



Fabienne Gaillard, Emmanuelle Autret,
Laboratoire de Physique des Océans

Climatologie et statistique de

l'Atlantique Nord

Projet GMMC – 2003

Contrat CNRS– CT510366

Septembre 2006

Sommaire

1	<i>Introduction</i>	5
2	<i>Méthode d'analyse et configuration</i>	7
2.1	Les données	7
2.2	Méthode d'estimation des champs	9
2.3	Caractéristiques de la réanalyse CORA_ATL_02	10
3	<i>Evaluation du jeu de données</i>	13
4	<i>Construction de la climatologie 2000-2005</i>	17
4.1	Variabilité saisonnière de la température dans les couches superficielles	17
4.2	La moyenne 2000-2005	18
4.3	Format des fichiers	31
5	<i>Conclusions</i>	33
6	<i>Références</i>	33

1 Introduction

Le suivi de l'océan repose en particulier sur l'évaluation de l'ampleur des variations de ses propriétés. Compte tenu de la tendance observée dans les bases de données depuis les années cinquante, la notion d'état moyen de l'océan est devenue caduque. Accumuler dans une seule moyenne des observations collectées de manière inégalement répartie dans le temps conduit à une image composite de l'océan dont les différentes régions représentent des périodes différentes, pas toujours bien déterminées.

Depuis la mise en place du réseau ARGO, complément in-situ du satellite Jason, il devient envisageable de réaliser des moyennes sur des périodes limitées, fournissant ainsi des climatologies évolutives et datées, que l'on peut adapter aux échelles de temps étudiées. Le travail présenté dans ce rapport est une première tentative de calcul d'une telle climatologie. Les observations considérées couvrent la partie de l'Atlantique située au nord de 20°S, sur la période 2000-2005. L'originalité de la méthode repose sur la prise en compte explicite de la variabilité interannuelle. La climatologie n'est pas directement calculée, mais est déduite d'une réanalyse hebdomadaire, basée sur la configuration mise en œuvre en temps réel par CORIOLIS. Cette approche permet ainsi de valider l'outil opérationnel et de disposer de séries temporelles qui seront la base d'un ensemble d'études sur la variabilité, dont la climatologie est l'un des éléments.

Les objectifs initiaux du projet consistaient à effectuer une réanalyse de l'Atlantique Nord, sur la période 2000-2004. Cette ré-analyse baptisée CORA_ATL_01 a été effectuée courant 2005 à partir d'une extraction de la base Coriolis effectuées en avril 2005. Il est apparu au cours de la phase de moyennage que certains profils analysés présentaient de anomalies incompatibles avec la variabilité océanique. Il s'est avéré que certains profils erronés avaient échappé aux contrôles automatiques et visuels appliqués par Coriolis à cette époque. Cette ré-analyse s'est donc transformée en une étude sur la détection de profils aberrants et de dérive des capteurs (Gaillard et al. 2006). Pour produire les champs présentés dans ce document, la base de données, étendue à l'année 2005, a fait l'objet d'un nettoyage soigneux et les profils ou portions de profils erronés en ont été éliminés.

Nous présentons ici les résultats d'une seconde réanalyse : CORA_ATL_02. Outre la base de données utilisée, cette réanalyse présente des différences importantes par rapport à la précédente : l'outil d'analyse ayant évolué, c'est la version 3.6 qui a été utilisée. D'autre part, nous avons profité de la mise en place de la configuration globale dont la bathymétrie et les masques sont mieux définis. Cette configuration est définie sur une grille de 0.5° et le cycle annuel de référence appelé GLOBAL_05 résulte d'un sous-échantillonnage de la climatologie utilisée par MERCATOR et déduite de Levitus 98.

2 Méthode d'analyse et configuration

2.1 Les données

Les champs sont reconstitués à partir des données extraites de la base CORIOLIS. Ce centre collecte et distribue en temps réel différents types de données: profileurs, XBT, CTD. C'est en particulier l'un des deux centres mondiaux ARGO.

Chaque type de données possède ses caractéristiques propres pour ce qui concerne la précision, la résolution et la représentativité. Elles dépendent en premier lieu du type de capteur utilisé: quels paramètres sont mesurés, avec quelle précision et quel temps de réponse et de la façon dont le capteur est mis en œuvre il peut par exemple mesurer en continu ou de façon intermittente. Ensuite, le type de stockage et le mode de transmission vont aussi contraindre à réduire le volume des données et pour cela à sous échantillonner, moyenniser, tronquer les mesures.

2.1.1 Instruments de mesures

Les mesures de température et de salinité sont effectuées, soit de façon autonome par des instruments dérivants ou ancrés qui transmettent les données en temps réel par satellite, soit à partir de navires de recherche ou d'opportunité qui transmettent les données en temps réel et/ou en temps différé. Les principales caractéristiques des instruments les plus couramment utilisés sont les suivantes :

- **Profileurs dérivants** : Ces flotteurs autonomes réalisent un profil de température et de salinité en fonction de la pression entre leur profondeur maximum (1500 à 2000 mètres) et la surface puis transmettent les données par satellite. Une fois la transmission effectuée, ils replongent jusqu'à une profondeur de parking préprogrammée, profondeur à laquelle ils dérivent avant d'effectuer une nouvelle remontée. La durée d'un cycle est typiquement de 10 jours et chaque flotteur peut réaliser de 100 à 150 cycles. Les précisions annoncées par les différents constructeurs sur les capteurs de température et de salinité sont de l'ordre de 0.01 à 0.03 °C et 0.01 à 0.03 PSU. Le logiciel d'acquisition de l'instrument capte des triplets de mesures (P,T,C) ou (P,T,S) à une cadence choisie. L'échantillonnage vertical dépend des types de profileurs, il comprend environ 100 points (codage au 1/1000ème). Il s'agit soit de mesures prises à la volée, soit de moyennes sur des tranches. Les données sont ensuite transmises par satellite (ARGOS, IRIDIUM).
- **Les XBT** : Une sonde eXpendable BathyThermograph est lancée à la mer depuis un navire en route. La sonde, reliée par un fil de cuivre, transmet la mesure d'une thermistance au cours de sa descente à un microordinateur de type PC. La profondeur est déduite de la vitesse de chute de la sonde. La précision annoncée sur la mesure de température est de l'ordre de +/-0.1°C. Les profils les plus courants atteignent 800 mètres. Les mesures proviennent de navires de recherche ou de navires marchands.
- **Les bathysondes** : Une sonde munie de capteurs de température, salinité et pression est descendue à partir du navire à l'arrêt, sur un châssis équipé de bouteilles de prélèvements. Les mesures de la sonde acquises à une fréquence élevée sont moyennées. Les précisions sur les capteurs de température et salinité sont égales ou supérieures à celles

des profileurs, d'autre part, ces précisions peuvent atteindre $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ et 0.001 PSU après étalonnage à partir des prélèvements.

- **Les séries temporelles** : Ces données proviennent d'instruments qui enregistrent en continu les mesures de capteurs de température, salinité, pression. Ces instruments peuvent être disposés sur mouillages ou sur bouées. Les capteurs sont du même type que ceux qui équipent les profileurs. La contrainte de transmission temps réel limite le plus souvent ces mesures aux couches superficielles (bouées dérivantes, mouillages Pirata).

2.1.2 Collecte et contrôle par Coriolis

Les données sont transmises en temps réel à un centre de collecte. CORIOLIS par exemple assure la collecte d'une partie des profileurs ARGO et des mesures des navires de recherche européens. Il complète ces données par celles recueillies par d'autres centres de collecte. Ce mode direct est celui qui assure la meilleure traçabilité des données et en conserve l'intégralité, il peut cependant introduire des délais et ne concerne pas l'ensemble des mesures effectuées. Pour assembler le jeu de données temps réel le plus complet, CORIOLIS fait appel au GTS. Il reçoit quotidiennement les données du GTS que lui transmet Météo-France. Ces données sont complétées 3 fois par semaine par les données du programme GTS-PP qui consolide les données de 4 plaques GTS (USA, Allemagne, Japon et Canada) et comprend aussi quelques données qui ne transitent pas par le GTS (ex : données de navires japonais). Les profils de température et de salinité du GTS sont diffusés avec une résolution de 0.01 sauf les fichiers de type 'Bathy' qui ont une résolution de 0.1 et qui ne contiennent pas de salinité.

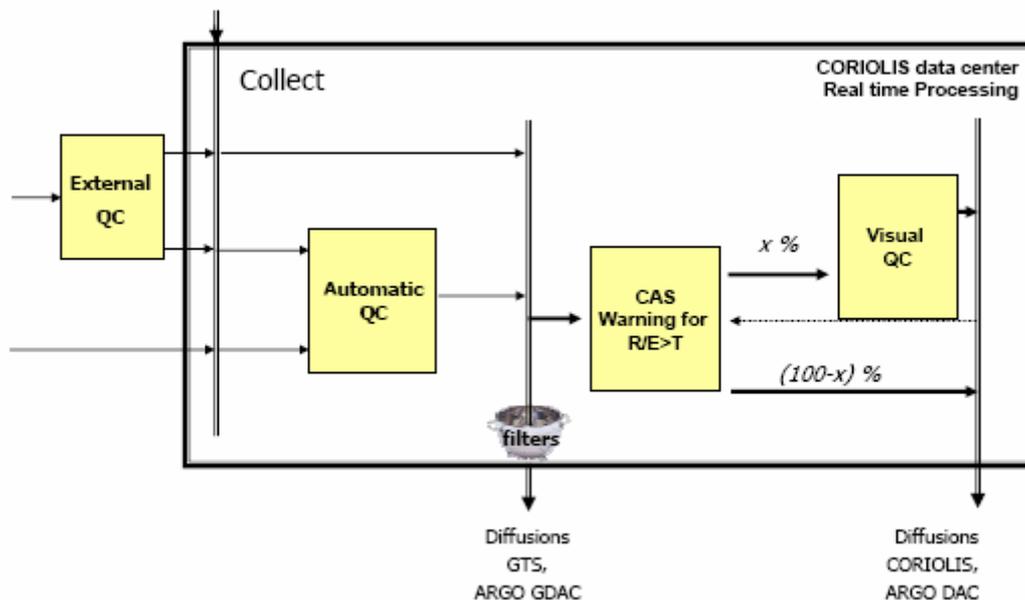


Figure 1 : Flux de données et contrôles qualité mis en œuvre au centre Coriolis

Le contrôle qualité des données est effectué quotidiennement. Le centre Coriolis a mis en place un système à deux niveaux, revu à la suite de l'analyse CORA_ATL_01. Le premier niveau de contrôle, qui comprend un contrôle de double et la vérification d'une liste de critères permet de diffuser rapidement les données. Le second niveau de contrôle repose sur la mise en œuvre de l'analyse et l'étude des résidus. Quand le rapport résidu/signal dépasse le seuil, les données sont retenues et ne seront diffusées qu'après contrôle visuel.

L'enchaînement des opérations est résumé Figure 1. L'analyse du comportement de l'outil pour la détection des dérives de capteurs est décrite en détail dans Gaillard et al. 2006.

2.2 Méthode d'estimation des champs

La construction des champs de température et de salinité sur une grille d'analyse, à partir de mesures irrégulièrement réparties se fait par interpolation optimale (Bretherton, 1976).

Le vecteur d'état x^a , qui représente les valeurs du scalaire T (ou S) à estimer, aux points de la grille d'analyse décrits par le vecteur ζ_j , est déduit du vecteur y^o constitué des observations faites aux points $\bar{\eta}$. Ainsi le champ et les données sont définis par:

$$x_j = T(\zeta_j), (j=1, m) \text{ et } y_i^o = T(\eta_i) + \varepsilon_i, (i=1, n)$$

où ε représente à la fois l'erreur de mesure et les erreurs de représentativité. Dans notre cas il s'agit essentiellement des échelles spatiales et temporelles non représentées par l'estimation (erreur sous grille) mais présentes dans les données.

