

**Campagne COCESII (23-25 avril 2013) : Analyse comparative des
profils de température et de salinité des Arvor et CTD sur la
grande Côte sénégalaise**

Saliou Faye

Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan (LPAO-SF),
Centre de Recherche Océanographique Dakar-Thiaroye (CRODT),
Dakar, Sénégal

Pierre-Marie Poulain

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS),
Trieste, Italy



Approvato da

Dr. Paola Del Negro
Direttore, Sezione Oceanografia

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	3
2. Instruments de mesures océanographiques.....	4
2.1 CTD	4
2.2 Profileurs/flotteurs.....	5
3. Résultats de l'analyse comparative des profils CTD et Arvor	6
4. Conclusions.....	13
5. Remerciements	13
6. Références	13

1. Introduction

Le projet COCESII a pour objectif d'étudier la dynamique de la circulation océanique au large des côtes Nord-Ouest Africaines (et principalement Sénégalaises) en utilisant des données in-situ, d'observations satellites et des sorties de simulations numériques, en collaboration avec des chercheurs étrangers (Europe, USA,...) et d'océanographes locaux. Dans le cadre ce projet, la campagne COCESII a été effectuée les 23-25 avril 2013 (Wade et al., 2013) dans le but de collecter des données hydrographiques et de déployer des drifters et des flotteurs Argo pendant la période d'upwelling. En même temps, des profils de température et de salinité ont été collectés sur trois radiales (Nord, Centre et Sud) situées respectivement à 16°N, à 15°30'N et à 15°N. Il était prévu sur chacune de faire quatre mesures hydrographiques et de déployer des bouées dérivants.

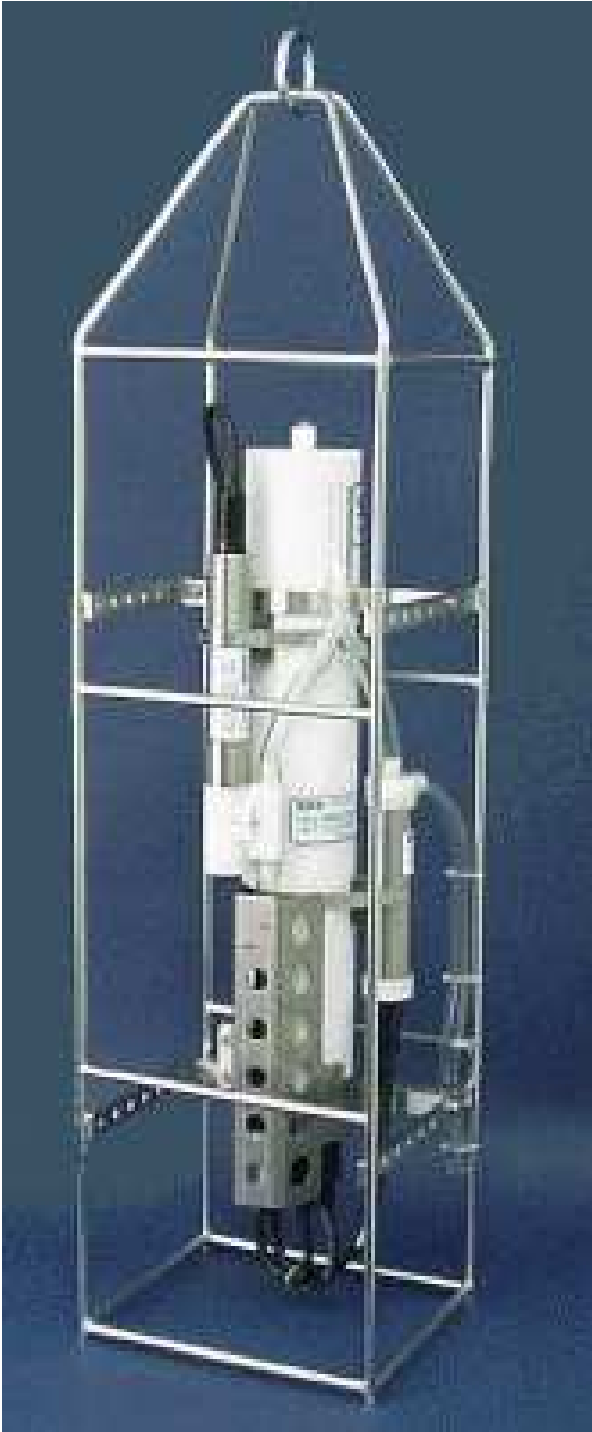
Dans le cadre du projet UPSEN, la campagne UPSENII a été effectuée en février 2013 au cours de laquelle deux Arvor ont été déployés. Ces deux Arvor ont migré vers le nord et ont effectué des profils dans la région où la campagne COCESII a été réalisée. Le rapport donne des informations essentielles sur les instruments (CTD et Arvor), mais il focalise sur l'analyse comparative des profils Arvor et CTD.



Figure 1 : Positions des stations CTD (losange) et les positions de déploiement des bouées dérivantes (rectangle) pendant la campagne COCESII.

