

**Ipsos Facto**

Bureau d'Étude et de Recherche  
Archéologie • Océanographie

# Projet MOMAR

---

## Analyse de la campagne *MELBA* et évaluation du modèle *CORSE 400m*

---

# **RAPPORT FINAL**

---

**5 MARS 2012**

**Vincent Faure,  
Julie Gatti,  
Nathaniel Bensoussan**

Contrat Ifremer N°2011 30530262  
Correspondant Ifremer : Sylvain Coudray  
Référence document : Rapport-MOMAR-v2.1

IPSO FACTO - Société Coopérative Participative A Responsabilité Limitée  
au capital variable minimum de 7500 euros  
37, rue Saint-Sébastien, 13006 Marseille – [www.ips-o.fr](http://www.ips-o.fr) – [contact@ips-o.fr](mailto:contact@ips-o.fr)  
SIRET 498 570 712 00022 – RSC Marseille 498 570 712 – code APE 7220 Z

# Sommaire

Sommaire.....	2
Préambule.....	5
1 Le modèle opérationnel CORSE 400m .....	6
1.1 Description de la chaîne de modélisation .....	6
1.2 Evaluation succincte du forçage météorologique .....	7
1.3 Conditions météorologiques Avril-Juin 2011.....	8
2 La campagne Océanographique MELBA.....	9
2.1 Description de la campagne .....	9
2.2 Traitement des données de campagne.....	10
2.2.1 Hydrologie.....	10
2.2.2 Courantologie .....	11
2.3 Analyse des données de campagne.....	18
2.3.1 Données Température/Salinité (CTD) .....	18
2.3.1 Données TSG .....	19
2.3.2 Données ADCP .....	22
3 Evaluation du modèle par les processus.....	26
3.1 Bibliographie.....	26
3.2 Exploitation des sorties du modèle.....	28
3.2.1 Caractéristiques générales.....	28
3.2.2 Focus sur le Canal de Corse .....	30
3.2.3 Cas d'un fort Mistral.....	31
4 Evaluation du modèle par les données .....	33
4.1 Température .....	33
4.1.1 Données CTD.....	33
4.1.2 Données satellites .....	35
4.2 Courants.....	41
4.2.1 Secteur du Cap Corse (Leg1).....	41
4.2.2 Secteur du canal de Corse – Bastia (Leg2A, Leg3A).....	42
4.2.3 Secteur du canal de Corse – Alistro (Leg2B).....	43
4.3 Conclusions.....	44
5 Avis d'expertise / Recommandations.....	45
5.1 Stratégies modélisations.....	45
5.1.1 Forçages météorologiques.....	45
5.1.2 Forçages aux frontières.....	45
5.1.3 Recommandations .....	45
5.2 Recommandations manipulations ADCP.....	46
5.2.1 ADCP tracté.....	46
5.3 Planification de futures campagnes de validation .....	47
Bibliographie.....	48