L'analyse est effectuée sur la partie des données non prédite par la climatologie, appelée **l'innovation**:

$$d = y^o - x^f$$

La solution comprend le **vecteur d'état**:

$$x^a = x^f + C_{ao}(C_o + R)^{-1}d,$$

la matrice d'erreurs correspondante:

$$P^a = P^f - C_{ao}(C_o + R)^{-1}C_{ao}^T$$

et le **résidu d'analyse** :

$$y^o - y^{ao} = R(C_o + R)^{-1}d$$

La matrice C_{ao} est la matrice de covariance entre le champ à estimer (aux points de grille) et les données, C_o est la matrice de covariance entre les paires de données. R est la matrice de covariance des erreurs, elle représente à la fois l'erreur de mesure et les erreurs de représentativité de l'observation. L'erreur d'estimation en chacun des points de la grille d'analyse est donnée par la diagonale de la matrice P^a . Elle est généralement exprimée sous forme de **variance normalisée**, ou pourcentage de la variance a priori du champ à estimer et s'écrit pour chaque point de grille (i) :

$$\frac{\sigma_{ei}^2}{\sigma_{xi}^2} = 1 - \left(\frac{C_{ao}(C_o + R)^{-1}C_{ao}^T}{\sigma_{xi}^2} \right)_{ii}$$

2.3 Caractéristiques de la réanalyse CORA_ATL_02

2.3.1 L'outil d'analyse OA V3.06

Les analyses présentées dans ce document ont été effectuées avec l'outil OA_V3.06, le même que celui intégré dans le système d'analyse opérationnel CORIOLIS. Il est décrit en détail dans le document *Autret et al. 2005*. Les étapes principales sont les suivantes :

STD :

De manière à rendre plus homogène le jeu de données disponible pour les analyses, une étape de prétraitement des profils a été développée. Les principales tâches réalisées dans cette étape sont la sélection des mesures en fonction des indices de qualité fixés au préalable par les contrôles qualités systématiques, l'homogénéisation de la référence verticale et l'interpolation des profils sur la grille verticale standard prédéfinie (contenant les niveaux d'analyse). Cette étape réalisée en temps réel (et en temps différé si besoin) avant la mise en oeuvre des analyses fournit ainsi un jeu de profils « standardisés ». Une erreur est associée à chaque mesure interpolée, elle est calculée en fonction de l'erreur de mesure et de la distance entre le point interpolé et les points de mesure.

PRE-OA :

Pour chaque zone et chaque date d'analyse considérées, pré-OA effectue les opérations suivantes :

- Collecte de l'ensemble des données pertinentes à l'analyse ;
- Lecture de la climatologie de référence ;
- Calcul du vecteur innovation représentant l'écart à la climatologie ;
- Collecte des informations statistiques nécessaires à la construction des covariances.

OA

L'analyse est effectuée zone par zone et peut être distribuée sur des machines ou processeurs différents. Elle consiste à calculer le champ au point de grille (vecteur d'état), l'erreur normalisée correspondante et les résidus sur les données.

POST-OA

Ce programme rassemble les résultats calculés par OA pour les différentes zones pour produire les fichiers standard complets de type 'field' contenant les champs analysés et 'data' contenant données et résidus.

2.3.2 Configuration

Nous avons repris la configuration globale (Global05 V1.0) définie pour la mise en oeuvre des analyses globales opérationnelles de CORIOLIS en sélectionnant les zones correspondant à l'Atlantique Nord et équatorial définie par les limites suivantes : 20S-70N, 80W-10E.

Limites et grille

La résolution horizontale de la grille est de 0.5 degré (en projection Mercator). Les niveaux verticaux analysés sont les suivants:

- Tous les 5 mètres de 5 à 400 mètres,

- Tous les 10 mètres de 410 à 2000.

Référence climatologique

Les analyses se font relativement à une référence climatologique. La référence choisie dans cette configuration est issue des champs globaux mensuels Levitus (NODC (Levitus) World Ocean Atlas 1998). Nous avons choisi d'utiliser les climatologies préparées pour la configuration du modèle de prévision global 1/4 de degré de MERCATOR (source: E. Rémy, Mercator-ocean). Les champs initiaux Levitus98 provenaient du LODYC (1°x1°, 33 niveaux verticaux), ils ont été interpolés sur la grille ORCA025, quelques corrections sur la salinité en Mer rouge ont été apportées, les données Medatlas (interpolées sur ORCA025) ont pris la place des données Levitus_PHC en Méditerranée. A partir de ces champs, une climatologie a été préparée sur la grille et sur les niveaux qui nous intéressent.

Paramètres statistiques

Le domaine d'analyse est découpé en zones. Pour chacune d'entre elles, un profil de variance à priori et des échelles de corrélation ont été définis.

Les variances a-priori ont été déduites de la variabilité autour de la climatologie mensuelle de l'ensemble de la base entre le 1 décembre 1999 et le 1 janvier 2004. La Figure 2 montre les valeurs de l'écart type déduit de ces variances à 100 m pour la température et la salinité.

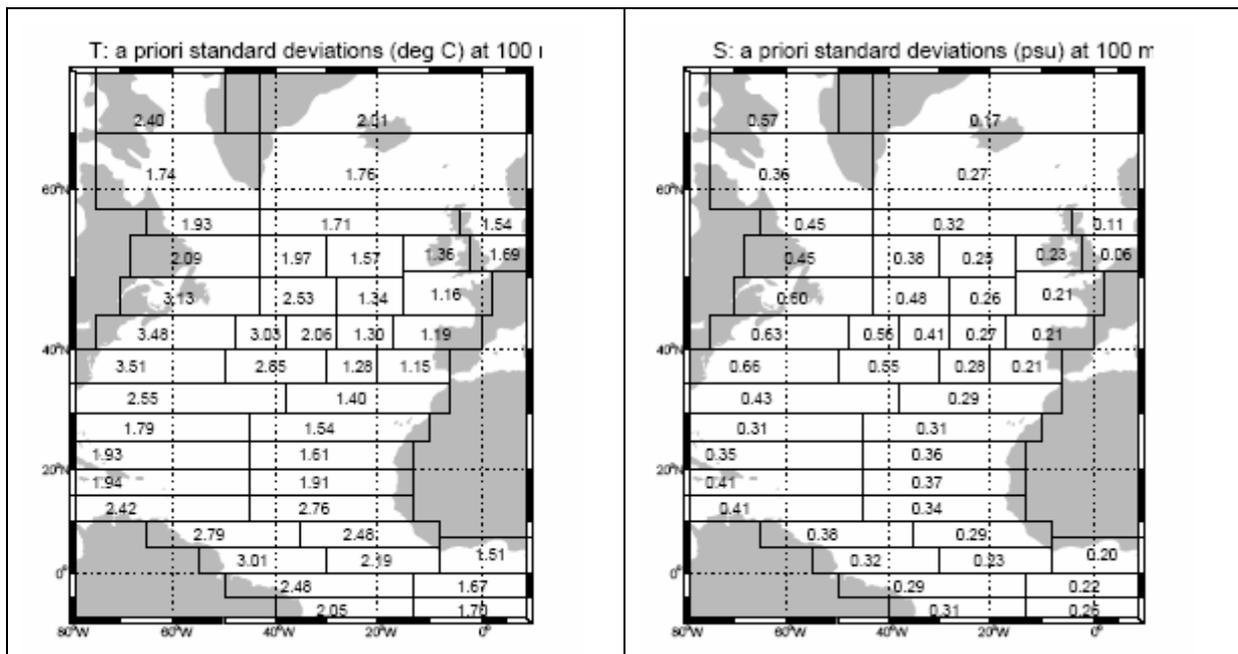


Figure 3 : Variance a priori à 100 m dans chacune des zones d'analyse pour la température (à gauche) et la salinité (à droite).

Cette variance est supposée résulter de la somme de quatre termes :

$$\sigma_{tot}^2 = \sigma_{LS}^2 + \sigma_{MS}^2 + \sigma_{UR}^2 + \sigma_{ME}^2$$

Les trois premiers représentent trois échelles de la variabilité océanique: la grande échelle, la moyenne échelle et les échelles sous-grille. Le dernier terme est dû aux erreurs de mesure.

Dans notre analyse, les poids respectifs des trois termes océaniques sont fixés à: 1, 1, 1.5, ce qui permet de déduire les valeurs des variances de chaque échelle de la variance totale.

La covariance du champ reconstruit comprend les deux premiers termes.

Les fonctions de covariance correspondantes sont construites comme la somme de deux gaussiennes, l'une correspondant à la grande échelle, l'autre à la moyenne échelle :

$$C(dx, dy, dt) = \sum \sigma_i^2 \exp\left(-\frac{dx^2}{2L_x^2} - \frac{dy^2}{2L_y^2} - \frac{dt^2}{2L_t^2}\right)$$

Pour la grande échelle, les échelles spatiales sont prises égales à 300 km dans les deux directions, les échelles temporelles sont de 20 jours. Pour la moyenne échelle, les échelles spatiales sont calculées à partir du rayon de déformation de Rossby déduit de la stratification. Elles sont égales à 4 rayons de Rossby. En zone équatoriale elles sont prises égales à la grande échelle dans la direction zonale et à 250 km dans la direction méridienne. Les échelles associées à la moyenne échelle sont présentées Figure 3. Les échelles temporelles correspondantes sont de 7 jours.

La matrice d'erreur de mesures est supposée diagonale. Elle est obtenue en sommant la variance associée à l'erreur de mesure et la variance représentant les échelles non résolues.

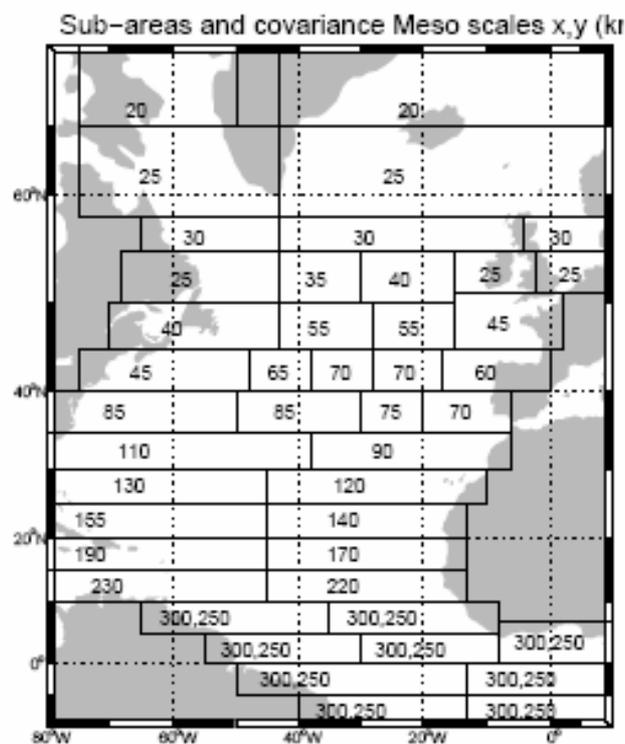


Figure 3 : Echelles associées à la moyenne échelle (en km).

3 Evaluation du jeu de données

Les profils utilisés ont été extraits de la base Coriolis le 23 janvier 2006, ils ont ensuite été standardisés.

Le système de qualification temps réel des données par l'analyse n'ayant pas été opérationnel depuis le début de la période considérée, cette opération a donc été effectuée lors d'une première réanalyse (CORR_ATL01). L'étude des résidus d'analyse a servi de base à la qualification des profileurs qui a permis de mettre en évidence les capteurs présentant une dérive nette en salinité. Tous les profils repérés erronés, ou présentant une dérive trop importante ont été supprimés du jeu de données.

Ensuite nous avons ajouté à cette base les profils CTD calibrés des campagnes du LPO.

Enfin une dernière vérification de la qualité du jeu de données standardisées a été effectuée en visualisant les profils par boîte de 5x5 degrés.

Ce jeu de données nettoyé et complété a servi de base à CORR_ATL02.

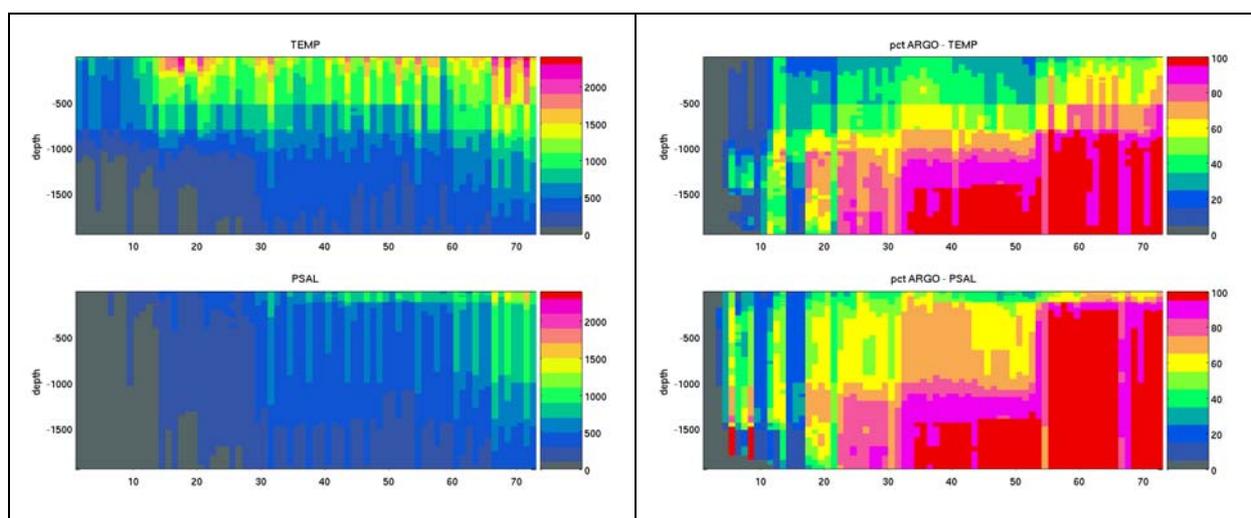


Figure 4 : Nombre de données prises en compte par l'analyse en fonction du mois. En haut pour la température, en bas pour la salinité. A gauche nombre total, à droite, pourcentage de données ARGO.