2. Instruments de mesures océanographiques

2.1 La CTD



La CTD (Conductivity-Temperature-Depth) est un instrument qui mesure les caractéristiques de l'eau comme la température, la salinité et la pression (profondeur). Elle est placée dans l'eau qu'elle mesure jusqu'à une profondeur finale. Elle mesure à la fois la température, la salinité et la pression de toute la colonne d'eau suivant la vitesse de la descente.

Lors de cette campagne COCESII, le déploiement de la sonde CTD a été faite sur l'arrière du bateau, elle a été reliée avec une corde en nylon. Avant la mesure, la sonde a été mise à 10 m de profondeur pendant 2 min afin de permettre le déclenchement de la pompe, elle a été ensuite ramenée à la surface d'où commencent toutes les opérations de mesure jusqu'à la profondeur finale et ceci pour toutes les stations. Après chaque mesure, la CTD a été rincée à l'eau douce pour préserver le bon fonctionnement de ses capteurs. Les données ont été récupérés sur l'ordinateur à bord, après chaque mesure.

Figure 2 : Photographie d'une sonde CTD.

2.2 Profileurs/flotteurs

Les flotteurs sont programmés à l'avance et déployés à partir de navires océanographiques, de navires marchands volontaires ou encore largués par avion. Il existe plusieurs versions de profileur Argo. Les principaux utilisés et déployés dans la région d'étude au large du Sénégal sont les Arvor (Figure 3A).

Le principe de fonctionnement des flotteurs est le suivant. Une fois mis à l'eau, le flotteur Argo commence librement ses cycles de 10 jours. Pour chaque cycle (Figure 4): le flotteur Argo descend jusqu'à sa profondeur de parking (1000 ou 2000m) où il dérive librement pendant 9-10 jours. Ces déplacements libres permettent également d'estimer la vitesse des courants en profondeur, en supposant que la dérive du flotteur est faible pendant les phases de montée et de descente. Après avoir dérivé, le flotteur remonte vers la surface et mesure température et salinité tous les 5 ou 10m selon sa programmation initiale. Une fois arrivé à la surface, les données sont transmises par satellites via le système Argos à un centre de réception. Ce dernier les pré-validate et les met à disposition quasiment en temps réel (24h) soit par internet, soit via le GTS (*Global Telecommunications System*) de l'OMM (*Organisation Météorologique Mondiale*).

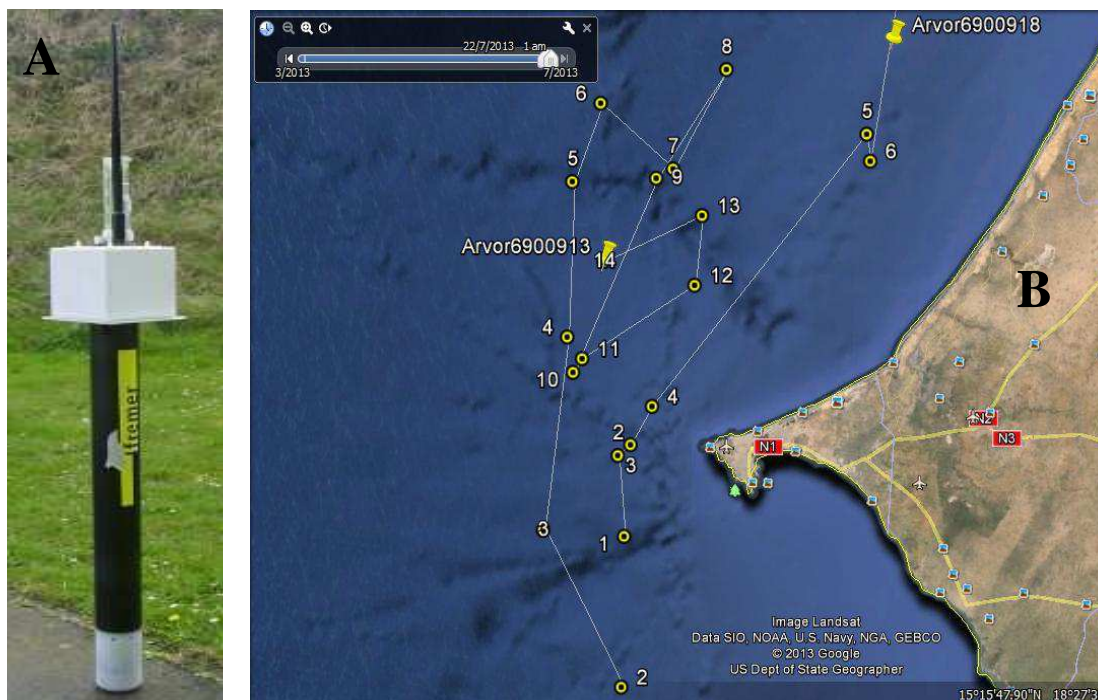


Figure 3 : (A) Photographie d'un Arvor Argos en position vertical et (B) répartition des profils des Arvor et leurs trajectoires présentes sur la zone d'étude au large du Sénégal.

