

Rapport final 2004/2071019 pour l'étude CIRENE 2004.

Jérôme VIALARD
jv@lodyc.jussieu.fr

Introduction

Le projet Cirene a été conçu il y a plusieurs années et a considérablement évolué en cours de route. Les plans de campagne, en particulier, ont notablement évolué. En conséquence, nous présenterons ici l'état actuel du projet sans faire références aux plans initiaux.

Le projet Cirene s'intéresse essentiellement à la variabilité intrasaisonnière de la température de surface dans l'océan Indien, mais vise également à mieux cerner l'état moyen dans des régions de l'océan Indien encore mal cartographiées. Des études récentes ont démontré que la bande 5°S-10°S de l'Océan Indien (en particulier dans la partie centrale et ouest) est extrêmement réactive à la variabilité intrasaisonnière de la convection, avec des variations pouvant aller jusqu'à plusieurs °C en 10-15 jours sur de vastes régions océaniques (e.g. Duvel et al., 2004 ; Duvel et Vialard, 2006). Une campagne dédiée aura lieu en Janvier 2007 pour étudier ce phénomène et 12 flotteurs PROVOR seront déployés pendant cette campagne. En septembre 2004, un transit du Marion Dufresne entre La Réunion et les Khor Fakkan (Emirats Arabes Unis) a été mis à profit pour déployer 10 flotteurs PROVOR. Nous allons décrire dans ce rapport les principaux résultats des analyses préliminaires effectuées sur ces données.

Résultats

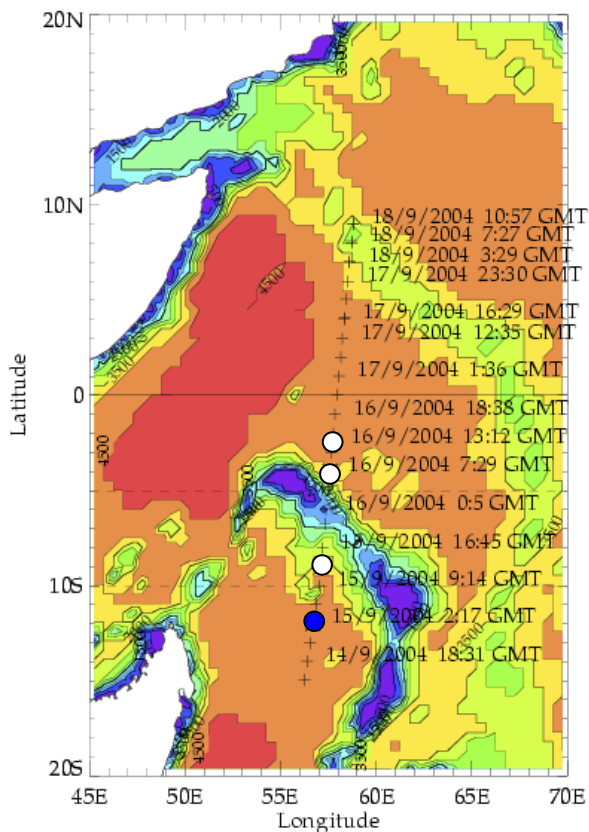


Figure 1. Le fonds de carte représente la bathymétrie. Les disques indiquent les positions de déploiement des PROVORS, les croix les XBTs effectués pendant la campagne. Les disques blancs correspondent à une position de déploiement de 3 PROVORS et le disque bleu à une position de déploiement d'un seul PROVOR.

Un PROVOR a été déployé à 12°S, dans une région mal échantillonnée à l'époque. En ce qui concerne la mesure de la variabilité intrasaisonnière dans la couche mélangée, la

stratégie initiale était de déployer des groupes de 3 PROVORS (à 9°S, 7°S, 5°S) dans la bande 5°S-10°S, qui profileraient avec un décalage d'un tiers de cycle. La présence de l'arc des Seychelles dans l'axe du transit nous a fait préférer des déploiements à 9°S, 4°30'S et 2°30'S pour éviter des échouages trop précoces. Un des PROVOR a d'ailleurs séjourné quelques mois sur le plateau des Seychelles, effectuant des profils entre la surface et environ 30 à 50 mètres de fond avant d'être de nouveau emporté au large par les vents dominants ce dernier hiver.

