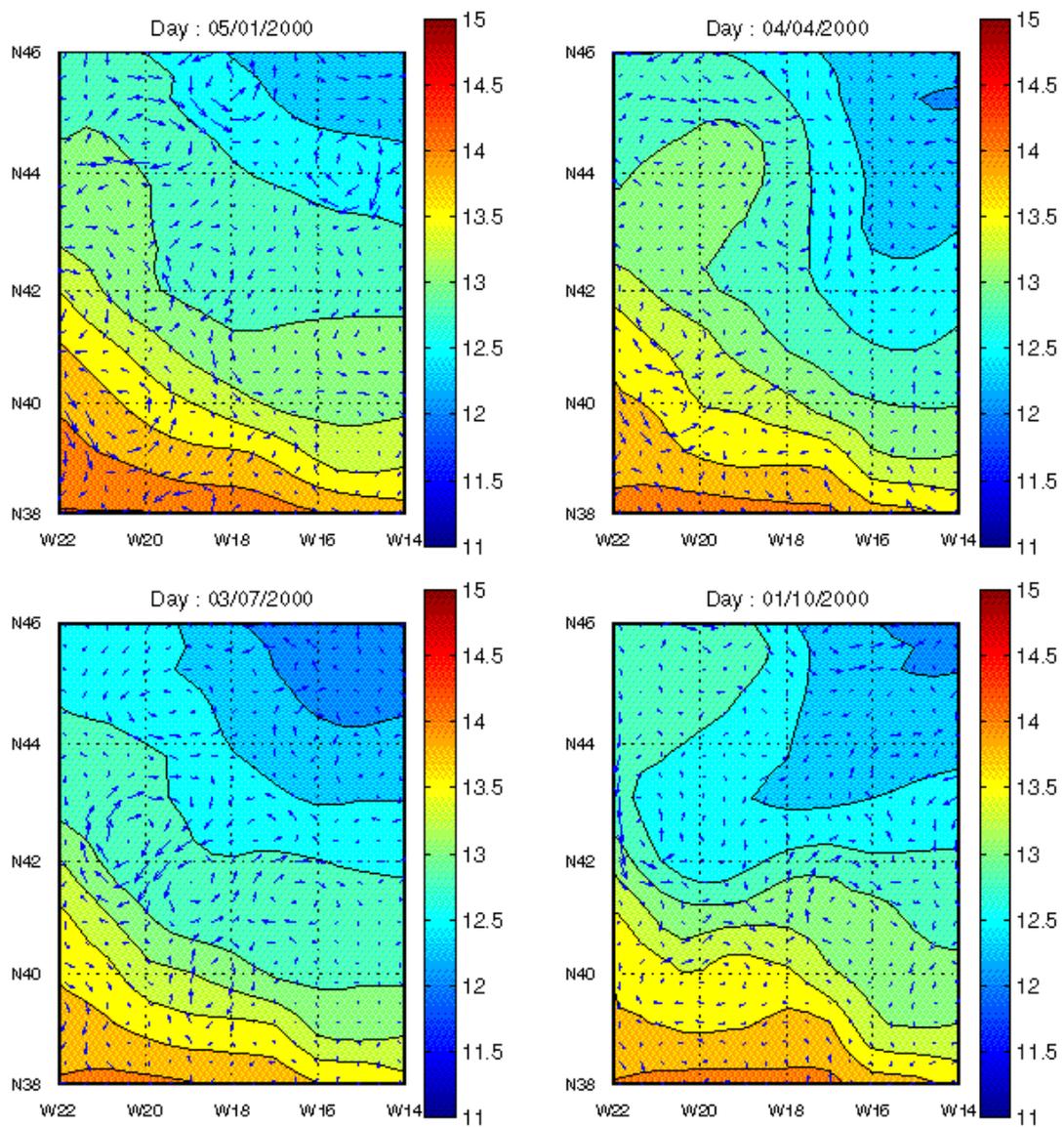


Figure 8-a : Temperature et courants à 200 m aux quatre saisons pour l'année 2000.