Le traitement en temps réel des données du programme Argo est effectué principalement dans 2 centres spécialisés, l'un situé en France (le centre Coriolis à Brest), l'autre aux Etats Unis (la NOAA AOML). Ces données sont également validées en temps différé (« Delayed mode ») avec plus de précision, par les PI (*Principal Investigators*). L'ensemble des données (temps réel et différé) est archivé dans les centres nommés ci-dessus. Nous utiliserons dans ce rapport les données issues des deux flotteurs Argo présents sur la zone d'étude (Figure 3B). Il s'agit les profileurs WMO 6900813 et 6900818. Déployés au sud de Dakar lors de la campagne UPENII, ils ont migré dans grande côte, zone où la campagne COCESII a été réalisée, où ils ont effectué des profils de température et de salinité.

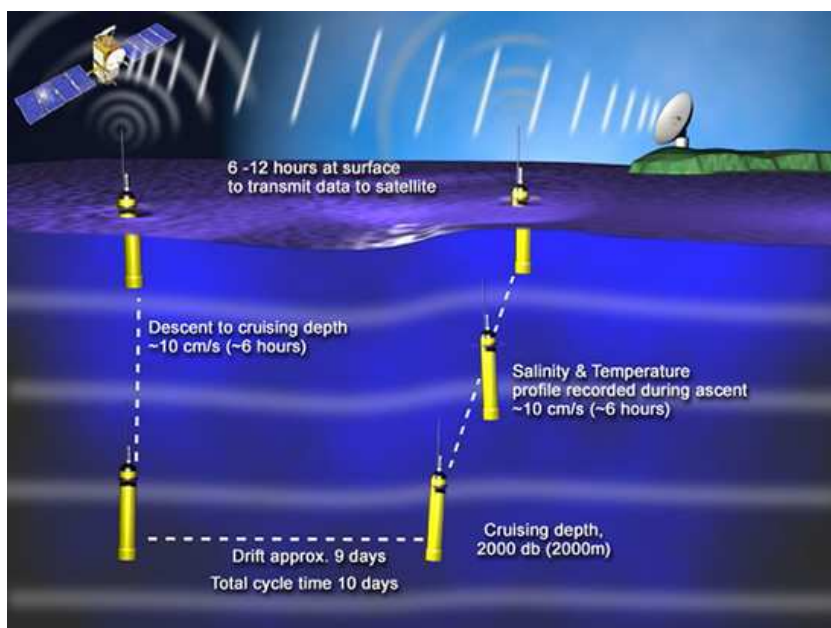


Figure 4 : Schéma d'un cycle de 10 jours effectué par un profileur Argo.

3. Résultats de l'analyse comparative des profils CTD et Arvor

Dans la Table1 sont représentées les coordonnées (dates et positions géographiques) et les séparations spatiales et temporelles des profils Arvor et les stations CTD. On remarque que l'Arvor 6900813 termine ses cycles en fin de journée (entre 18h-19h), l'Arvor 6900918 à 15h et S4 réalisée à 18h07 alors que C4 a été effectuée pendant la nuit (22h). La séparation spatiale et/ou temporelle entre les stations et les profils Arvor sont significatives (Table1).

Coordonnées stations	date	heure	latitude	longitude	Séparation spatiale	Séparation temporelle
Station S4	25-05-2013	18h07	15°N	17.31°W	54 km	23 jours mais presque à la même heure
Profil4_6900913	02-04-2013	18h14	14.96°N	17.83°W		
Station C4	24-04-2013	22h45	15.30°N	17.20°W	62 km	12 jours
Profil5_6900913	12-04-2013	19h20	15.28°N	17.82°W		
Station C4	24-04-2013	22h45	15.30°N	17.20°W	58 km	2 jours
Profil6_6900913	22-04-2013	18h43	15.44°N	17.76°W		
Station C4	24-04-2013	22h45	15.30°N	17.20°W	40 km	8 jours
Profil7_6900913	02-05-2013	18h37	15.30°N	17.60°W		
Station C4	24-04-2013	22h45	15.3°N	17.20°W	3 km	15 jours
Profil6_6900918	09-05-2013	15h55	15.32°N	17.17°W		

Table 1 : Coordonnées des stations CTD et profils Arvor

D'emblée, les profils de salinité de la CTD sont tellement broutés et ne sont pas comparables avec ceux des Arvor. Le constat est général sur tous les profils de salinité de la CTD. Par contre, les profils de température de la CTD demeurent apparemment comparables avec ceux des Arvor.

D'avril à mi-mai l'Arvor 6900913 a effectué 4 profils alors que l'Arvor 6900918 en a fait un dans la zone où la campagne a été réalisée. Parmi les 9 stations CTD seules les stations C4 et S4 sont proches des profils Arvor. Par conséquent, nous limitons la comparaison sur ces stations avec les 5 profils Arvor dans la région.