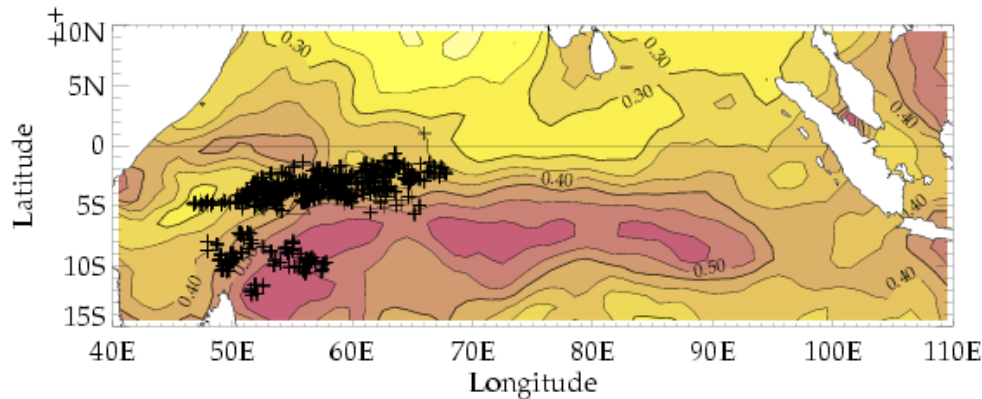


Figure 2. Le fond de carte représente l'amplitude de la variabilité intrasaisonnière de la SST mesurée par le satellite TMI, soit le signal que nous souhaitons étudier. Les croix représentent les positions de l'ensemble des profils effectués par les flotteurs PROVOR déployés dans le cadre de Cirene, fin mars 2006.

Les positions de l'ensemble des profils prélevés par les profileurs Cirene ne couvrent pas le maximum de variabilité que nous souhaitons étudier (figure 2). C'est le résultat à la fois des sites de déploiement imposés par la présence de l'arc des Seychelles le long du trajet du bateau et des conditions de courant dans la région. La zone 5°-10°S correspond en effet à une région où le pompage d'Ekman est associé à un upwelling (thermocline proche de la surface) et à une divergence des courants de surface. Cette divergence des courants de surface contribue probablement à repousser les flotteurs en dehors de la bande 5°S-10°S lors de leur séjour en surface.

La figure 3 permet de visualiser les trajectoires des différents profileurs. On peut remarquer que l'un des profileurs déployé à 9°S (en pointillés sur la carte du bas) n'a pas refait surface aussitôt après son déploiement. Il a émis de mi-novembre 2004 à mi-février 2005, puis n'a apparemment jamais refait surface. Aucune anomalie n'avait pourtant été constatée lors du déploiement. Un des flotteurs déployés à 2°30'S a résidé quelques temps sur le plateau des Seychelles sur des fonds de 40 à 50m. Cela ne semble pas avoir causé de problème pour son fonctionnement ultérieur (même s'il est probable que les capteurs soient quelque peu recouvert d'algues !).

La figure 3 et la figure 4 permettent d'évaluer le taux de dispersion de ceux qui ont été déployés par 3. Deux profileurs déployés au même point mettent entre 7 et 40 cycles (moyenne 21 cycles) pour se séparer de 180 milles nautiques (la spécification de distance entre profileurs du projet Argo). La stratégie proposée par Cirene afin d'obtenir une meilleure résolution temporelle au début de la période de déploiement ne compromet donc pas outre mesure les impératifs de couverture spatiale liés au programme Argo. Une stratégie similaire sera donc probablement utilisée lors de la campagne Cirene début 2007.

La figure 5 montre une étude de cas d'un refroidissement d'environ 1°C fin janvier, suivi d'un réchauffement assez marqué (de l'ordre de 2°C) début mars. Sur l'ensemble des profileurs Cirene, certains ont assez bien capturé ces deux phases (voir colonne de gauche de la figure 5). Il est à noter que des comparaisons point par point (plutôt que sur une grande région comme dans la figure 5) montrent un assez bon accord entre la donnée du profileur la