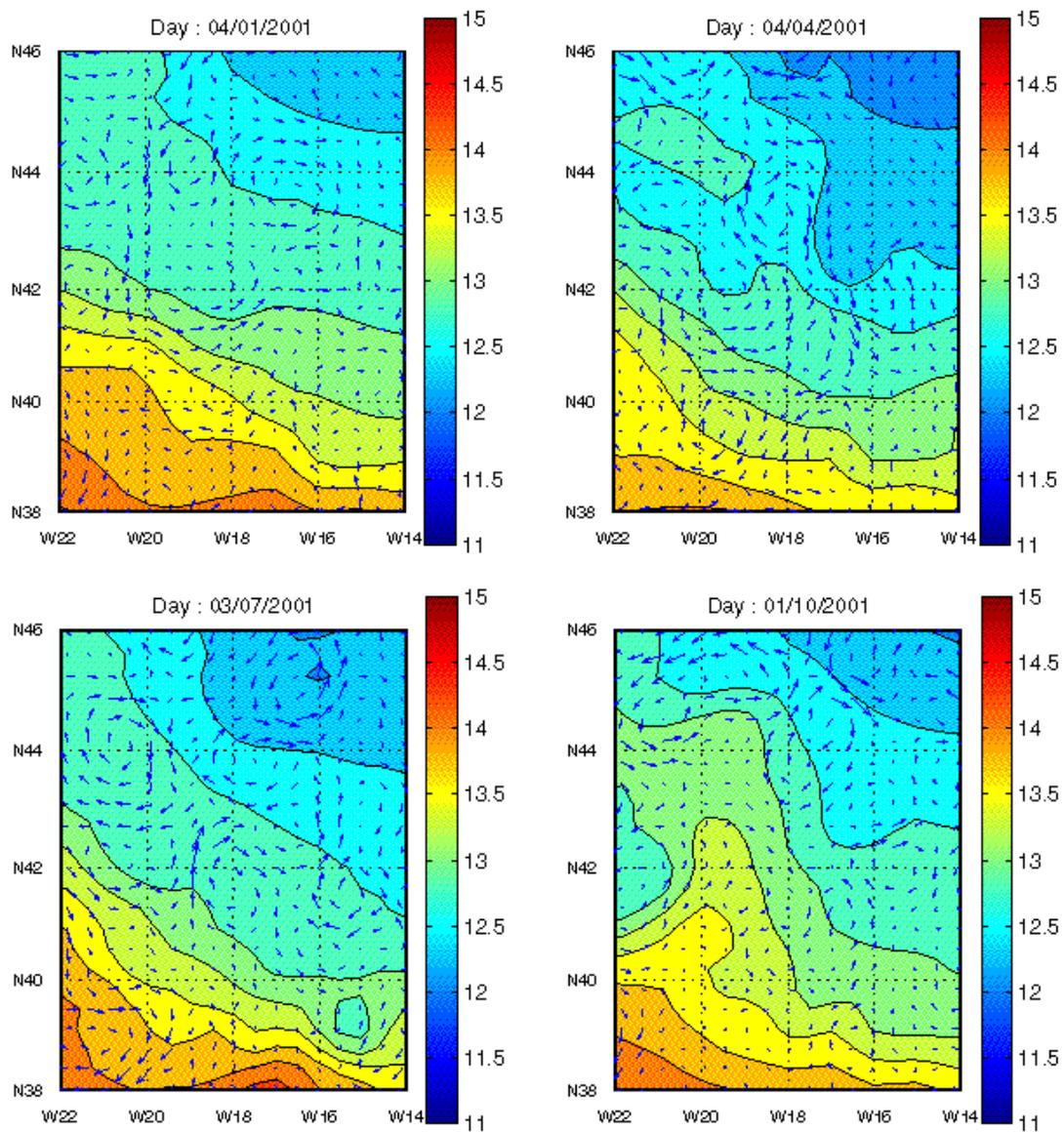


Figure 8-b : Temperature et courants à 200 m aux quatre saisons pour l'année 2001.