Dans la figure 5 sont représentés les SST du 03 avril 2013 et du 25 avril 2013 et les profils verticaux de température et de salinité de l'Arvor 6900913 (profil4) et de la CTD (S4). Le profil4 est situé un peu sud et beaucoup plus à l'ouest de S4. Ils sont décalés de 23 jours et sont distancés de 54 km (Table1). On constate que les deux profils présentent la même allure, avec des MLD (mixed layer depth) presque égales. La SST de S4 est légèrement plus chaude. Cependant les SST satellites montrent que la zone S4 est assez plus froide que celle du profil. Cela pourrait être causé par le cycle diurne de la SST, qui présenterait des SST plus froides le 02 avril 2013 que le 03 avril 2013. Il n'y a pas eu de données SST satellites la journée du 02 avril 2013 à cause d'une couverture nuageuse ou de poussière venant du sahara.

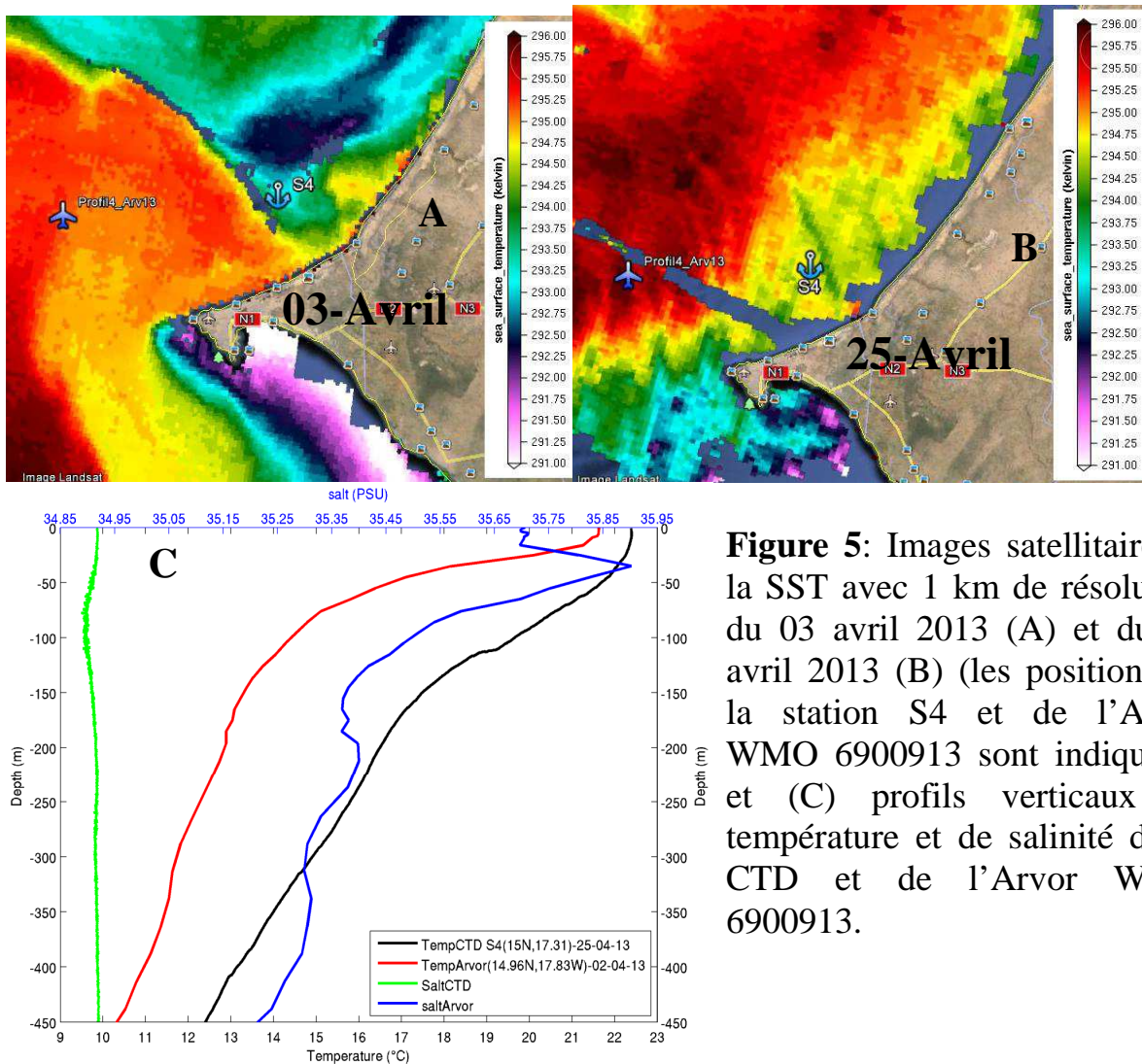


Figure 5: Images satellitaire de la SST avec 1 km de résolution du 03 avril 2013 (A) et du 25 avril 2013 (B) (les positions de la station S4 et de l'Arvor WMO 6900913 sont indiquées) et (C) profils verticaux de température et de salinité de la CTD et de l'Arvor WMO 6900913.