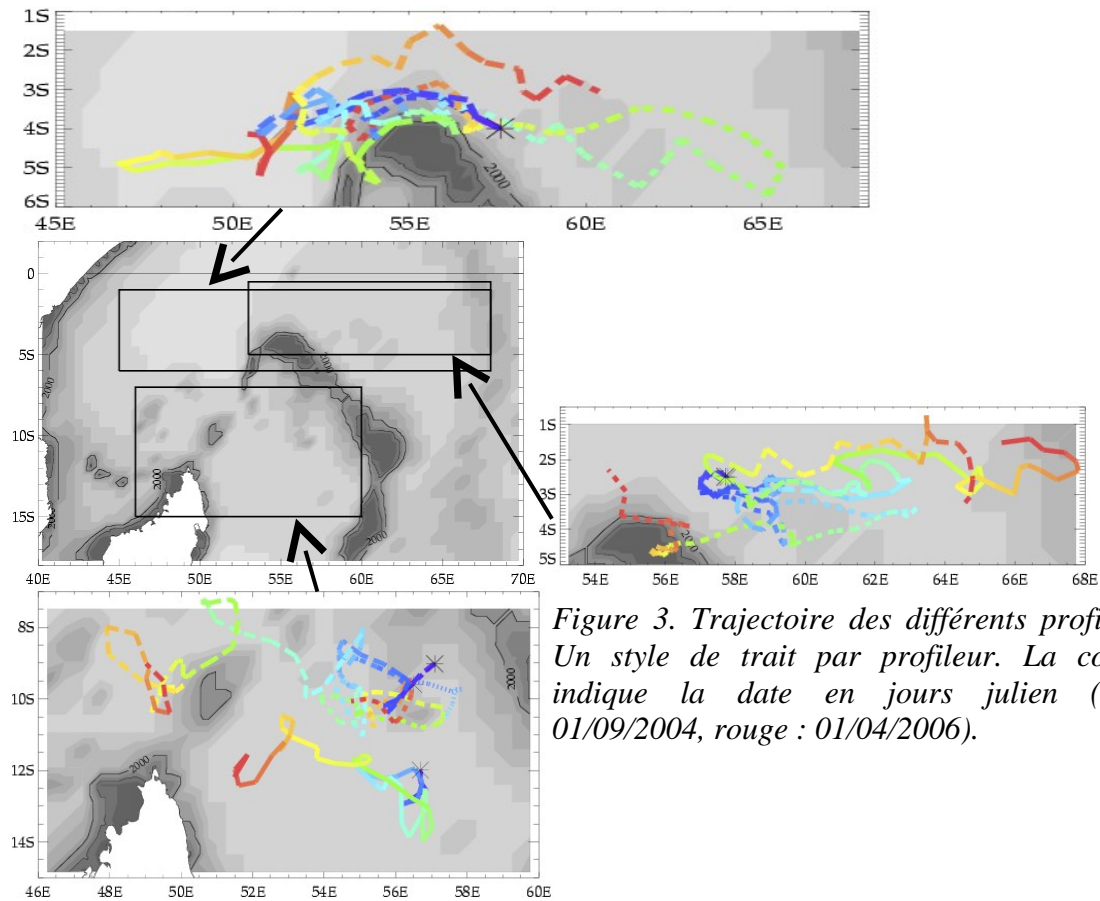


Figure 3. Trajectoire des différents profileurs. Un style de trait par profileur. La couleur indique la date en jours julien (bleu : 01/09/2004, rouge : 01/04/2006).

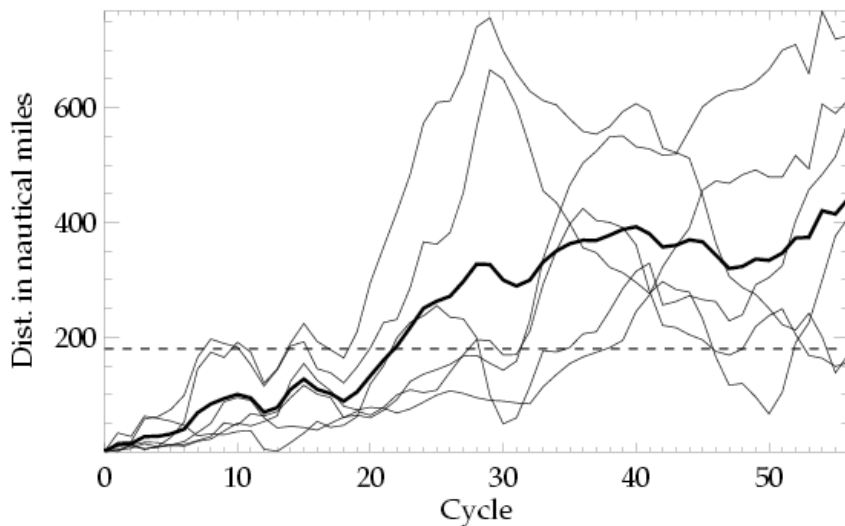


Figure 4. Distance (en milles nautiques) séparant toutes les paires de flotteurs déployé au même site en fonction du nombre de cycle. La courbe grasse est la moyenne des autres courbes. Le trait pointillé indique la distance canonique proposée par le réseau Argo, soit 3° et donc environ 180 milles nautiques dans ces régions.