La Figure 4 présente l'évolution du nombre de données total au fil des mois, pour les différents niveaux analysés. La mise en place du réseau ARGO courant 2000 a clairement fait augmenter le nombre de données. Après cette mise en place, deux étapes importantes ont été franchies, la première en 2002, la seconde en 2004. Depuis cette dernière date la couverture est proche de l'objectif visé par ARGO. Il faudra bien sur tenir compte de cette répartition dans l'interprétation des résultats. La moyenne produite sera fortement pondérée par les années 2004-2005. Il faut noter que pour les couches inférieures à 800m pour la température et inférieures à 150 m pour la salinité, l'information est presque exclusivement apportée par les profileurs ARGO.

Le détail de la distribution par type de données présenté Figure 5 confirme le poids croissant des profils ARGO et montre aussi que la mise en place du réseau s'est accompagnée d'une

amélioration du suivi des données. On observe en effet une nette diminution du nombre de données non identifiées.

La répartition spatiale des observations a suivi l'évolution du projet ARGO : si la température des couches superficielles des moyennes latitudes est bien observée, la salinité en général, et la température profonde sont moins bien représentées. La bande de latitude située autour de 20°N est la moins bien couverte, on y note en particulier une absence quasi-totale de données profondes.

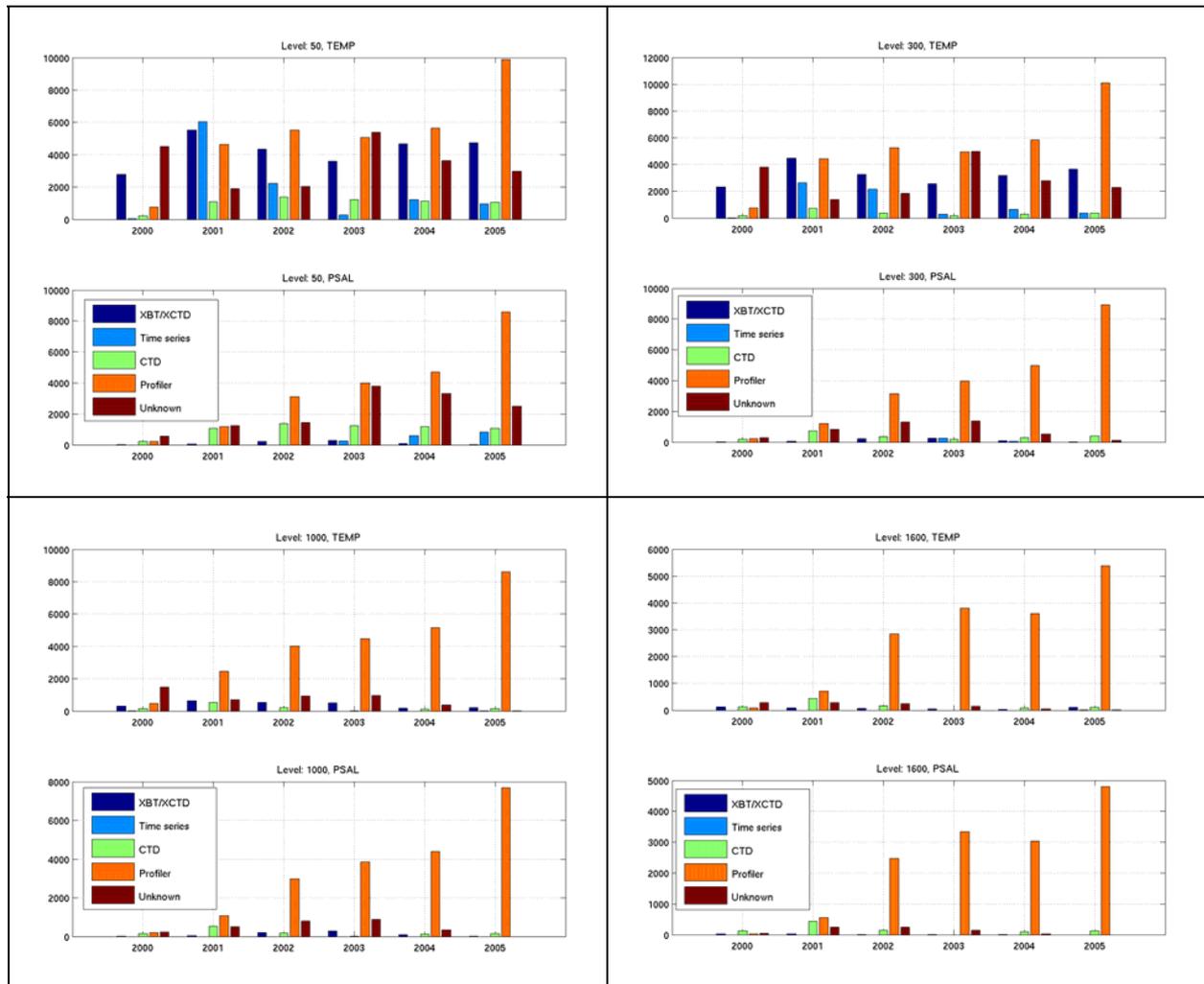


Figure 5 : Nombre de données par type aux niveaux 50, 300, 1000 et 1600 pour la température (TEMP) et la salinité (PSAL).

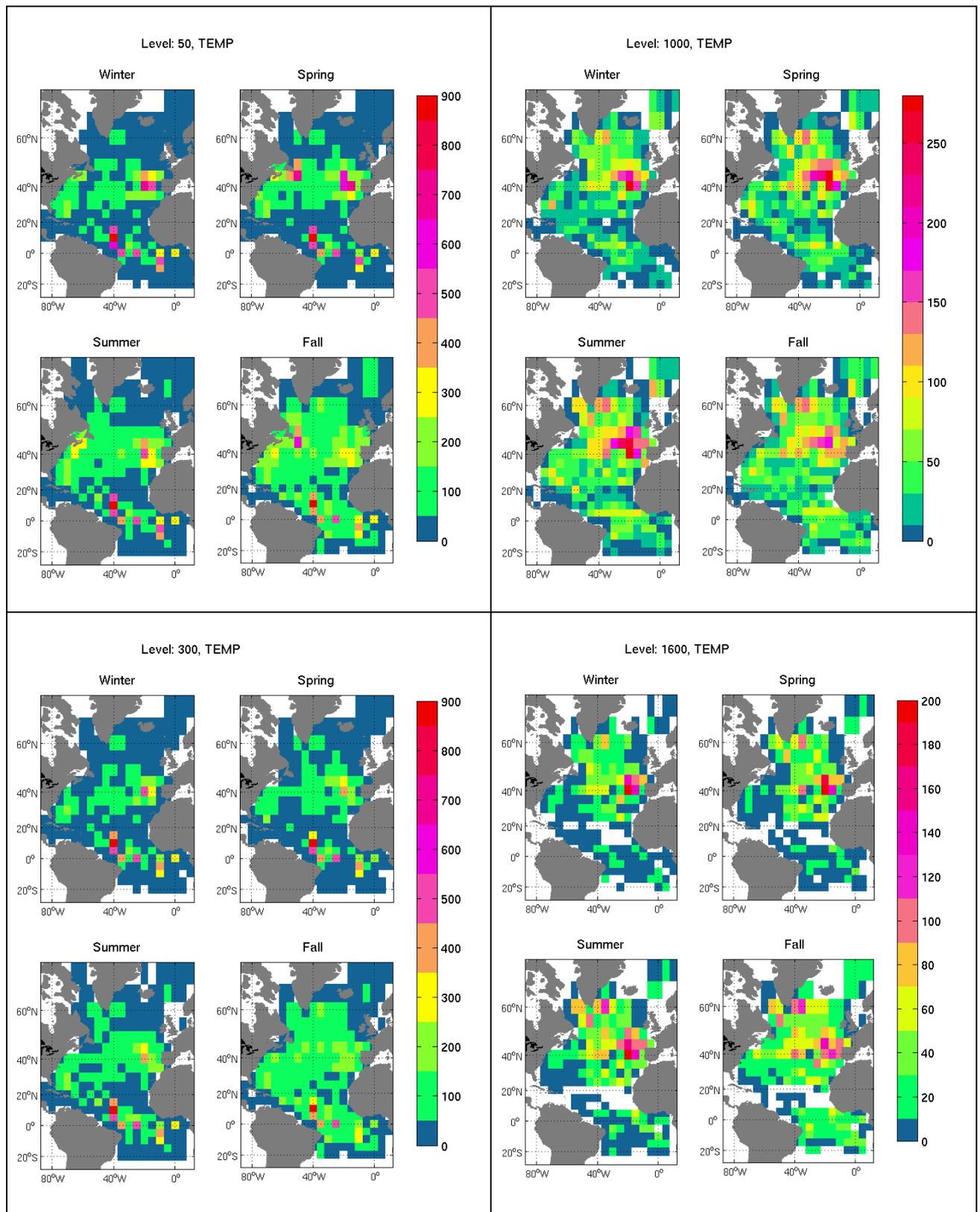


Figure 6 : Distribution spatiales des données de température par carrés de 5°x5° à 50, 300, 1000 et 1600 m.

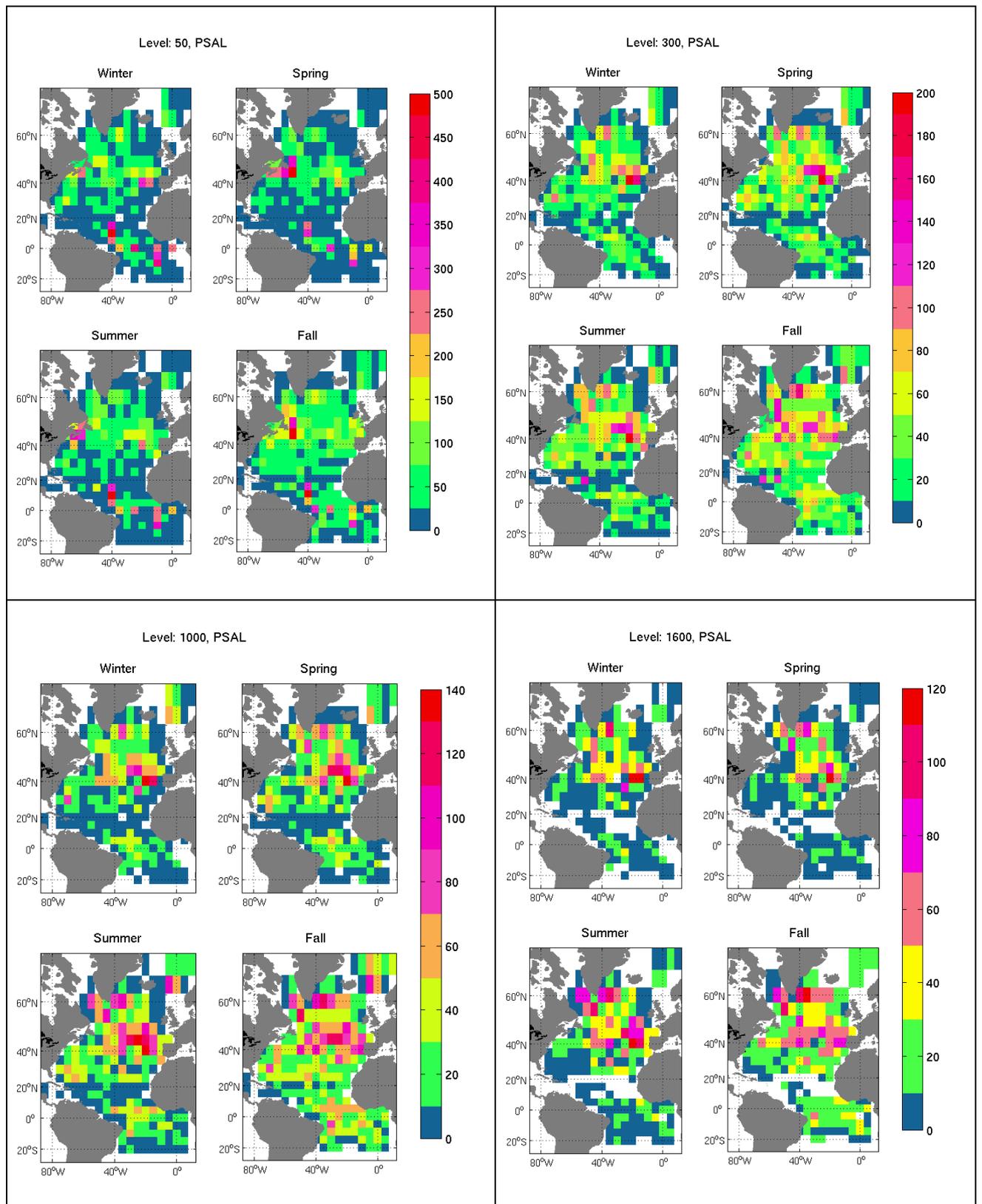


Figure 7 : Distribution spatiales des données de salinité par carrés de 5°x5° à 50, 300, 1000 et 1600 m.