# Index des figures

Figure 1 : emprise du modèle CORSE400m .....	6
Figure 2: Evolution temporelle de la température à la station MétéoFrance de Bastia. En rouge, les données mesurées; en noir, la température simulée par le modèle MM5 d'ACRI-ST. Les deux séries ont été filtrées par une fenêtre de Hann de 2 jours. ....	7
Figure 3: Evolution temporelle de la pression atmosphérique, le flux solaire, les précipitations et la température, au milieu du Canal Corse. Valeurs simulées par le modèle MM5 (ACRI-ST), et filtrées par une fenêtre de Hann de 2 jours. ....	8
Figure 4: Evolution temporelle du vent au milieu du canal Corse. Valeurs simulées par le modèle MM5 (ACRI-ST), et filtrées par une fenêtre de Hann de 2 jours. ....	8
Figure 5 : Zone de travail des trois Legs MELBA .....	9
Figure 6: Positions des stations CTD de la campagne MELBA. La carte présente la température de surface du modèle CORSE au 4 Mai 2011 (9h00).....	11
Figure 7 : carte des trajets des trois Legs de la campagne MELBA avec zoom sur les Leg2 et Leg3 au Sud de l'île d'Elbe.....	12
Figure 8 : schéma fonctionnel des étapes de traitement des données ADCP en fonction de la configuration utilisée (se référer dans le texte pour les informations sur les différentes configurations). .	13
Figure 9 : cartes de la vitesse du navire (a et c) mesurée par l'ADCP en mode BT (en bleu) et déduite de la navigation GPS (en rouge) et des courants horizontaux (b et d) mesurés par l'ADCP à 35 m, avant (a et b) et après (c et d) correction de la source de cap. ....	14
Figure 10 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP à 35 m avec comme référence la vitesse navire BT en bleu et la vitesse navire GPS en rouge, a/ avant (zoom de la Figure 9d) et b/ après correction de cap.....	15
Figure 11 : séries temporelles des composantes zonales (haut) et méridiennes (bas) des courants absolus mesurés par l'ADCP le long du profil 55 du Leg 2. Chaque couleur correspond à une correction de cap différente (cf .....	16
Figure 12 : profils verticaux le long du profil 19 du Leg 1 de la corrélation moyenne, de l'intensité d'écho moyenne, de la vitesse verticale et du PG4. Le fond détecté par le mode BT de l'ADCP est représenté par un trait noir (b) ou blanc (a, c et d). ....	17
Figure 13 : profils verticaux de l'amplitude (haut) et de la direction (bas) des courants non corrigés (gauche) et corrigés (droite) mesurés par l'ADCP. ....	18
Figure 14: Profils de la température (°C) à chacune des stations CTD de la campagne MELBA. Le tracé rouge correspond aux données mesurées ; le tracé noir correspond à la température simulée par le modèle CORSE.....	19
Figure 15: Profils de la salinité (psu) à chacune des stations CTD de la campagne MELBA. Le tracé rouge correspond aux données mesurées ; le tracé noir correspond à la salinité simulée par le modèle CORSE.....	20
Figure 16 : cartes de la salinité (gauche) et de la température (droite) de surface mesurées par le thermosalinomètre de l'Europe pour chacun des 3 Legs.....	21
Figure 17 : profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 19 du Leg1.....	22
Figure 18 : profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 20 du Leg1.....	22
Figure 19 : profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 33 du Leg2.....	23
Figure 20 : profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 55 du Leg2. Les zones grisées correspondent aux mesures où les corrections de cap donnent des résultats opposés pour la composante méridienne. La ligne verticale en pointillés indique la limite Est du modèle CORSE. ....	23
Figure 21: profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 56 du Leg2. Les zones grisées correspondent aux mesures où les corrections de cap donnent des résultats opposés pour la composante méridienne. La ligne verticale en pointillés indique la limite Est du modèle CORSE. ....	24
Figure 22: profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 3 du Leg3. La ligne verticale en pointillés indique la limite Est du modèle CORSE.....	24