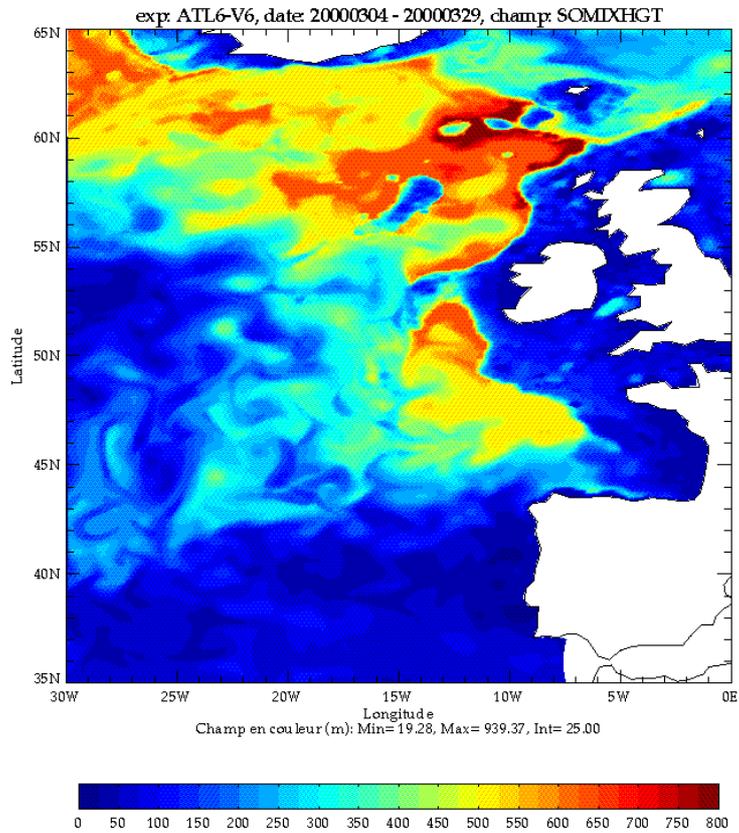


Figure 9 : Profondeur de la couche de mélange dans le modèle CLIPPER 1/6 en mars 2000.

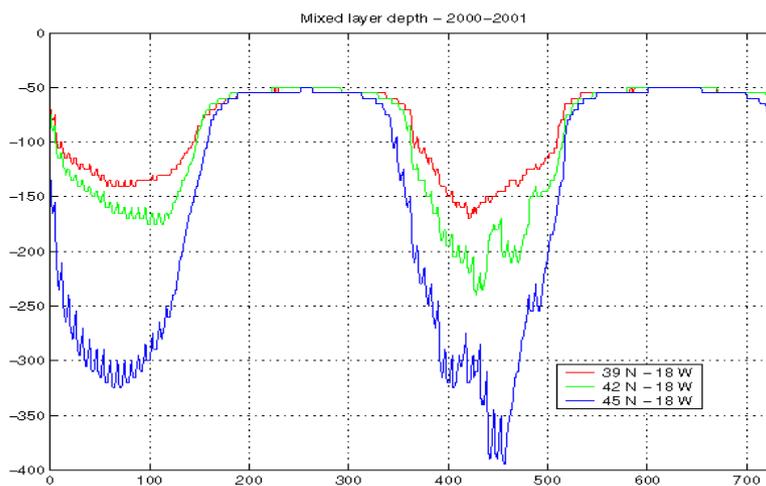


Figure 10 : Profondeur de la couche de mélange en trois points le long de 18°W. On remarque l'approfondissement vers le nord et la variabilité inter-annuelle.