Suivant la profondeur, l'écart de température est assez faible (moins 1°C) dans les premiers 25 m. Cependant, la différence est plus significative ($\sim 5^{\circ}\text{C}$) dans la thermocline qui est plus diffuse dans S4. D'ailleurs, le déplacement vertical des isothermes du profil4 est très clair. Ce déplacement reflèterait l'effet de l'advection verticale, un terme qui contribue à l'évolution des profils dans la colonne d'eau stratifiée, mais seulement affecte faiblement la MLD, qui évolue principalement sous l'influence des flux de chaleur de surface. D'ailleurs, les SST du 03 avril 2013 montrent la signature d'un upwelling de part et d'autre de la presqu'île du Cap-Vert. Des structures de température et de salinité distinguées sont présentes aussi dans les profils Arvor, comme un maximum fort de salinité présent juste au-dessous de la MLD ou dans la partie supérieur de la thermocline (Figure 5C). Les flux verticaux de l'upwelling pourraient être alimentés par les eaux salées du sous courant équatorial qui transport des eaux salées de l'équateur vers le pôle nord.

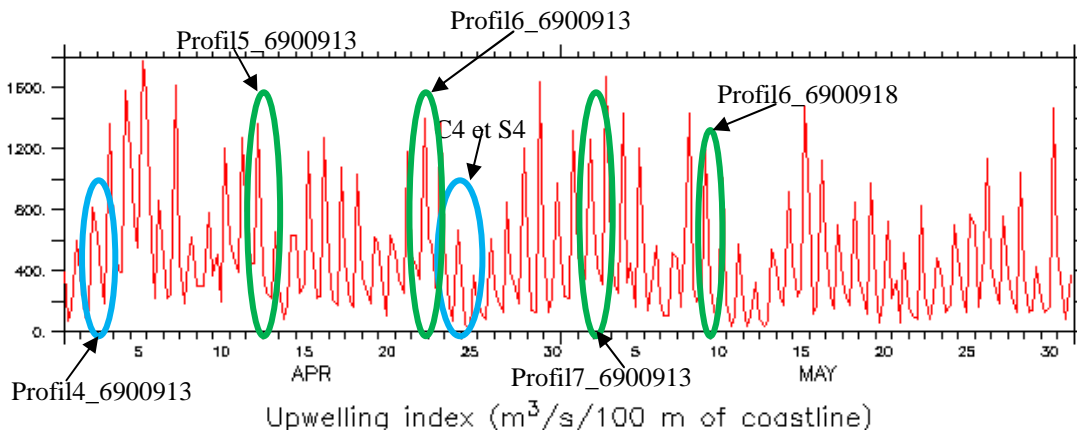


Figure 6 : Séries temporelles d'indice d'upwelling sur le point $14.5^{\circ}\text{N}-17.5^{\circ}\text{W}$. Les contours fermés indiquent les dates auxquelles les profils et les stations ont été réalisés. En vert les épisodes d'upwelling et en bleu les périodes de relaxation.

La Figure 7 montre les profils 5 et C4 de l'Arvor 6900913 et de la CTD respectivement et les SST du 12 avril 2013 et du 24 avril 2013. Les 2 profils sont presque sur la même latitude (15.30°N) ; par contre ils sont distancés de 62 km et le profil5 s'est produit 12 jours avant C4 (Table 1). La SST dans la zone C4 est plus chaude que celle dans la zone du profil5. La différence est l'ordre de 2.75°C (Figure 7c). Cet écart est aussi observé sur les SST satellites des panneaux A et B de la Figure 7. La SST froide dans zone du profil5 est causé par un gros filament qui, généré par l'upwelling détache de la côte et se déplace vers le sud-ouest. La Figure 6 montre que l'upwelling est significatif sur la grande côte d'où ce minimum de SST observé le 12 avril 2013. Par contre, le déplacement de la plume d'eaux chaudes vers le nord réchauffe la SST dans la zone C4 le 24 avril 2013 (Figure 7A). La profondeur de la thermocline et l'épaisseur de la MLD du profil5 sont assez faibles (~ 40 m et ~ 25 m) par rapport à celles de C4. Ceci s'explique par l'intensification de l'upwelling le 12 avril 2013 alors que le 24 avril 2013 l'upwelling est trop faible (Figure 6). A cela s'y ajoute que C4 a été effectué à 22h alors que le profil5 s'est produit à 18h. La thermocline est un peu diffuse dans C4 . L'écart de Température est plus important vers 50 m (6°C). Le maximum de salinité s'est produit dans la partie supérieure de la thermocline ou juste au-dessous de la MLD.