Figure 23 : carte des courants horizontaux mesurés par l'ADCP à 9m le long du profil 3 du leg3 sur laquelle est superposée la température de surface de la mer de l'image NARSST du 16 mai 2011 à 20h. ...	25
Figure 24 : Transport saisonnier dans le canal de Corse entre 1985 et 1998. Les saisons avec des données incomplètes ne sont pas indiquées (extrait de Vignudelli <i>et al.</i> , 2000). .....	26
Figure 25 : diagramme $\theta/S$ type des différentes masses d'eau rencontrées en été dans le Golfe du Lion (les faibles valeurs de S de AW sont dues aux apports du Rhône), issu de Conan <i>et al.</i> , 1998. ....	27
Figure 26:Température de surface ( $^{\circ}\text{C}$ ) et courants simulés ( $\text{m.s}^{-1}$ ), moyenne sur les mois d'Avril-Mai-Juin 2011. Droite : courants barotropes ; gauche : courants baroclines de surface.....	29
Figure 27 : Diagramme température/salinité à la station Canal Corse. Moyenne entre les mois Avril-Mai-Juin. Les lignes pointillées représentent les isopycnes (Voir position de la station sur la Figure 26)...	29
Figure 28 : Section de la vitesse méridienne ( $\text{m.s}^{-1}$ ) entre le Cap Corse et l'ile Capraia. Moyenne entre les mois Avril-Mai-Juin. (Voir position de la section sur la Figure 26) .....	30
Figure 29: Diagramme profondeur-temps de la vitesse méridienne simulée ( $\text{m.s}^{-1}$ ). Haut gauche : station proche de la côte Est du Cap Corse ; haut droite : station au milieu du passage Cap Corse et ile de Capraia. Bas : Station Canal de Corse (cf Figure 26). En dessous de chaque diagramme : vecteurs stress du vent à chacune des stations. Les séries temporelles ont été filtrées par une fenêtre de Hann de 2 jours. ....	31
Figure 30 : Gauche : température ( $^{\circ}\text{C}$ ) et courants ( $\text{m.s}^{-1}$ ) de surface simulés, le 20/06/2011 à 3h. Milieu : SST ( $^{\circ}\text{C}$ ) mesurée par le satellite NOAA19 à la même date. Droite : rotationnel du stress du vent le 19/06/2011 à 18h. Situation de fort Mistral.....	32
Figure 31: Profil des différences entre les températures mesurées et simulées (modèle CORSE). Les couleurs des courbes correspondent à chacune des stations. La courbe noire correspond à la moyenne des différences.....	34
Figure 32 : Profil des différences entre les salinités mesurées et simulées (modèle CORSE). Les couleurs des courbes correspondent à chacune des stations. La courbe noire correspond à la moyenne des différences.....	34
Figure 33: Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 6 Mai 2011 .....	35
Figure 34:Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 7 Mai 2011 .....	36
Figure 35:Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 8 Mai 2011 .....	36
Figure 36:Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 10 Mai 2011 .....	37
Figure 37:Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 16 Mai 2011 .....	37
Figure 38:Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 17 Mai 2011 .....	38
Figure 39: Moyenne de la SST ( $^{\circ}\text{C}$ ) sur les mois d'Avril-Mai-Juin 2011: à gauche le modèle <i>CORSE</i> ; à droite: satellites (valeurs de nuit uniquement). .....	38
Figure 40 : Comparaison entre la SST simulée (modèle CORSE) et mesurée par le satellite NOAA19, à la station Canal-Corse (cf Figure 26), sur la période Avril-Mai-Juin. Le cadre vert contient un certain nombre d'indicateurs statistiques (Allen et al, 2007, cf Annexe, §2).....	39
Figure 41: Carte spatiale des indicateurs statistiques comparant les valeurs mesurées (satellites) et simulées. A : différence absolue. B : %PBias. C : « Cost Function ». D : Coefficient de corrélation. Voir texte et Annexe pour plus d'informations. ....	40
Figure 42 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP (rouge) et simulés par le modèle CORSE (noir) à 20m (gauche) et à 50m (droite) de profondeur le long du profil 19 du Leg1. ....	41
Figure 43 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP (rouge) et simulés par le modèle CORSE (noir) à 20m (gauche) et à 41m (droite) de profondeur le long du profil 20 du Leg1.....	42
Figure 44 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP (rouge) et simulés par le modèle CORSE (noir) à 9m (gauche) et à 23m (droite) de profondeur le long du profil 33 du Leg2.....	42
Figure 45 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP (rouge) et simulés par le modèle CORSE (noir) à 9m (haut) et à 61m (bas) de profondeur le long du profil 3 du Leg3. ....	43
Figure 46 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP (rouge) et simulés par le modèle CORSE (noir) à 16m de profondeur le long des profils 55 (gauche) et 56 (droite) du Leg2.....	44

# Préambule

## ***Traitement des données de la campagne MELBA et évaluation du modèle CORSE400m pour la période avril-juin 2011***

Ifremer a développé dans le cadre du projet InterregIV MOMAR (Monitoring éco-toxicologique des zones littorales Toscane/Corse), un modèle hydrodynamique de la région CORSE à l'échelle 400m sur la base du code Mars3d. Le modèle a tourné d'avril à juin 2011, période couvrant la campagne en mer MELBA (Monitoring des Eaux littorales de Livourne à BASTIA), effectuée entre la Corse et la Toscane, qui a permis de recueillir des informations sur l'hydrologie et la courantologie dans ce secteur.