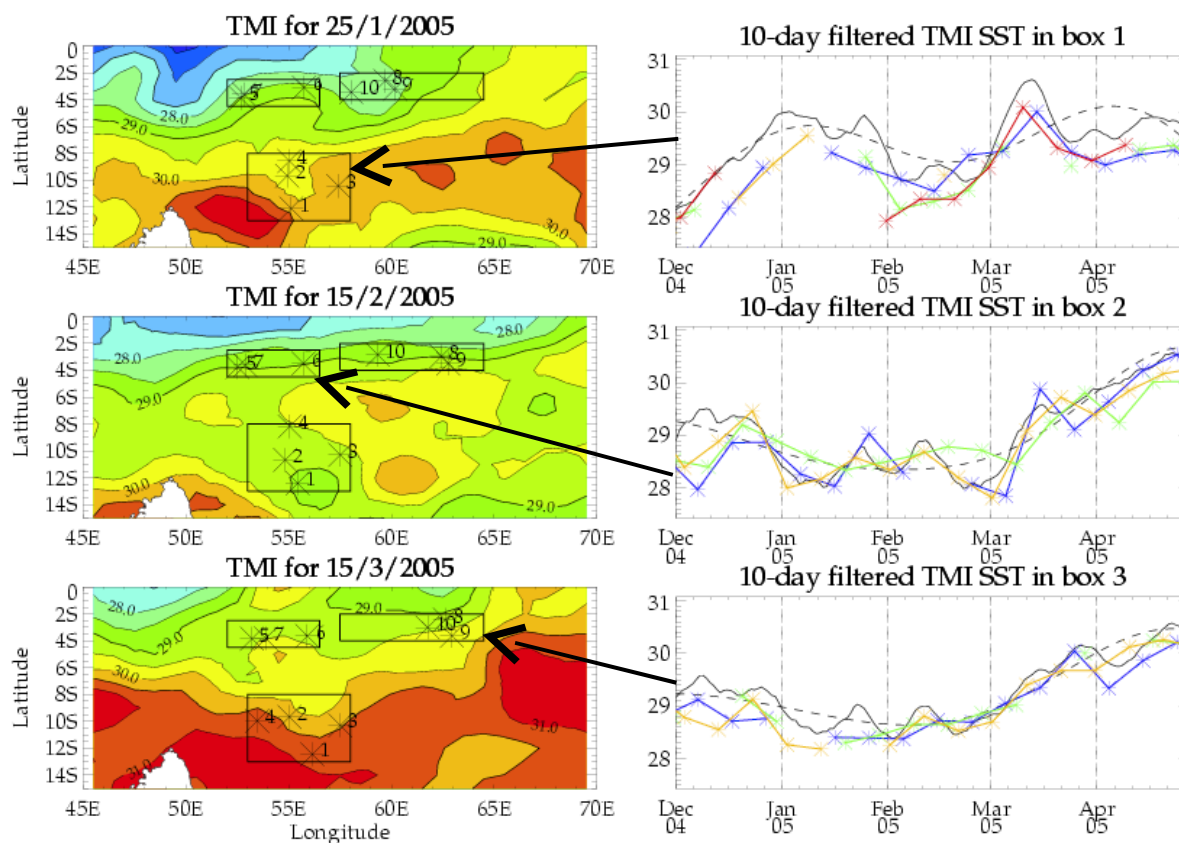


Figure 5. Les 3 panneaux de gauche sont des instantanés de la SST satellite TMI a des dates entourant l'un des plus forts évènements intrasaisonniers de SST début 2005. Les positions des 10 flotteurs a cette date sont indiquées par les étoiles. Les panneaux de droite montrent l'évolution de la SST TMI moyenne (trait plein noir) sur les trois boîtes matérialisées à droite. Le trait tireté montre cette même SST filtrée à 90 jours. Les courbes colorées montrent la donnée de température la plus proche de la surface des profileurs Cirene.

plus proche de la surface et la SST TMI (voir avant dernier panneau de la figure 6). On voit sur la figure 5 que plusieurs des flotteurs ont effectué des mesures dans des phases de forts réchauffements intrasaisonniers (de début à mi mars), en particulier dans les boîtes 1 et 2. Les flotteurs les plus intéressants à ce niveau sont les flotteurs N° 1, 4, 5, 7 (voir table 1 ci-dessous pour leurs numéros WMO).