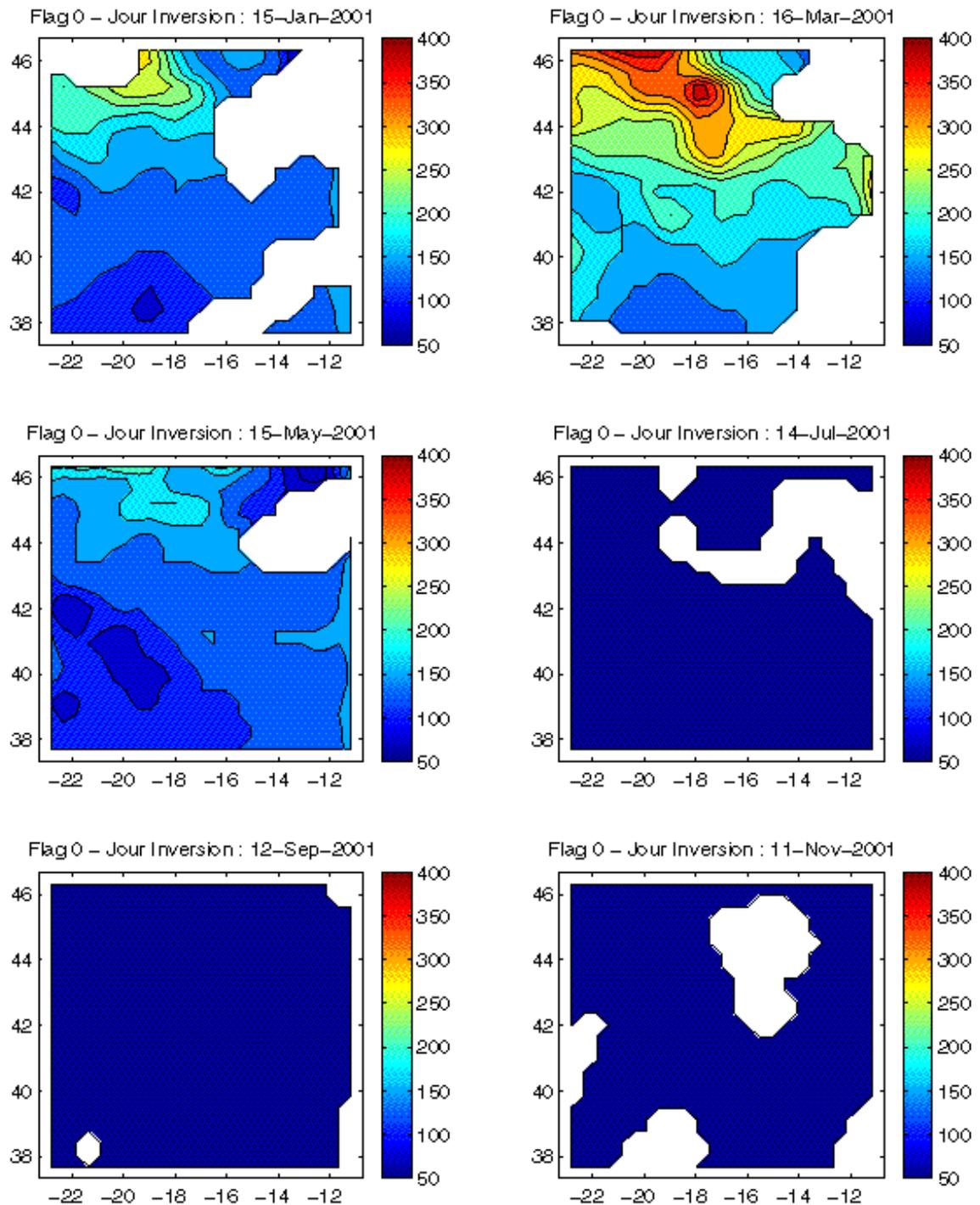


Figure 11 : Profondeur de la couche de mélange déduite de l'analyse sur la zone POMME. Les zones mal estimées sont masquées. D'autre part la méthode de calcul ne permet pas d'estimer les profondeurs inférieures à 50m

3.3 Calcul de flux

La disponibilité simultanée et en tous points des champs de température et de courant permet d'envisager le calcul des termes du flux de chaleur. Nous avons donc évalué la contribution moyenne sur les deux années des termes advectifs du transport de chaleur, en séparant courant

moyen et variabilité. Ces termes, moyennés par bande de latitude sont présentés figure 12. Le terme correspondant à l'advection méridienne moyenne indique un transport vers le sud d'eau froide, il induit donc un refroidissement local de la masse d'eau. Ce terme tend à diminuer vers le nord pour s'annuler vers 46°N. Le terme d'advection zonale reste dominé par la moyenne échelle et n'a pas de signe établi. Les termes turbulents sont d'un ordre de grandeur supérieur, ils sont probablement mal estimés à partir de nos résultats. En effet, comme nous l'avons exposé précédemment, les données de température et de courant à 100 m ne se contraignent pas mutuellement. Les données étant issues de mesures indépendantes, leur résolution spatiale est différente et nous n'avons aucune assurance qu'une structure détectée en vitesse le soit aussi en température (et vice versa).