Un des objectifs du projet MOMAR pour Ifremer est de livrer au printemps 2012 un modèle régional pré-opérationnel calé sur un ensemble de mesures déjà réalisées dans la partie orientale (Canal de Corse).

Dans ce contexte, IPSO FACTO a été chargé par Ifremer d'analyser les données de la campagne MELBA, et de fournir une première évaluation du modèle *CORSE 400m* à partir des données et de la littérature. Cette étude porte sur la période Avril 2011-Juin 2011 pour les 3 secteurs principaux suivants : Cap Corse, Canal de Corse, Sud île d'Elbe.

Il s'agissait dans un premier temps de réunir l'ensemble des données et simulations. Puis d'effectuer le traitement des données courantologiques (ADCP tracté) et hydrologiques (CTD) de la campagne MELBA. L'évaluation du modèle à proprement parlé a été conduite en deux temps : évaluation par les processus et évaluation par les données, évaluation qualitative et/ou quantitative lorsque pertinente. On notera que bien que l'étude soit focalisée sur le secteur canal Corse, l'analyse de données satellitales a permis en outre une évaluation de la SST sur l'ensemble du domaine. Suite aux conclusions, nous livrons également quelques avis d'expertise et recommandations quant aux stratégies de modélisation et d'acquisition de données en vue de futures campagnes de validation.

### **REMERCIEMENTS**

*Nous remercions l'équipe du CERSAT (IFREMER, Plouzané, France) et Ocean & Sea ice SAF (OSI SAF) qui ont produit les images satellites utilisées dans ce rapport. Nous remercions aussi le centre de données CORIOLIS pour la fourniture des données TSG de l'Europe. Nos remerciements s'adressent également à Ivane Pairaud (IFREMER, LERPAC) et Loïc Michel (Teledyne RDI, France) pour leur aide précieuse pour l'étape de correction de cap des données d'ADCP tracté. Nous remercions également METEOFRANCE pour la mise à disposition des relevés synoptiques hebdomadaires (site internet : <http://france.meteofrance.com/france/observations> ).*

# 1 Le modèle opérationnel CORSE 400m

## 1.1 Description de la chaîne de modélisation

Dans le cadre de MOMAR, la surveillance et le monitoring de la qualité des eaux nécessitent le développement d'un modèle de courantologie suffisamment précis dans la zone comprise entre la Corse, le littoral Toscan et le Nord de la Sardaigne. Ifremer a donc développé le modèle CORSE400m basé sur le code MARS3D (Cf. Modèle Mars3d © Ifremer) couvrant la région Corse jusqu'à l'île de Capraia à l'Est et jusqu'au bord du plateau continental à l'Ouest (Figure 1).

Le modèle CORSE400m possède un maillage de 400m de résolution horizontale, et une répartition sur 30 niveaux sigma sur la verticale. Il fournit toutes les 3 heures des résultats de T°, S, U, V sur ce maillage. Il est forcé aux frontières par le modèle d'Ifremer MENOR de résolution 1,2km et couvrant la Méditerranée Nord Occidentale. Ses forçages atmosphériques sont fournis par MM5-ACRI. Cette chaîne de modélisation est *opérationnelle*, ce qui signifie que les forçages météorologiques et aux frontières sont des prévisions, et non des ré-analyses.

Au cours de cette étude, nous nous sommes intéressés à la période du 01/04/2011 au 30/06/2011. Les fichiers de sorties des simulations opérationnelles CORSE et MENOR ont été téléchargés par nos soins sur le ordinateur de l'Ifremer (caparmor), ainsi que les fichiers de sorties du modèle MM5 (ACRI). Le volume de données ainsi récupérées est d'environ 200Go.

Pour les sorties MARS3D, chacun de ces fichiers contient un seul *record* : afin de faciliter le traitement des ces données, les fichiers ont été concaténés en un seul fichier. Ce fichier sera disponible sur le disque dur fourni par l'Ifremer (champs\_cors\_201104-06.nc).