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WMO	1900391	1900389	1900399	1900400	1900401	1900388	2900424	1900395	2900425	1900383
Latitude de déploiement	12°S	9°S	9°S	9°S	4°30'S	4°30'S	4°30'S	2°30'S	2°30'S	2°30'S

Table 1. Liste des N° WMO des profileurs déployés dans le cadre de Cirene et N° de flotteurs correspondant employés dans le texte. Le flotteur qui n'a refait surface que quelques mois est le n°3 (1900399).

La figure 6 montre, par exemple, le profileur n° 4 qui a bien capturé ce réchauffement. On constate plusieurs choses. D'une part, les séries temporelles sont très bruitées au niveau de la thermocline en raison de l'échantillonnage temporel. Une mesure au vol prise tous les 10 jours est fortement influencée par les ondes internes de gravité. Une étape ultérieure importante sera donc de combiner les données de plusieurs profileurs proches pour essayer de lisser ce « bruit » qui vient se surajouter au signal à mesurer. Il existe un assez bon accord entre les données de SST TMI et les données les plus proches de la surface du profileur. La SST TMI est en moyenne plus élevée, mais ceci pourrait être dû au fait que le satellite voit la

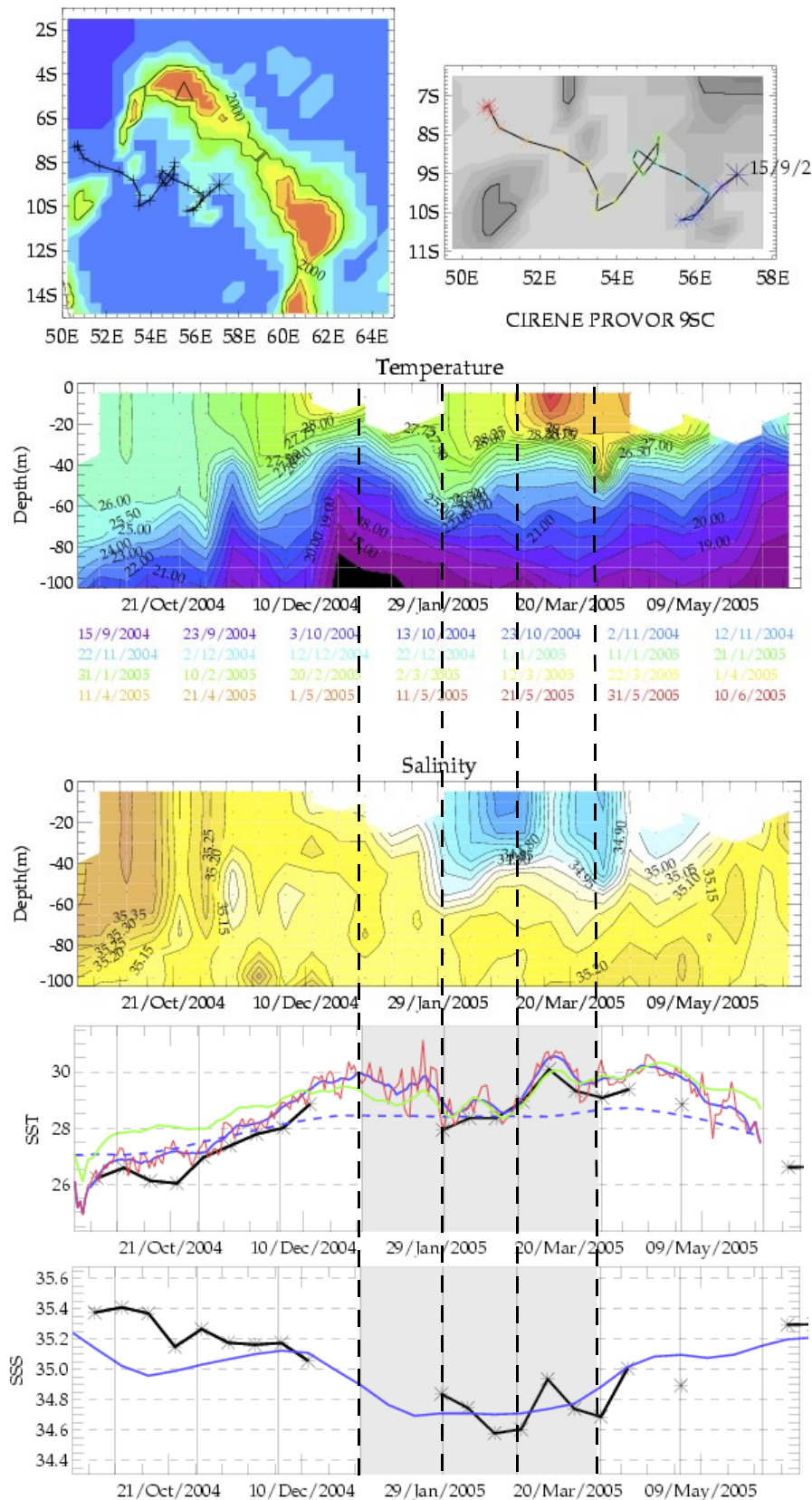


Figure 6. Tracé récapitulatif pour un des profileurs déployés à 9°S. En haut, trajectoire sur fond de bathymétrie puis profil 0-100m de T, S. Ensuite données de T la plus proche de la surface (trait noir épais) et SST TMI au même point (brute en rouge, filtrée sur 10j en bleu, moyennée sur la région en vert, climato en bleu tireté). Enfin donnée de S la plus proche de la surface (trait noir épais) et SSS climato de Levitus (trait bleu).

formation de couches chaudes liées au cycle diurne (d'une épaisseur de l'ordre d'une quarantaine de centimètres) qui ne sont pas mesurées par le PROVOR qui prends sa dernière mesure vers 5m de profondeur.

Les données du flotteur PROVOR permettent d'ailleurs d'estimer l'épaisseur du signal intrasaisonnier en température (de l'ordre de 20m sur le cas présenté), chose jusque-là inaccessible aux données satellitales. Cette estimation d'une épaisseur de couche de mélange si fine (environ 20m) dans cette région est d'ailleurs bienvenue. Elle confirme que l'extrême réactivité de la SST à la convection dans la région est bien due à une couche mélangée très peu profonde en raison d'une thermocline elle-même proche de la surface dans cette