4 Construction de la climatologie 2000-2005

Le choix d'une fréquence hebdomadaire pour les analyses était motivé par le souci de similitude avec les analyses temps réel. Pour l'étude interannuelle que nous envisageons, une fréquence mensuelle facilitera le traitement. Les fichiers hebdomadaires appartenant à un même mois ont donc été moyennés pour produire des champs mensuels. Nous n'avons pas appliqué de pondération dans cette première moyenne, estimant que compte tenu des covariances temporelles, les erreurs d'estimation varient peu à l'intérieur d'un mois.

Le cycle annuel moyen est obtenu en moyennant entre eux les champs du mois obtenus pour les différentes années. Dans cette opération, la pondération suivante est appliquée:

$$\begin{aligned} Pct_Var < Err_min &\rightarrow Pds = 1 \\ Err_min < Pct_Var < Err_max &\rightarrow Pds = 1 - \alpha^3 \\ \alpha &= \left(\frac{PctVar - Err_min}{Err_max - Err_min} \right) \\ Err_max < Pct_Var &\rightarrow Pds = 0 \end{aligned}$$

Les erreurs min et max choisies sont respectivement 50% et 99%. La valeur supérieure peut paraître élevée, en fait cette fonction croît très rapidement à l'approche des zones mal estimées. La valeur minimale de 50% correspond au fait que la moyenne échelle, qui intervient pour moitié dans la variance du signal n'est que marginalement résolue par les données.

La même pondération est appliquée pour le calcul de la moyenne. A l'issue de ce calcul, certains points restent sans estimation. Afin de proposer un champ complet sur la zone analysée, nous proposons une valeur interpolée en ces points. Cette valeur est une approximation grossière calculée de la façon suivante : L'anomalie par rapport à la climatologie WOA01 au $\frac{1}{4}^\circ$ (WOA01_025) est calculée sur l'ensemble du champ aux points disposant d'une estimation. L'anomalie aux points non estimés est calculée comme la moyenne des anomalies des plus proches voisins (trouvés dans un carré de taille croissante). La valeur interpolée en ces points est obtenue en sommant cette anomalie à la climatologie WOA01_025. Ces points sont affectés d'une erreur égale à 99%.

Les champs de température et de salinité obtenus sont sauvés dans les fichiers :

CORAAT02_mth_ii_PARAM.nc, $ii = 1:12$ et $PARAM = TEMP$ ou $PSAL$

La moyenne des 12 mois est sauvée dans le fichier :

CORAAT02_ann_PARAM.nc

4.1 Variabilité saisonnière de la température dans les couches superficielles

Le cycle annuel moyen pour les 6 années considérées est illustré par les cartes de température à 20 mètres (Figure 8). La variation interannuelle du cycle a été observée en quelques points représentatifs des principaux bassins dont les positions sont indiquées Figure 9. Les cycles sont présentés Figure 10-12 pour deux profondeurs. Le premier niveau (20 mètres) est proche de la surface, il est en permanence dans la couche de mélange et suit donc parfaitement le cycle saisonnier. Le second niveau est situé à 1000 mètres. On ne s'attend pas, dans une cli-

matologie, à y trouver de signature saisonnière. La variation intra-annuelle observée a donc pour cause la plus probable des évènements de type mésoéchelle, que la base de données n'a pas correctement filtrés. Le cycle de la climatologie WOA01-025 est également indiqué en pointillés. Il est lui aussi sujet à des variations profondes qui dans certains cas paraissent en phase avec celles de notre climatologie.

4.2 La moyenne 2000-2005

La moyenne annuelle a été construite comme la moyenne des douze mois du cycle. Les champs sont présentés à 4 niveaux : 20, 400, 1000 et 1400 m (Figure 13, Figure 14). Ces champs sont comparés à leur équivalent WOA01 en calculant l'anomalie (Figure 15 et Figure 16). Les grandes lignes de l'écart entre les climatologies qui se dégagent de ces cartes sont:

- En surface : un réchauffement général, accentué sur la côte est du Groenland. Ce réchauffement est accompagné d'une salinification sauf en mer de Norvège et dans une bande autour de 10°N.
- A 400 m : Un réchauffement au Nord de 30°N sauf en mer de Norvège et sur le trajet Nord du Gulf-stream et son prolongement vers la dérive Nord-Atlantique. Une tendance générale au refroidissement au sud de 30°N, avec cependant alternance de signe par bandes de latitude. Les zones de réchauffement sont en général associées à une salinisation mais on remarque un net signal d'eau douce en mer du Labrador.
- A 1000 m : Réchauffement et salinisation de la partie Nord-Est du bassin, associé à l'eau méditerranéenne. Désalinisation de la partie ouest, associée au réchauffement de la mer du Labrador et à un refroidissement entre 30 et 50°N. Réchauffement au sud de 35°N, avec salinisation entre 20 et 30°N et désalinisation de la bande 10°S-10°N.
- A 1400 m : le signal est semblable à celui décrit à 1000m.

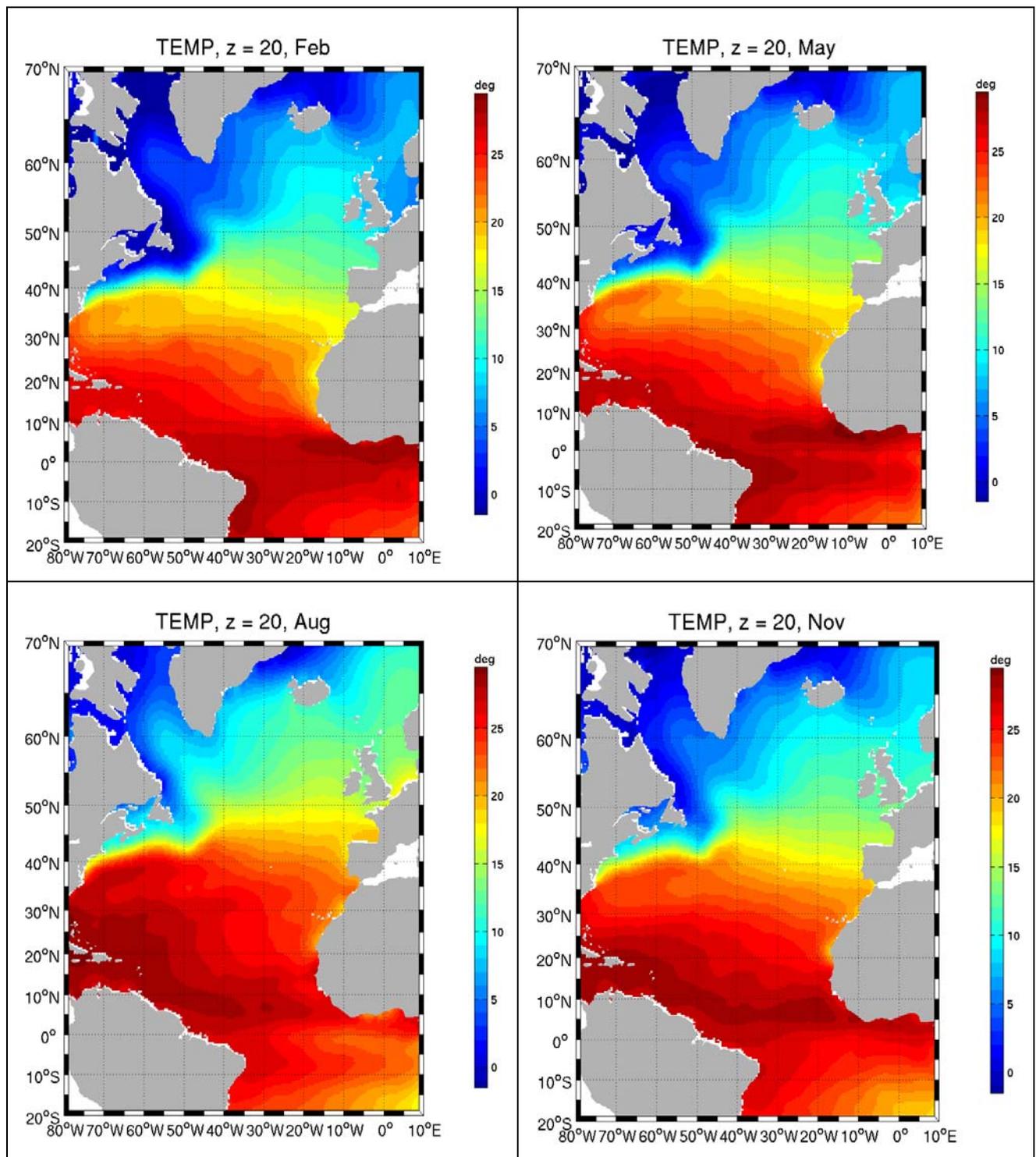


Figure 8 : Cycle saisonnier moyen de température à 20 m. Mois représentés : Février, Mai, Août et Novembre.

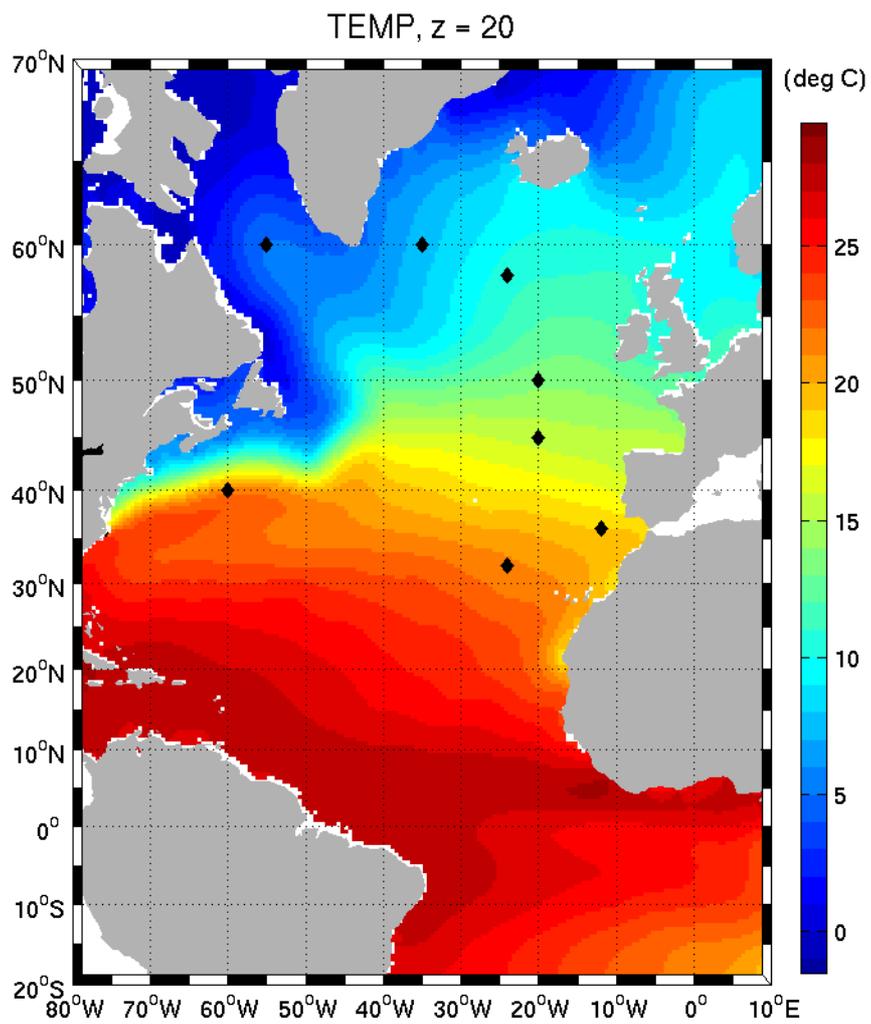


Figure 9 : Position des points où est observée la variation interannuelle du cycle saisonnier.