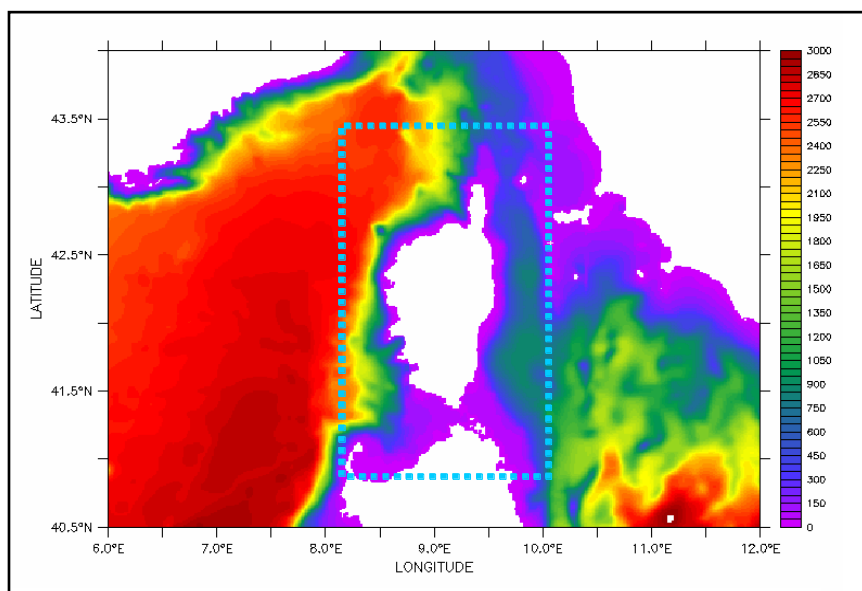


Figure 1 : emprise du modèle CORSE400m

## 1.2 Evaluation succincte du forçage météorologique

Avant d'analyser les sorties du modèle hydrodynamique CORSE, il est important de savoir si le modèle atmosphérique fournit des sorties pertinentes sur la zone d'étude, pour la période considérée.

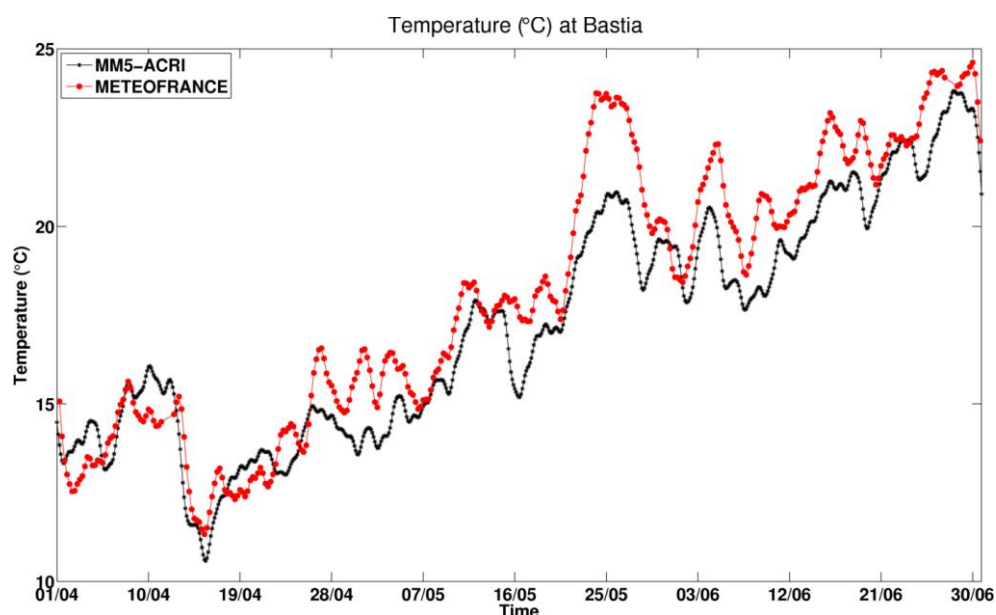
Nous avons utilisé les données synoptiques de MétéoFrance (données toutes les 6h).