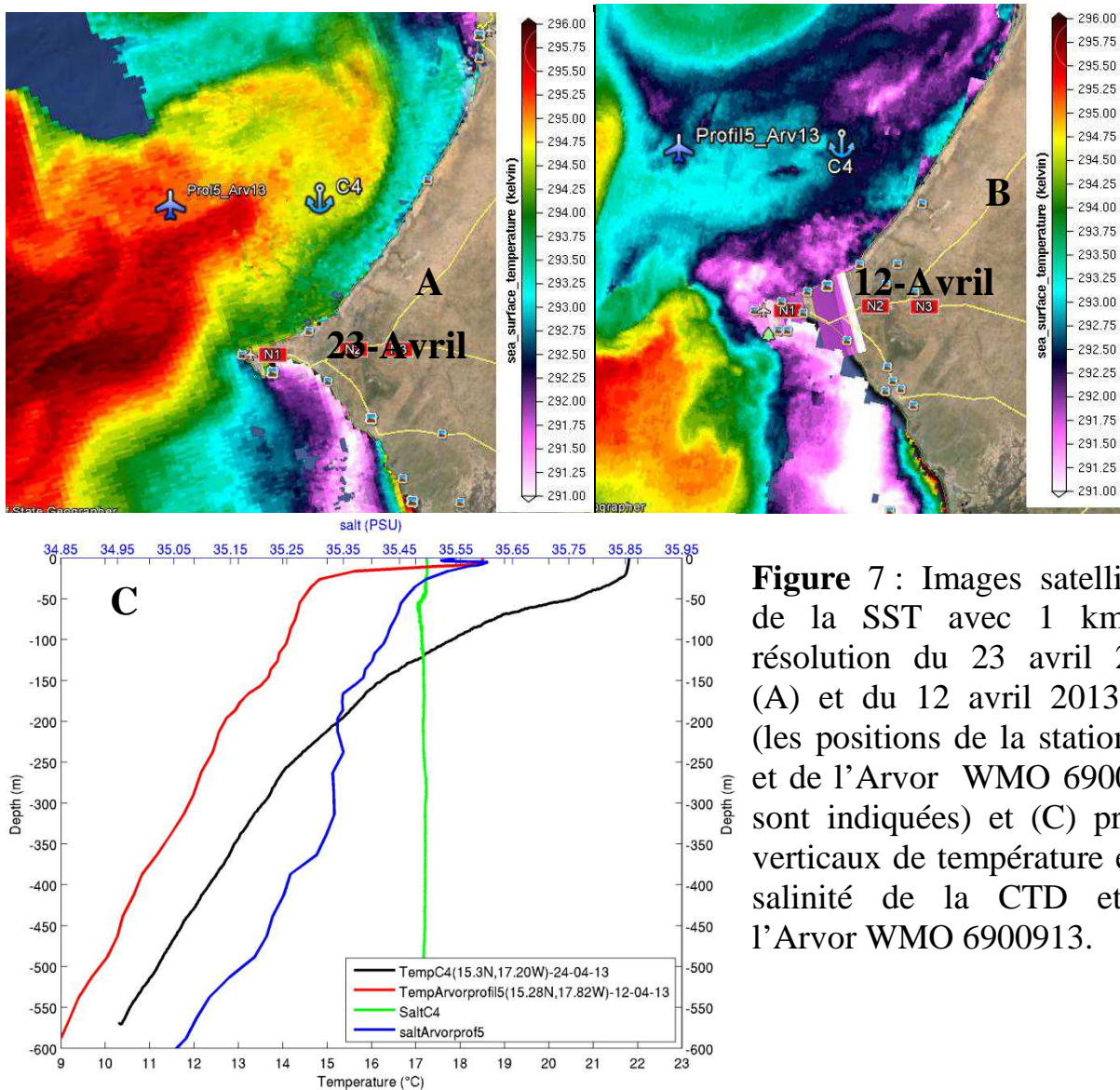


Figure 7 : Images satellitaire de la SST avec 1 km de résolution du 23 avril 2013 (A) et du 12 avril 2013 (B) (les positions de la station C4 et de l'Arvor WMO 6900913 sont indiquées) et (C) profils verticaux de température et de salinité de la CTD et de l'Arvor WMO 6900913.

Le profil 6 de l'Arvor 6900913 effectué le 22 avril s'est produit presque à la même période que C4. Ils sont séparés de 58 km et sont décalés de 2 jours. Ils sont représentés dans la Figure 8 avec les SST du 22 avril 2013. On remarque qu'ils ont non seulement la même allure mais aussi ils sont proches. Leur différence est presque constant dans les 40 premiers mètres ($\sim 0.5^{\circ}\text{C}$). Elle augmente progressivement jusqu'à la partie inférieure de la thermocline où elle atteint $\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ puis elle diminue assez faiblement. La SST du profil 6 est légèrement inférieure à celle de C4 (Figure 8B). Par contre, dans les Figures 7A et 8B, La SST dans la zone du profil 6 semble être plus chaude que celle dans la zone C4. Il se pourrait que la plume d'eaux chaudes allant vers le nord-est a atteint et a réchauffé C4 le 24 avril 2013 (pas d'image satellite ce jour) et que le filament venant de la côte (Figure 8a) a refroidit la zone du profil 6. D'ailleurs, dans la Figure 6 l'upwelling

est fort les 22 et 23 avril 2013 puis décroît significativement les 24 et 25 avril 2013 d'où leurs SST côtières froides et chaudes respectivement (Figures 5B, 7A et 8A). Les structures de température et de salinité sont distinguées, avec un maximum de salinité au-dessous de la MLD, vers 50 m.