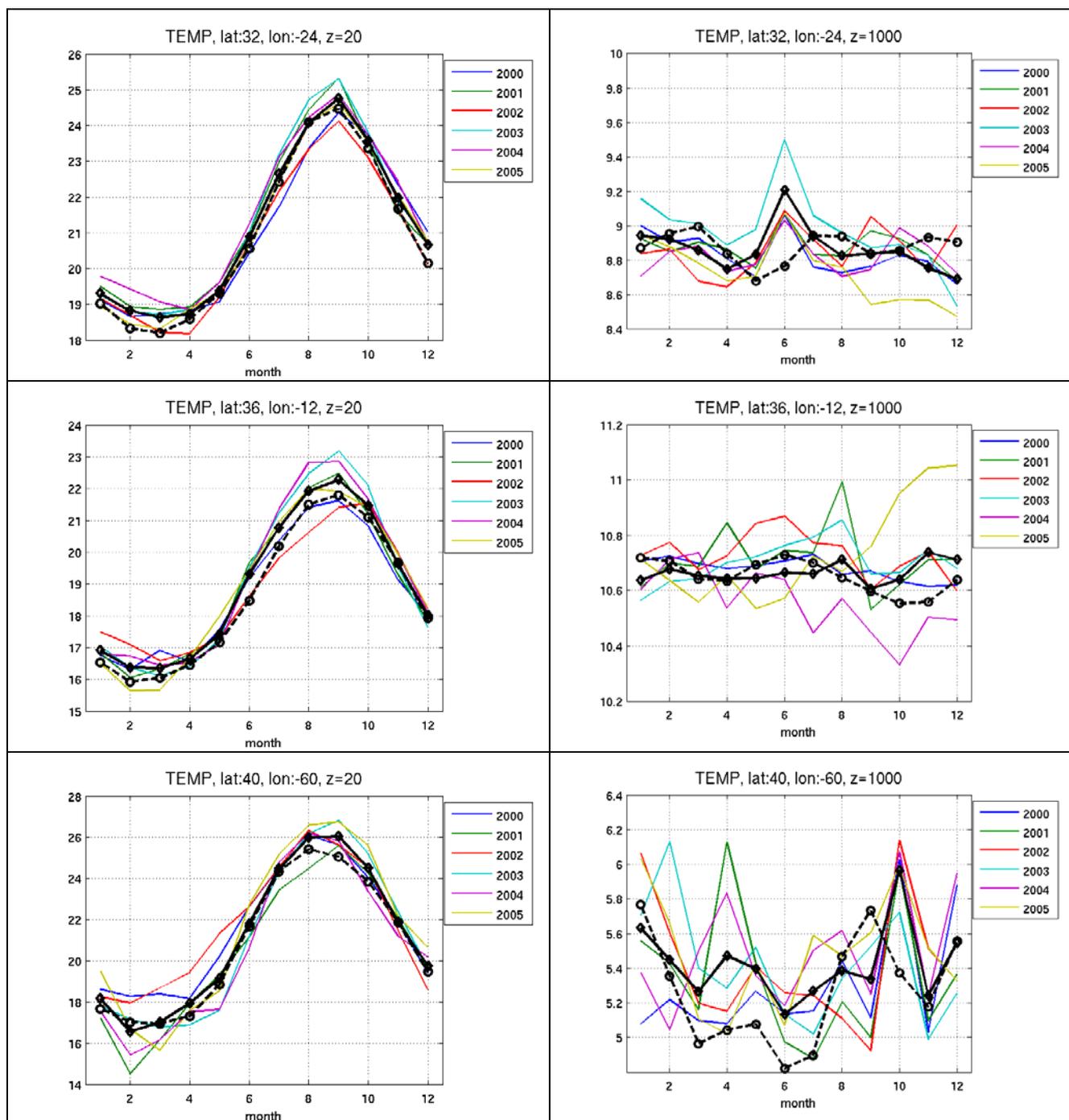


Figure 10 : Cycle saisonnier à 20 et 1000 m pour les points sud.

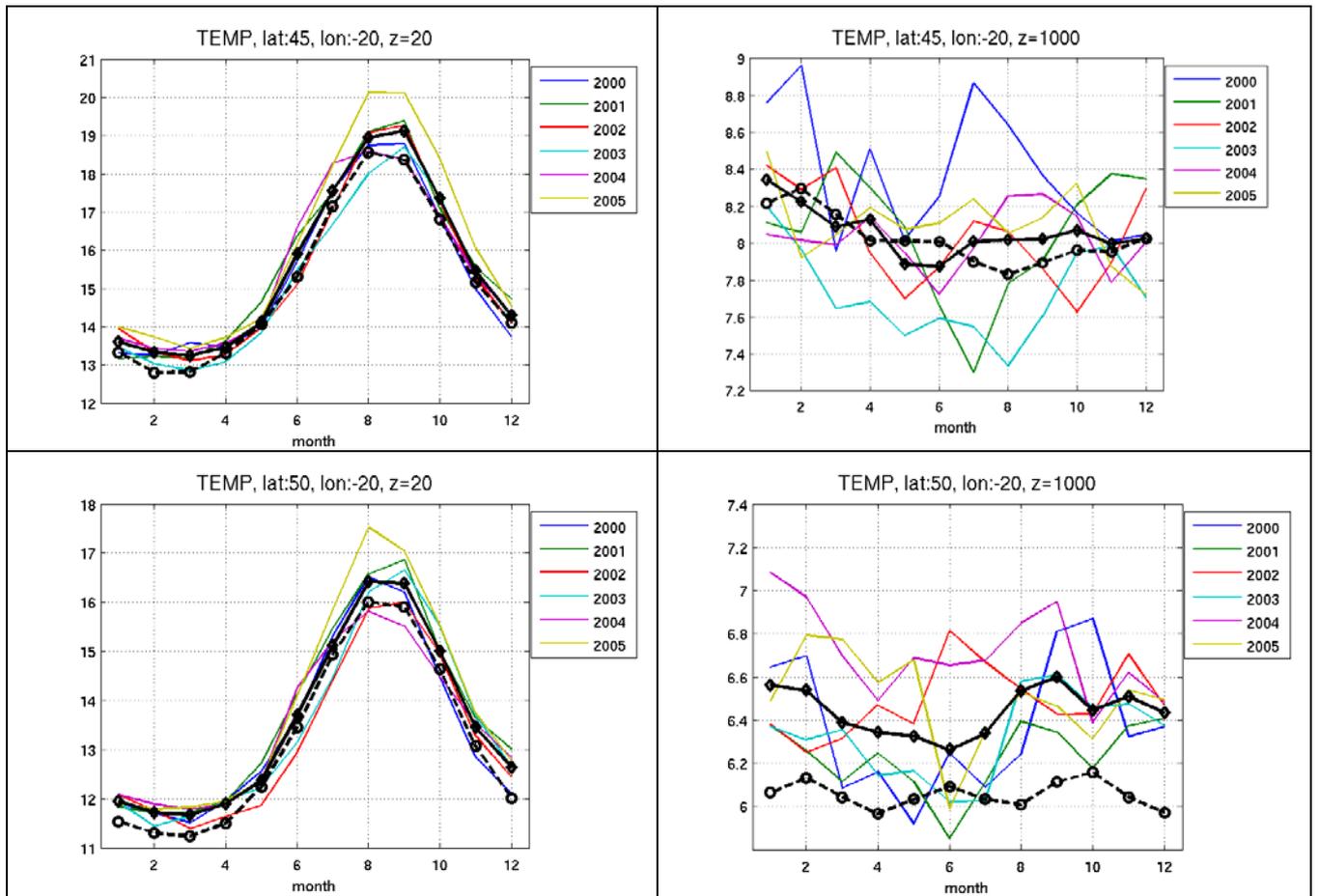


Figure 11 : suite

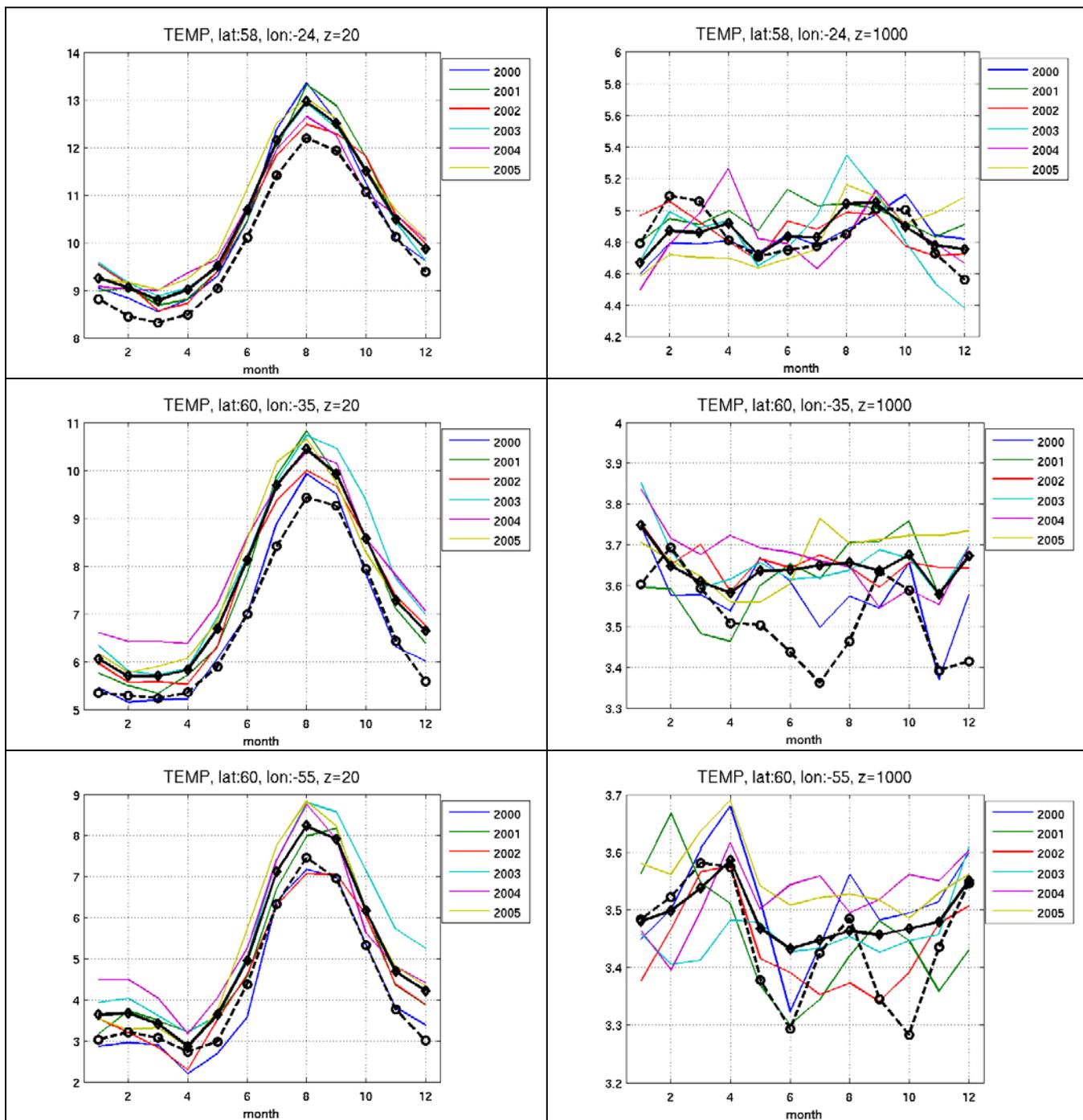


Figure 12 : Suite

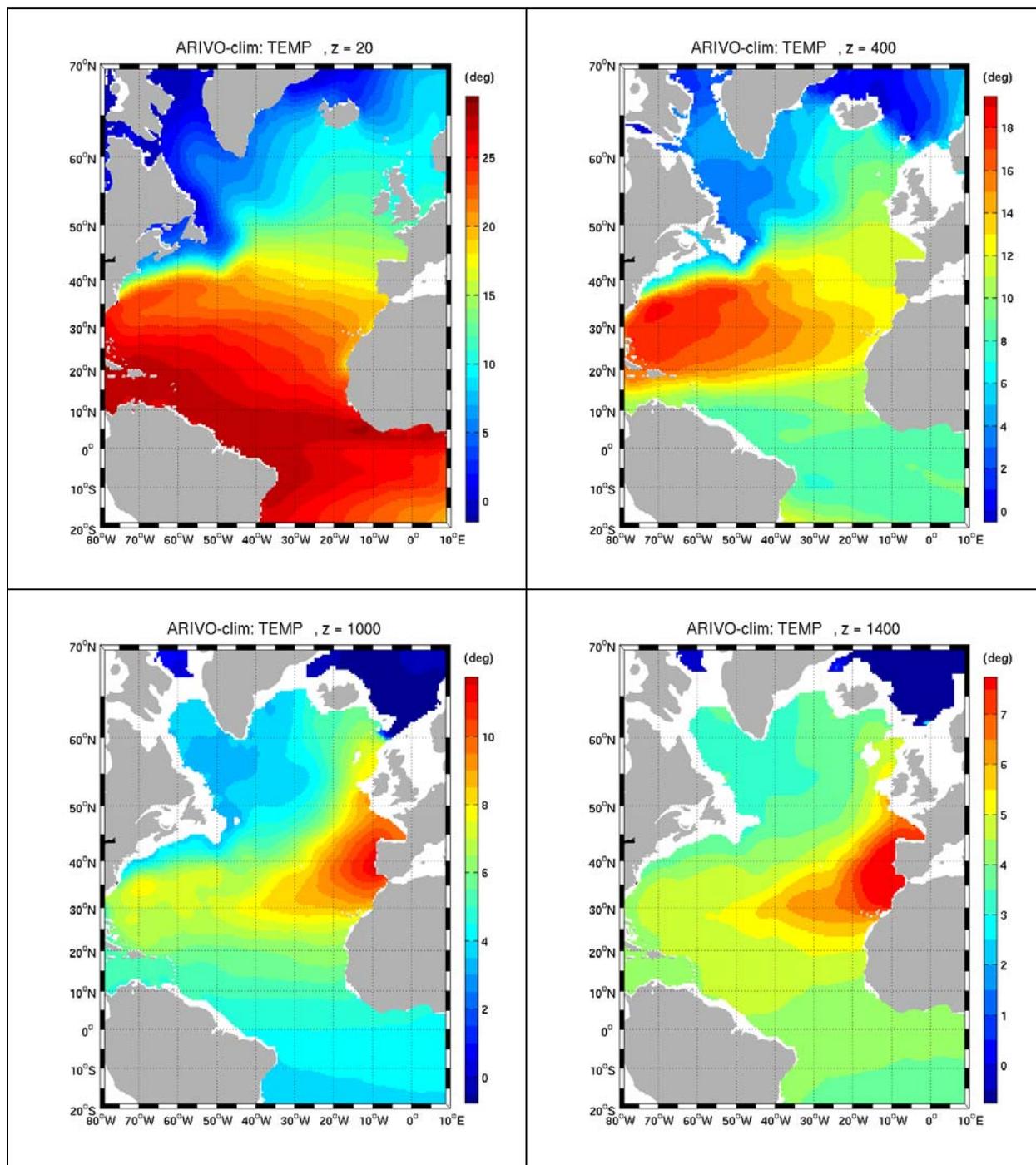


Figure 13 : Champs moyens de température pour la période 2000-2005 à 4 niveaux.