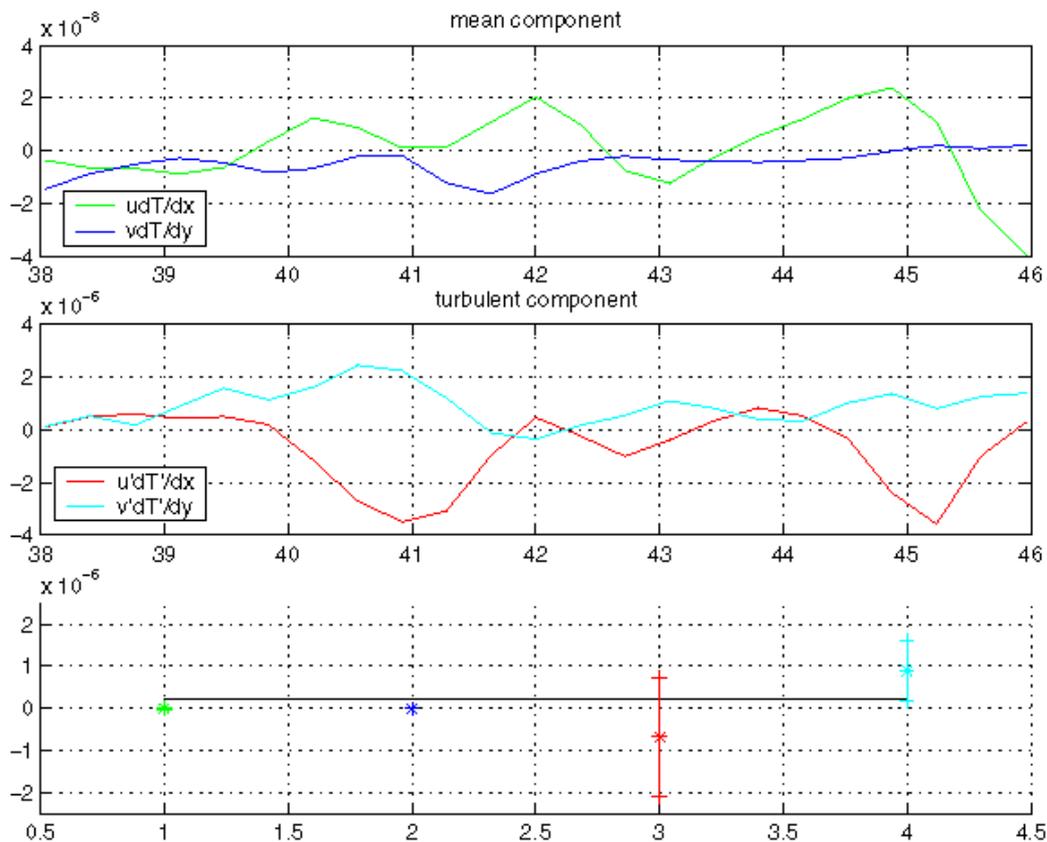


Figure 12 : Termes du transport de chaleur advectif moyennés par bande de latitude sur la zone POMME pour 2000-2001. En haut : termes associés au courant moyen zonal (vert) et méridien (bleu). Au centre : termes turbulents. En bas : moyenne sur toutes les latitudes avec barre d'erreur correspondant à la variance. Attention le graphe présente l'opposé des termes

4 Discussion

Le travail présenté dans ce rapport constitue une étape vers l'analyse globale des données POMME, les principales acquis sont les suivants :

- Cette analyse de référence a permis de valider le modèle sur une période longue et de dimensionner les calculs futurs pour la machine NYMPHEA du pôle de calcul Brestois.
- Des champs compatibles avec les jeux de données altimétriques et issus de profileurs ont été produits. Ils donnent une première idée du cycle saisonnier et de la variabilité interannuelle.
- La décomposition en mode permet de suivre la couche de mélange, mais il sera nécessaire pour une analyse plus fine de bien contraindre la surface par des observations, d'améliorer les modes en les calculant sur une base de données plus complète, incluant les mesures CTD POMME et de prendre en compte un plus grand nombre de modes.
- Le calcul des bilans de chaleur est possible à partir des champs du modèle, cependant pour être fiable, les analyses devront prendre en compte toutes les données disponibles. Dans l'analyse de référence, seul le terme de transport moyen méridien est bien défini.
- Des diagnostics plus fins tels que le calcul de la vitesse verticale par l'équation Oméga sont à mettre en place.