région (Duvel et al. 2004). Les données PROVOR permettent également de documenter le signal en salinité (figure 6). La diminution de sel en janvier février mars semble être en grande partie climatologique (bonne correspondance avec Levitus). Mais la période de réchauffement (qui correspond à des ciels clairs sans pluie, en contraste avec les fortes pluies des périodes convectives associées au refroidissements) marquent une augmentation passagère de la salinité.

Conclusion

Les analyses présentées ci-dessus sont préliminaires. Elles sont néanmoins encourageantes :

- les signaux de la couche mélangée ont été capturés par les profileurs
- différents PROVOR donnent des informations cohérentes, ce qui était l'hypothèse, étant donné la nature grande échelle du forçage intrasaisonnier
- les profileurs permettent d'estimer l'échelle verticale de la réponse et la profondeur de la couche de mélange (environ 20m), essentielle pour comprendre la réponse de l'océan superficiel à l'atmosphère

Néanmoins, il reste des problèmes à résoudre :

- les profils tous les 10 jours résolvent mal la variabilité intrasaisonnaire et sont pollués par la variabilité haute fréquence de l'océan.
- l'étude ne peut se limiter à une saison d'hiver et doit être étendue à d'autres évènements

En conséquence, les prochaines étapes de ce travail sont les suivantes. Tout d'abord, étendre l'étude menée ici avec les profileurs Cirene seulement à l'ensemble des profileurs Argo dans la région (et donc à une période plus longue). Ensuite, il me reste à extraire la variabilité cohérente extraite par l'ensemble des profileurs. J'utiliserai d'abord des méthodes simples (moyennes des groupes de profileurs cohérents comme 5,7 par exemple), puis des méthodes plus sophistiquées (régression avec un indice de SST TMI ou analyse en composantes principales). Nous sommes en outre en train de mettre au point une configuration du modèle NEMO en version 1D, avec 300 niveaux, qui permettra d'effectuer des simulations de l'évolution de la couche mélangée dans la région, qui pourront cette fois ci être validées par les mesures Cirene (alors que nous n'avions pas de mesures in situ dans la région auparavant).

Enfin, l'expérience acquise dans l'analyse de ces données sera riche d'enseignements pour affiner la stratégie de déploiement des 12 profileurs qui seront déployés lors de la campagne Cirene en janvier 2007.