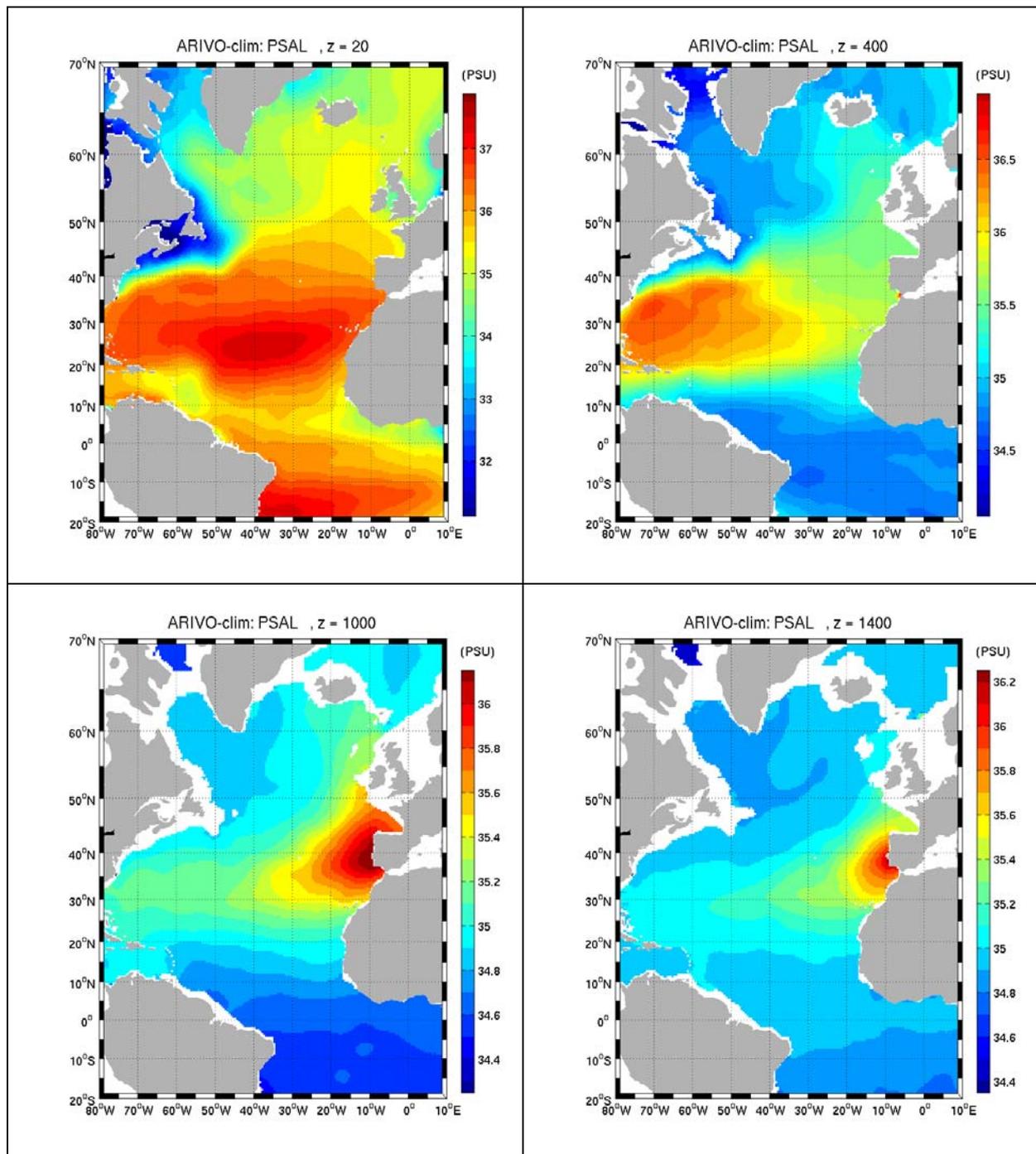


Figure 14 : Champs moyens de salinité pour la période 2000-2005 à 4 niveaux.

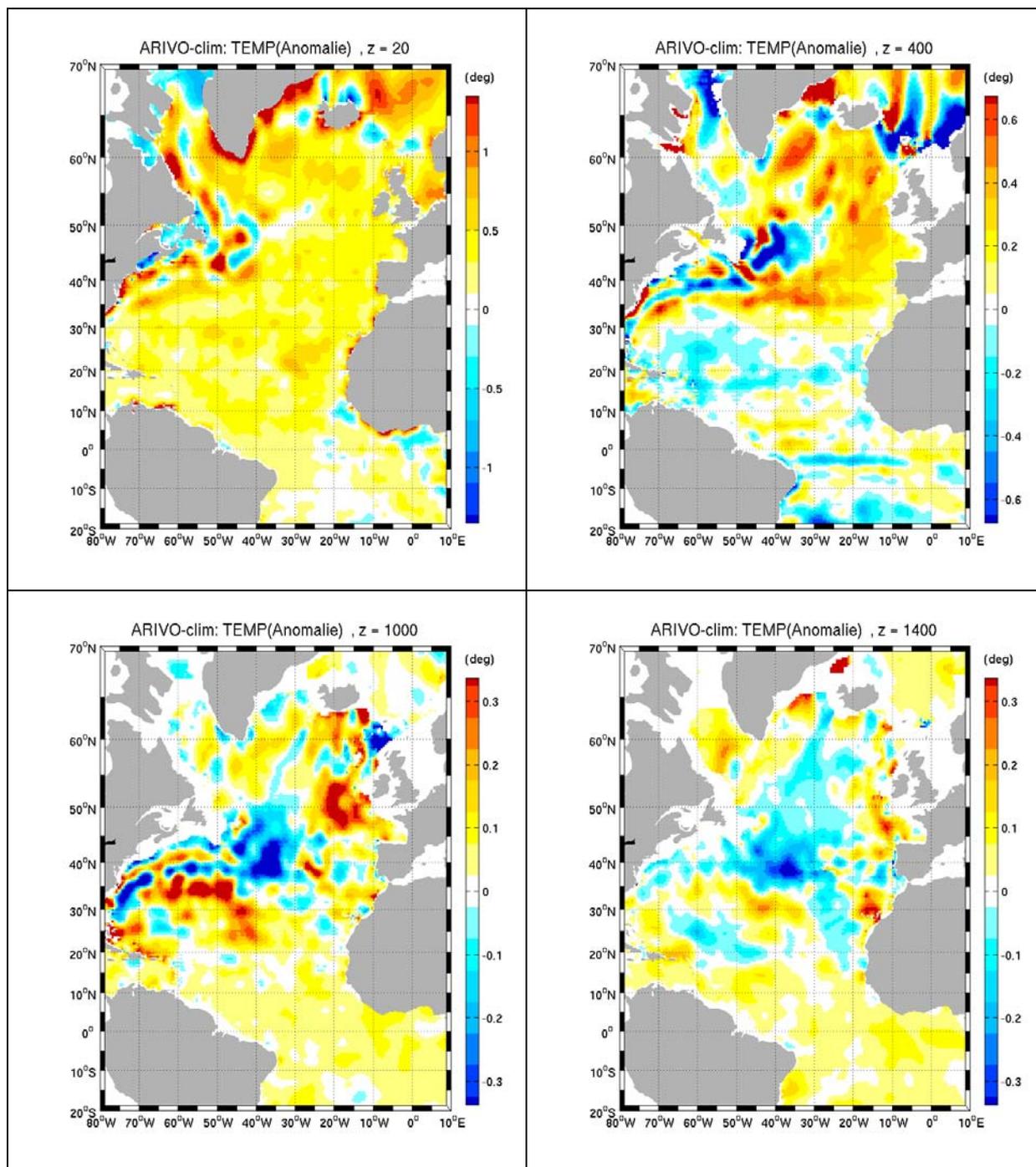


Figure 15 : Ecart entre la température moyenne 2000-2005 et la climatologie WOA01 à $\frac{1}{4}^\circ$.

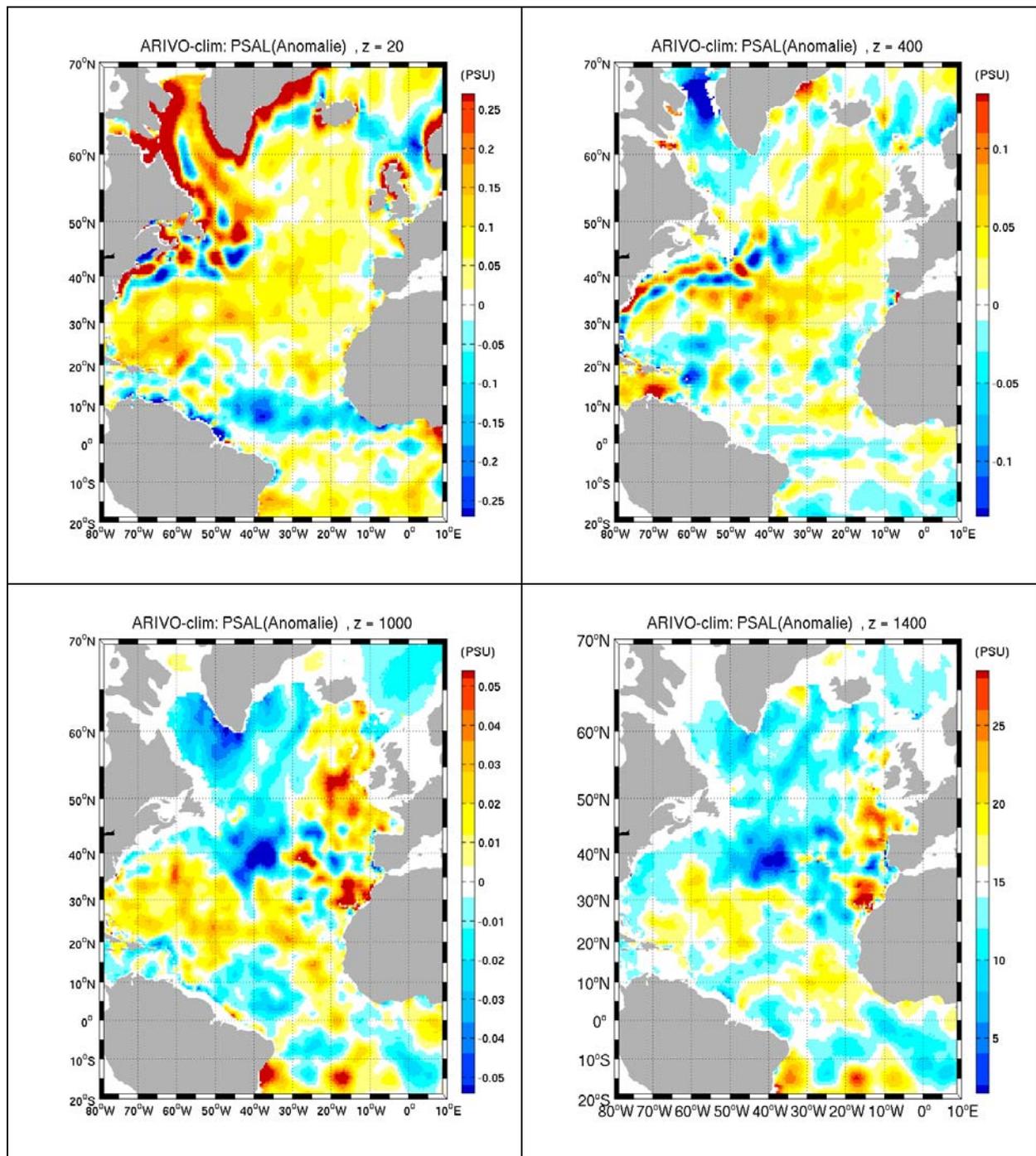


Figure 16 : Ecart entre la salinité moyenne 2000-2005 et la climatologie WOA01 à $\frac{1}{4}^\circ$.