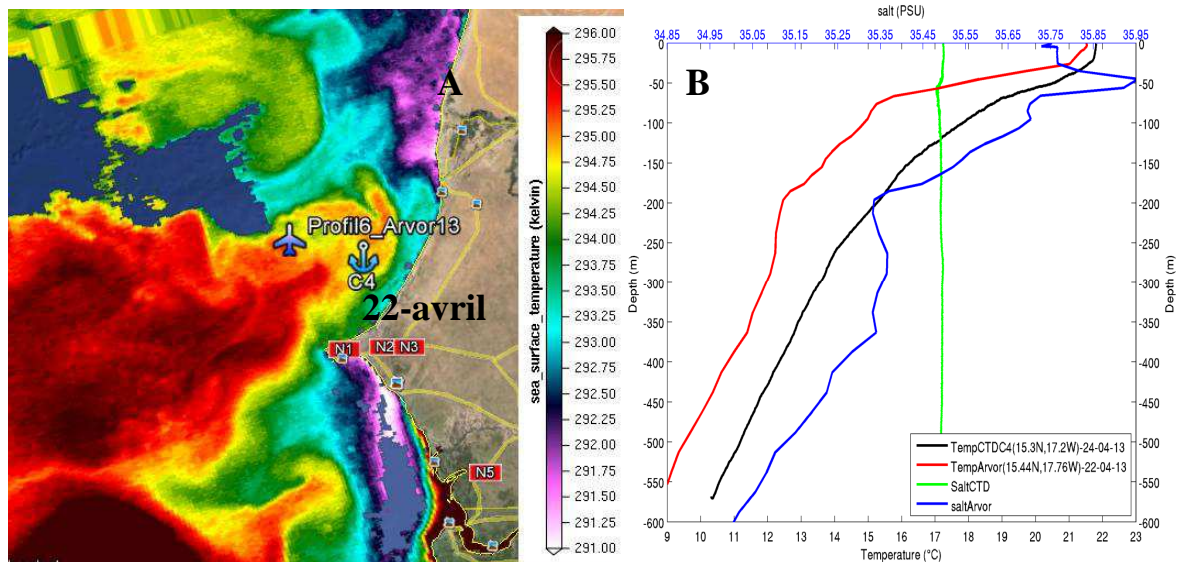


Figure 8 : (A) Images satellitaire de la SST avec 1 km de résolution du 22 avril 2013 (A) (les positions de la station C4 et de l'Arvor WMO 6900913 sont indiquées) et (B) profils verticaux de température et de salinité de la CTD et de l'Arvor WMO 6900913.

Dans la Figure 9 sont représentés les profils 7 et C4 de l'Arvor 6900913 et de la CTD respectueusement . Ils sont sur la même latitude (15.3°N) mais le profil 7 est plus à l'ouest à 40 km de C4. En plus, ils sont décalés de 8 jours (Table 1). Les deux profils présentent la même allure. Cependant, la SST de C4 est plus chaude que celle du profil 7. La différence est l'ordre d'environ 1°C . La Figure 6 montre un upwelling assez fort le 02 mai 2013 date du profil 7. Le filament généré au Cap-Vert transporte des eaux froides de l'upwelling vers le nord (Figure 9A). Par conséquent, il diminue la SST dans la zone du profil 7. La MLD de C4 est plus épaisse que celle du profil 7. On remarque un déplacement significatif de la thermocline du profil 7 en surface (50 m) alors que celle de C4 est environ 100 m de profondeur. Ce qui crée une différence importante de température dans la thermocline de 5.5°C .

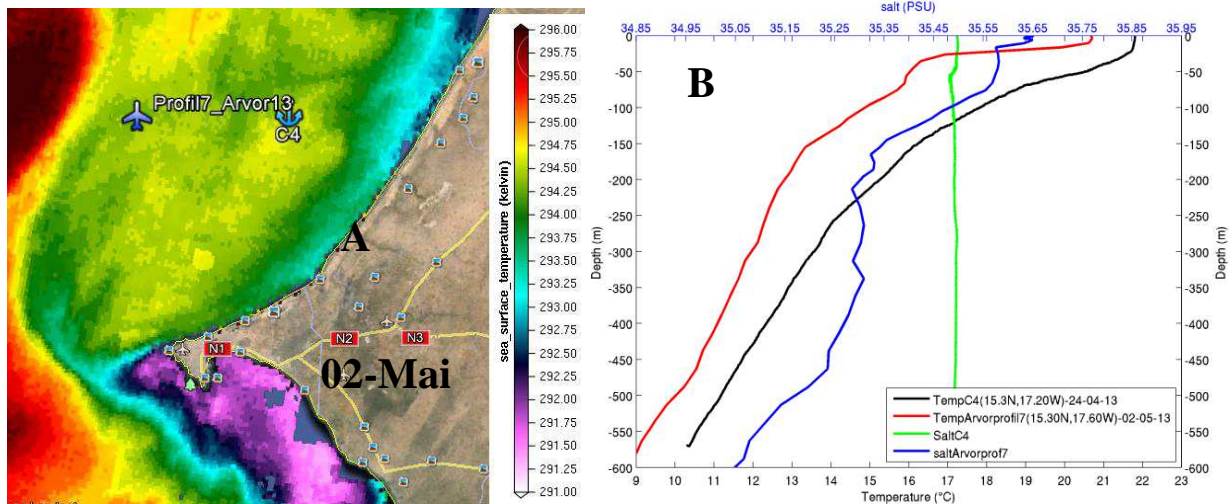


Figure 9 : (A) Images satellitaire de la SST avec 1 km de résolution du 02 Mai 2013 (les positions de la station C4 et de l'Arvor WMO 6900913 sont indiquées) et (B) profils verticaux de température et de salinité de la CTD et de l'Arvor WMO 6900913.