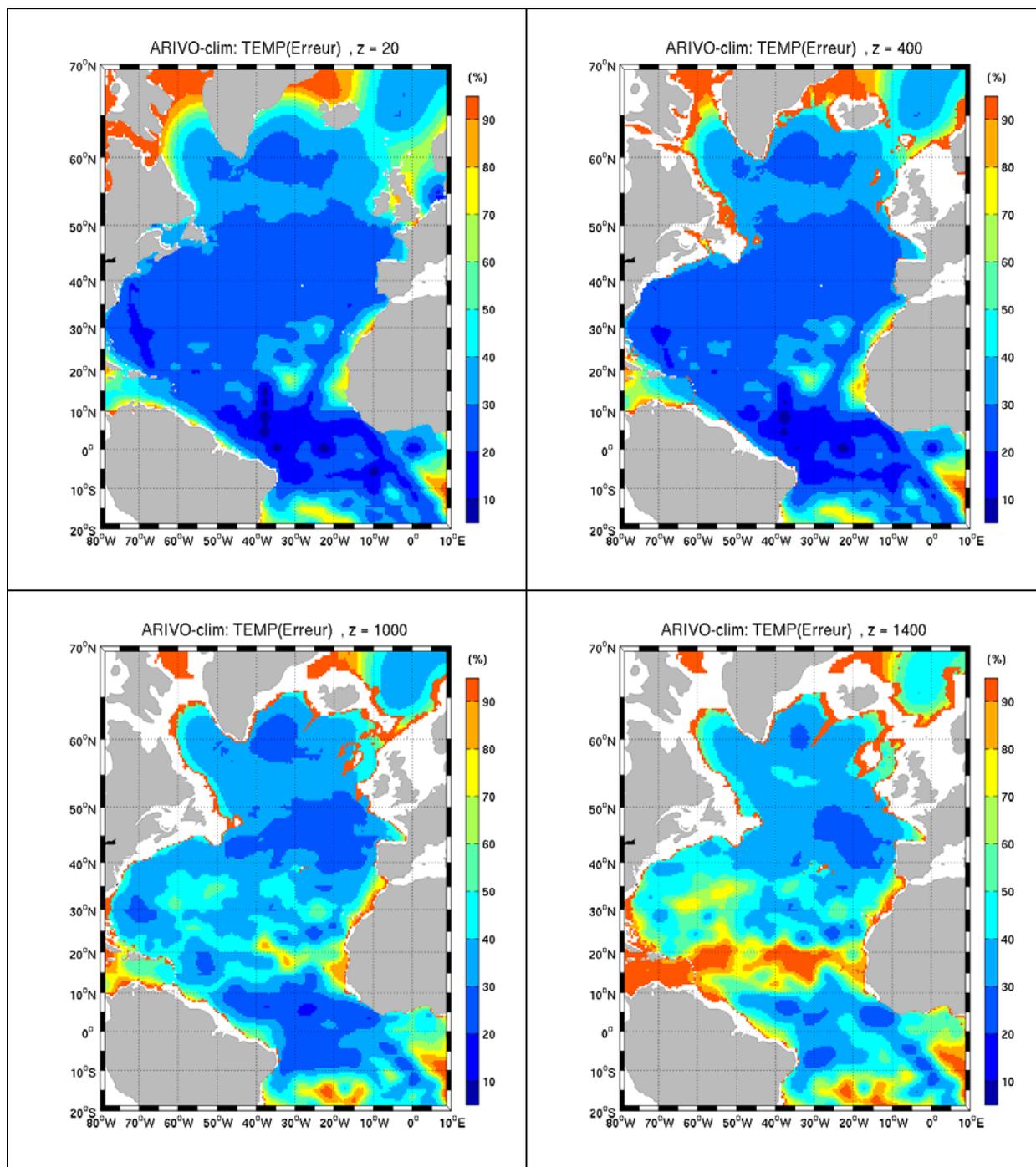


Figure 17 : Erreur (% variance) pour la température aux 4 niveaux des cartes précédentes.

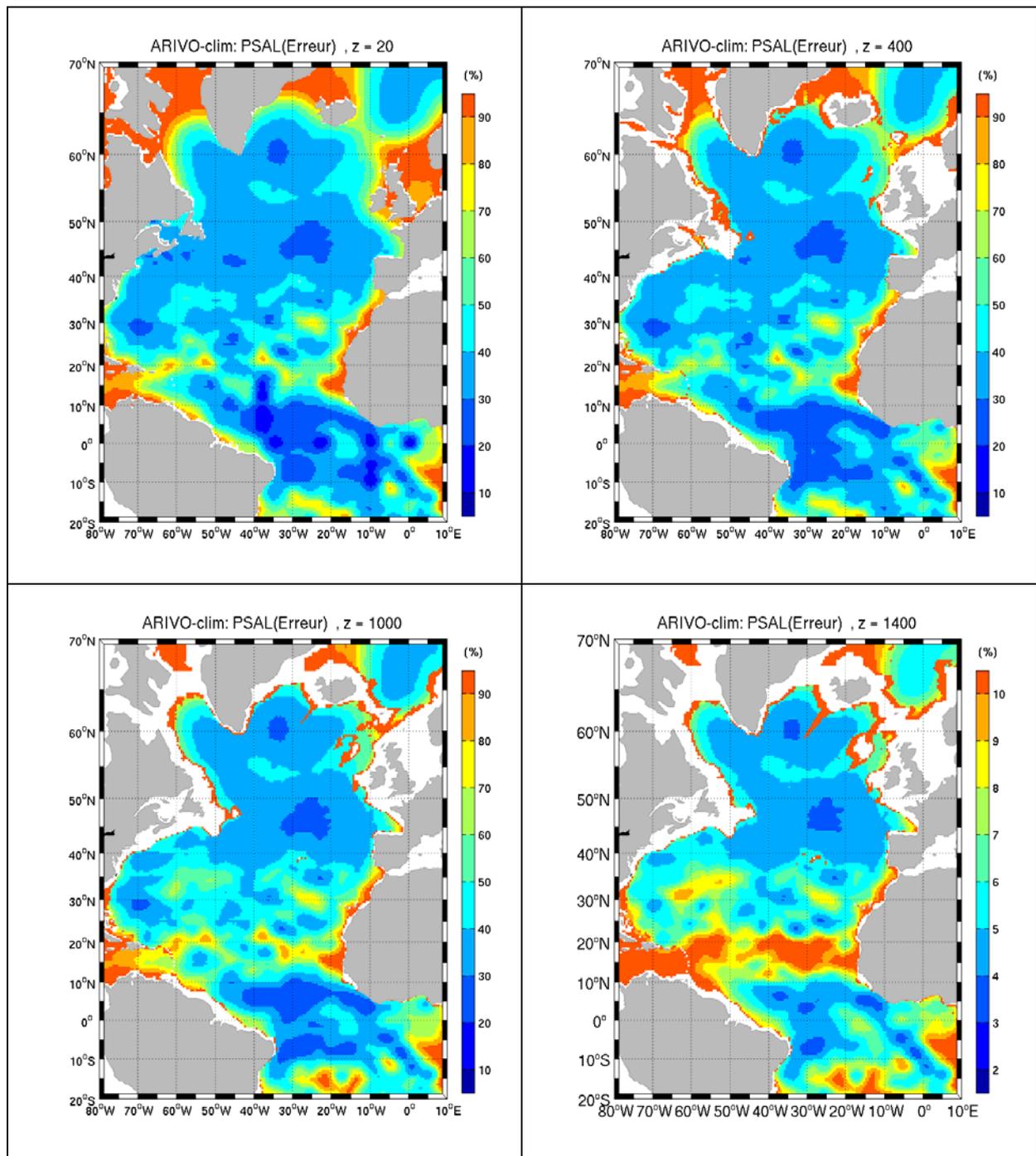


Figure 18 : Erreur (% variance) pour la salinité aux 4 niveaux des cartes précédentes.

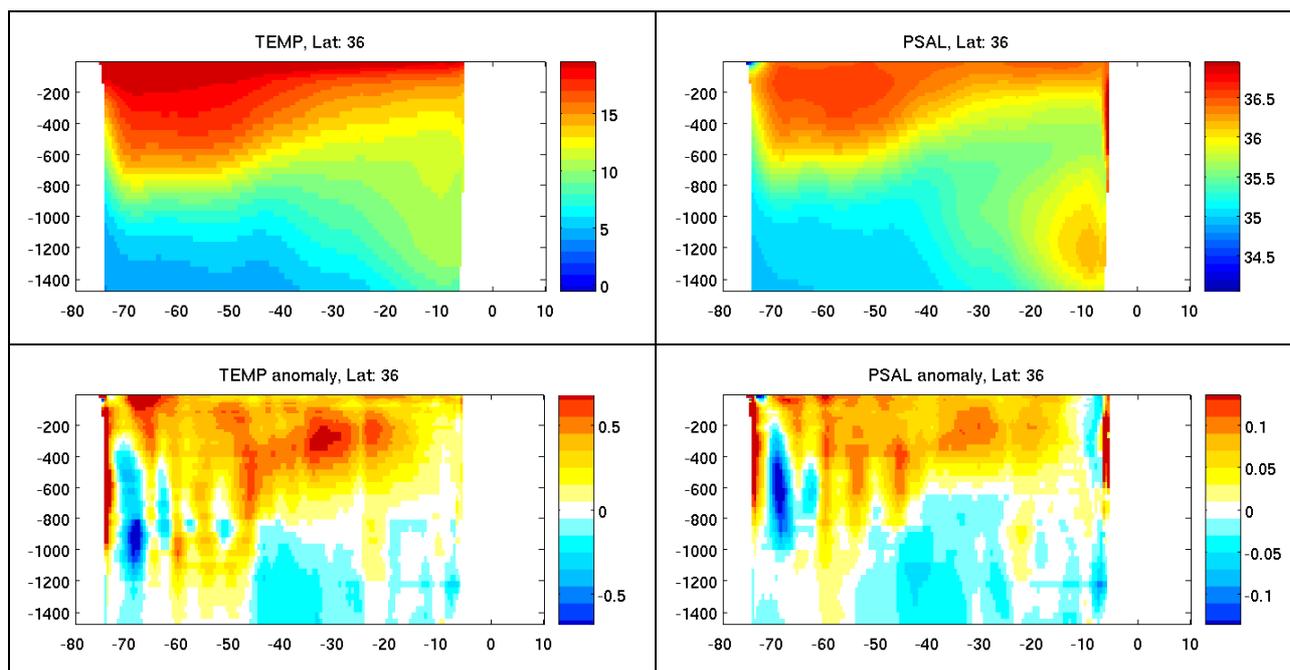


Figure 19 : Section verticale à 36°N. A gauche la température, à droite la salinité, en haut la valeur absolue, en bas l'anomalie par rapport à WOA01.

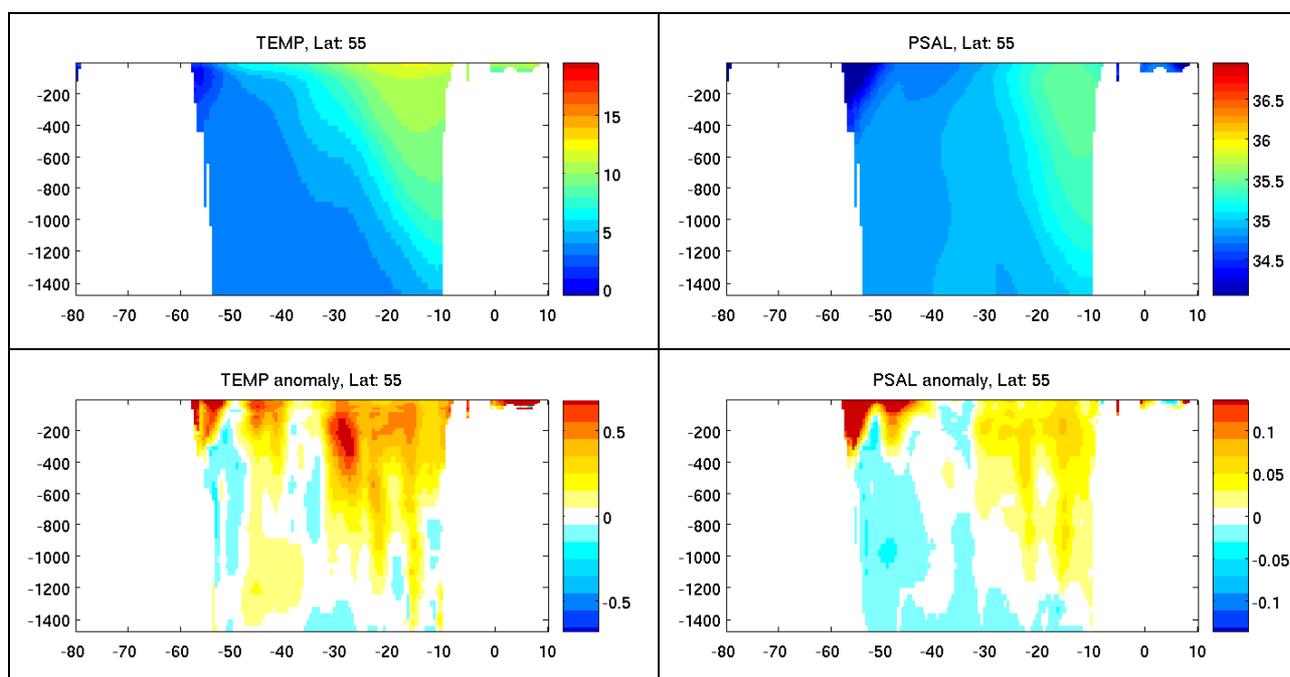


Figure 20 : Section verticale à 55°N. A gauche la température, à droite la salinité, en haut la valeur absolue, en bas l'anomalie par rapport à WOA01.

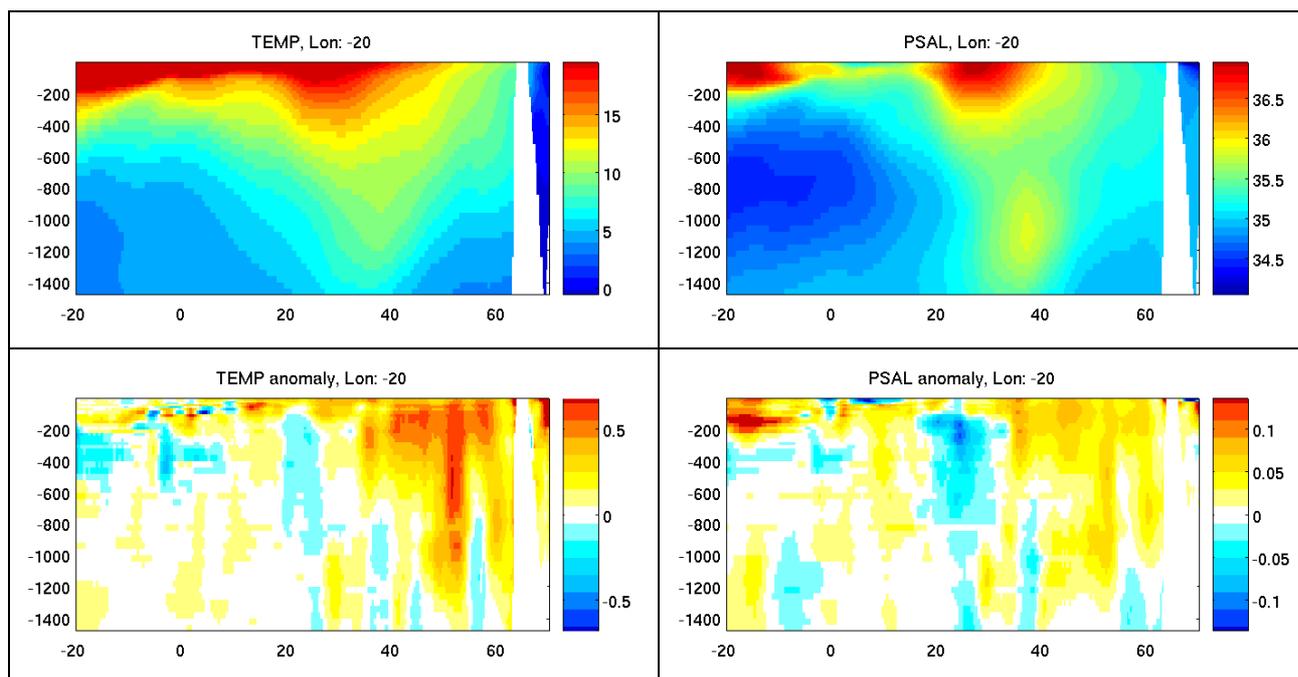


Figure 21 : Section verticale à 20°W. A gauche la température, à droite la salinité, en haut la valeur absolue, en bas l'anomalie par rapport à WOA01.

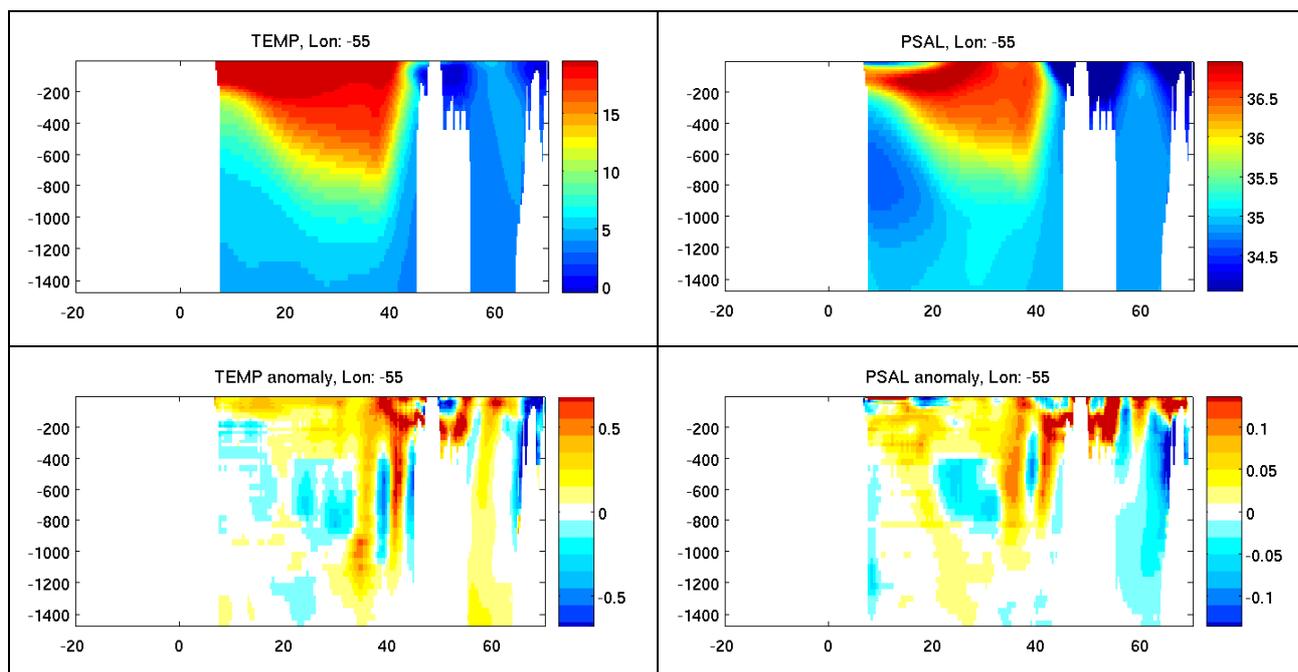


Figure 22 : Section verticale à 55°W. A gauche la température, à droite la salinité, en haut la valeur absolue, en bas l'anomalie par rapport à WOA01

4.3 Format des fichiers

Les champs correspondants à la climatologie mensuelle et annuelle sont rangés dans des fichiers de type NetCdf. Voici, à titre d'exemple l'en-tête d'un fichier mensuel :

```

%% ncdump('xx/mean/field_clim/CORAAT02_mth_01_TEMP.nc')    %% Generated 26-
Sep-2006 15:54:18

nc = netcdf('xx/mean/field_clim/CORAAT02_mth_01_TEMP.nc', 'noclobber');
if isempty(nc), return, end

%% Global attributes:

nc.CONVENTIONS = ncchar('COARDS');
nc.producer_agency = ncchar('IFREMER');
nc.project_name = ncchar('ARIVO');
nc.creation_time = ncchar('20060913T110610');
nc.software_version = ncchar('arv_diag_clim_mnth 1.01');
nc.product_version = ncchar('xxx');
nc.data_set = ncchar('Monthly climatology');
nc.data_manager = ncchar('F. Gaillard');
nc.estimate_date = ncchar('20030115');
nc.south_latitude = ncchar('-20.0761');
nc.north_latitude = ncchar('70.0233');
nc.west_longitude = ncchar('-80');
nc.east_longitude = ncchar('10');

%% Dimensions:

nc('time') = 1;
nc('depth') = 59;
nc('latitude') = 241;
nc('longitude') = 181;

%% Variables and attributes:

nc{'time'} = ncfloat('time'); %% 1 element.
nc{'time'}.units = ncchar('days since 1950/01/01 UTC 00:00:00');

nc{'latitude'} = ncfloat('latitude'); %% 241 elements.
nc{'latitude'}.units = ncchar('degree_north');
nc{'latitude'}.valid_min = ncfloat(-90);
nc{'latitude'}.valid_max = ncfloat(90);

nc{'longitude'} = ncfloat('longitude'); %% 181 elements.
nc{'longitude'}.units = ncchar('degree_east');
nc{'longitude'}.valid_min = ncfloat(-180);
nc{'longitude'}.valid_max = ncfloat(180);

nc{'depth'} = ncshort('depth'); %% 59 elements.
nc{'depth'}.units = ncchar('m');
nc{'depth'}.positive = ncchar('down');
nc{'depth'}.valid_min = ncshort(0);
nc{'depth'}.valid_max = ncshort(2000);

nc{'TEMP'} = ncshort('time', 'depth', 'latitude', 'longitude'); %% 2573639
elements.
nc{'TEMP'}.long_name = ncchar('Temperature');
nc{'TEMP'}.units = ncchar('degree_Celsius');
nc{'TEMP'}.valid_min = ncfloat(-3);
nc{'TEMP'}.valid_max = ncfloat(40);
nc{'TEMP'}.FillValue_ = ncshort(32767);
nc{'TEMP'}.add_offset = ncfloat(20);
nc{'TEMP'}.scale_factor = ncfloat(0.00100000004749745);
nc{'TEMP'}.comment = ncchar('Estimated by optimal interpolation');

```

```

nc{'pct_variance'} = ncshort('time', 'depth', 'latitude', 'longitude'); %%
2573639 elements.
nc{'pct_variance'}.long_name = ncchar('Error on temperature (percent vari-
ance)');
nc{'pct_variance'}.units = ncchar('percent of a priori variance');
nc{'pct_variance'}.valid_min = ncfloat(0);
nc{'pct_variance'}.valid_max = ncfloat(100);
nc{'pct_variance'}.FillValue_ = ncshort(32767);

undef(nc)
close(nc)

```

5 Conclusions

La série temporelle issue de cette réanalyse donne accès à un cycle annuel moyen représentatif de la période 2000-2005. Les années 2003-2005 y sont cependant mieux représentées, surtout en salinité à tous niveaux et en température en dessous de 800m.

Si le réseau ARGO est maintenu, il est tout à fait envisageable de produire de façon routinière, des moyennes glissantes qui fourniront une référence utile aux études de variabilité. L'évolution de ces moyennes permettra de suivre la variabilité basse fréquence. On note déjà des différences importantes entre cette première climatologie évolutive et la climatologie de Boyer et Levitus. La comparaison d'une année particulière à la moyenne donne accès à la variabilité interannuelle.

Enfin la méthode moindre carrés, qui travaille en anomalie par rapport à un état de référence fournit un résultat d'autant moins biaisé que cet état de référence est proche de l'état analysé. Cette nouvelle climatologie sera donc intégrée à la configuration standard des analyses CORIOLIS Version 4.

6 Références

Boyer, T., S. Levitus, H. Garcia, R. A. Locarnini, C. Stephens, and J. Antonov, 2005: Objective analyses of annual, seasonal, and monthly temperature and salinity for the world ocean on a 0.25 degrees grid. *International Journal of Climatology*, **25**, 931-945.

Bretherton, F., R. Davis, and C. Fandry, (1976), A technique for objective analysis and design of oceanic experiments applied to Mode-73. *Deep Sea Research*, 23, 1B, 559--582.

Gaillard, F., E. Autret, V. Thierry, P. Galaup, C. Coatanoan and T. Loubrieu: An operational system for real time and delayed mode quality control of ARGO profiles. *En préparation*.

Autret, E. and F. Gaillard: Système opérationnel d'analyse des champs de température et de salinité mis en oeuvre au centre de données CORIOLIS : Version V3.03, configuration GLOBAL05 V1.0 Document : version 1.1, 25/03/2005, *Ref. cordo-zzz-05-045*