La Figure 10 montre les profils 6 et C4 de l'Arvor 6900918 et de la CTD respectivement. Le Profil 6 s'est produit le 09 mai 2013 donc 15 jours après C4 et il se situe proche de C4. En effet, La distance qui les sépare est environ 3 km. La SST du profil 6 est légèrement plus chaude que celle de la CTD ($\Delta \sim 0.3^\circ\text{C}$). On observe ce faible écart sur les champs de SST satellites (Figures 7A et 10A). Cependant, C4 présente une MLD plus profonde et une thermocline plus diffuse. L'écart est très significatif dans la thermocline (4°C) et s'affaiblit fortement vers 200 m.

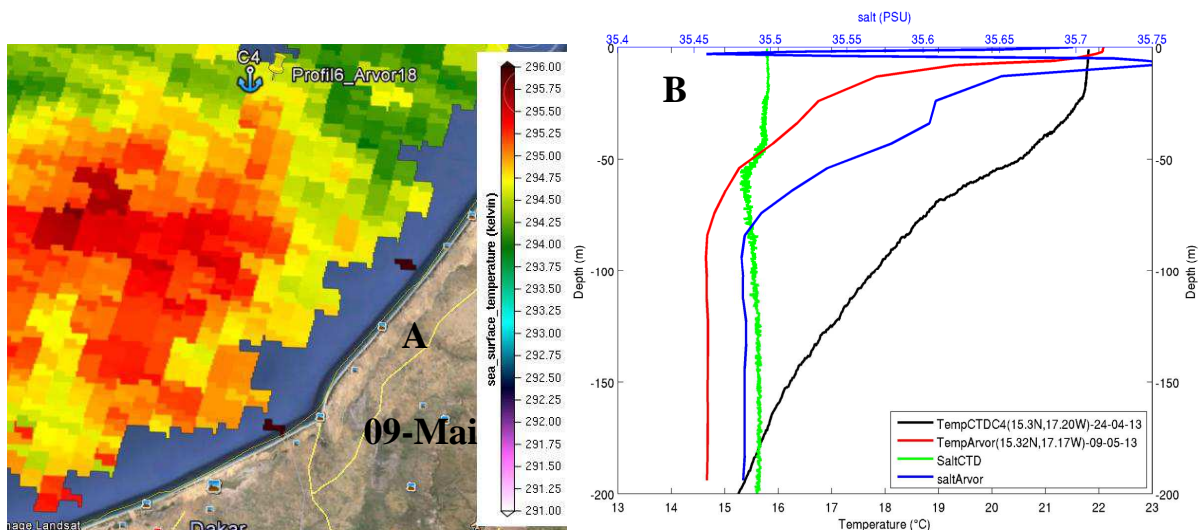


Figure 10 : (A) Images satellitaire de la SST avec 1 km de résolution du 09 Mai 2013 (les positions de la station C4 et de l'Arvor WMO 6900918 sont indiquées) et (B) profils verticaux de température et de salinité de la CTD et de l'Arvor WMO 6900918.

4. Conclusion

La CTD présente des profils verticaux de température comparable à ceux des deux Arvor. Par conséquent, les capteurs de température de la CTD ne présentent aucun dysfonctionnement. Les différentes observées entre les profils de température des Arvor et de la CTD sont liées aux séparations spatiales et temporelles de ces derniers. L'écart de température est plus important dans la thermocline qu'en surface. Tous les profils Arvor excepté le profil 6 de l'Arvor 60900918 présentent des SST plus froides que celles de S4 et C4 malgré leurs positions situées plus à ouest de ces dernières. Toutes les dates des profils Arvor correspondent avec des événements d'upwelling alors que S4 et C4 ont eu lieu en période de relaxation. Les profils verticaux de salinité de la CTD sont aberrants. Donc nous pouvons conclure que le capteur de conductivité de la CTD est défectueux.

5. Remerciements

Nous tenons à remercier Le directeur du LPAO-SF, Amadou Thierno Gaye et Alban Lazar qui ont coordonné l'organisation de la Campagne COCESII. Nous remercions aussi Malick Wade pour sa disponibilité en étant chef de mission et Bay Cheikh pour l'avoir aidé dans la mise en œuvre de cette Campagne COCESII. Merci également aux membres de l'équipage, Bernard et Michel Sambou pour nous avoir loué leur bateau et pour leur soutien aux activités à bord.

6. Références

Wade, M. and B. C. M'baye, 2013. Rapport de mission: Campagne Coces2 sur N/O Hermès, 23 au 25 avril 2013. 6 pages.