Les observations disponibles à la station météorologique de Bastia ont été traitées afin de les comparer au modèle MM5-ACRI.

Le Tableau 1 présente une comparaison entre les données observées et simulées. La dynamique de la température apparaît très bien reproduite par le modèle, avec un coefficient de corrélation de 0.94 (cf Figure 2); cependant, la température simulée est en moyenne trop froide, avec un biais d'environ 1.2°C. Concernant le vent, les valeurs simulées sont beaucoup moins en adéquation avec le modèle : il faut cependant relativiser cette comparaison car la position terrestre de la station génère certainement des processus locaux que le modèle ne peut reproduire.

**Tableau 1: Comparaison entre les données METEOFRACTE et le modèle MM5 (ACRI-ST) à la station de Bastia, sur la période du 01/04/2011 au 30/06/2011.**

	Température (°C)	Direction du vent (°)	Intensité du vent (m.s <sup>-1</sup> )
Coefficient de corrélation	0.94	0.14	0.16
Moyenne des différences absolues	1.60	120.47	1.75
Biais (Jour)	1.48	-75.42	0.6
Biais (Nuit)	0.93	9.69	-1.30



**Figure 2: Evolution temporelle de la température à la station MétéoFrance de Bastia. En rouge, les données mesurées; en noir, la température simulée par le modèle MM5 d'ACRI-ST. Les deux séries ont été filtrées par une fenêtre de Hann de 2 jours.**

### 1.3 Conditions météorologiques Avril-Juin 2011

Les Figure 3 et Figure 4 présentent les conditions météorologiques (modèle ACRI-MM5) à une station au centre du Canal Corse, pour la période d'Avril à Juin 2011.

On constate un net réchauffement de la température de surface, couplé à une augmentation du flux solaire. La pluie est très faible (trois épisodes en trois mois).

Le vent ne montre pas de tendances particulières, et présente des alternances marquées entre fort vent du Sud (Sud-Est généralement) et vent de Nord.

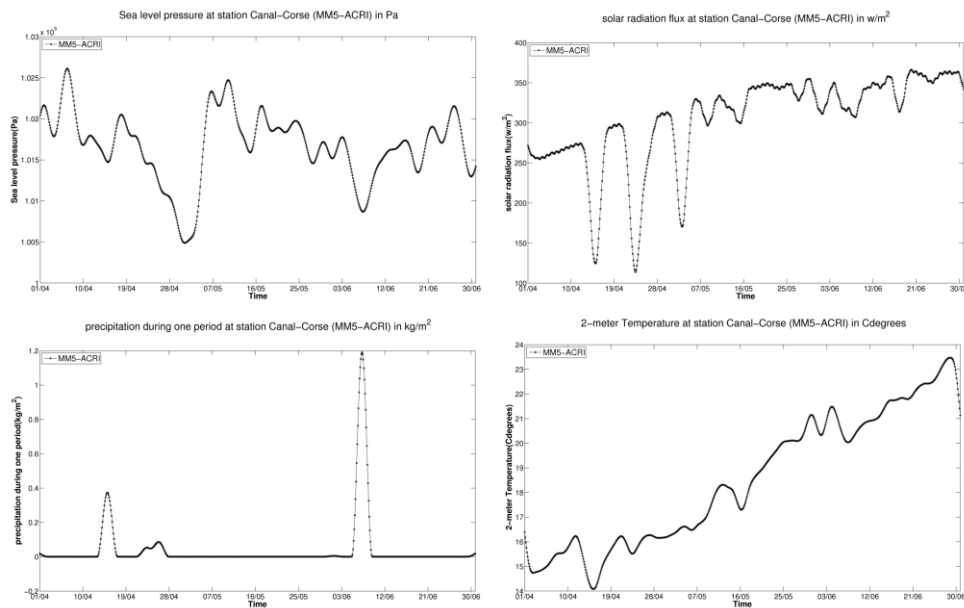


Figure 3: Evolution temporelle de la pression atmosphérique, le flux solaire, les précipitations et la température, au milieu du Canal Corse. Valeurs simulées par le modèle MM5 (ACRI-ST), et filtrées par une fenêtre de Hann de 2 jours.

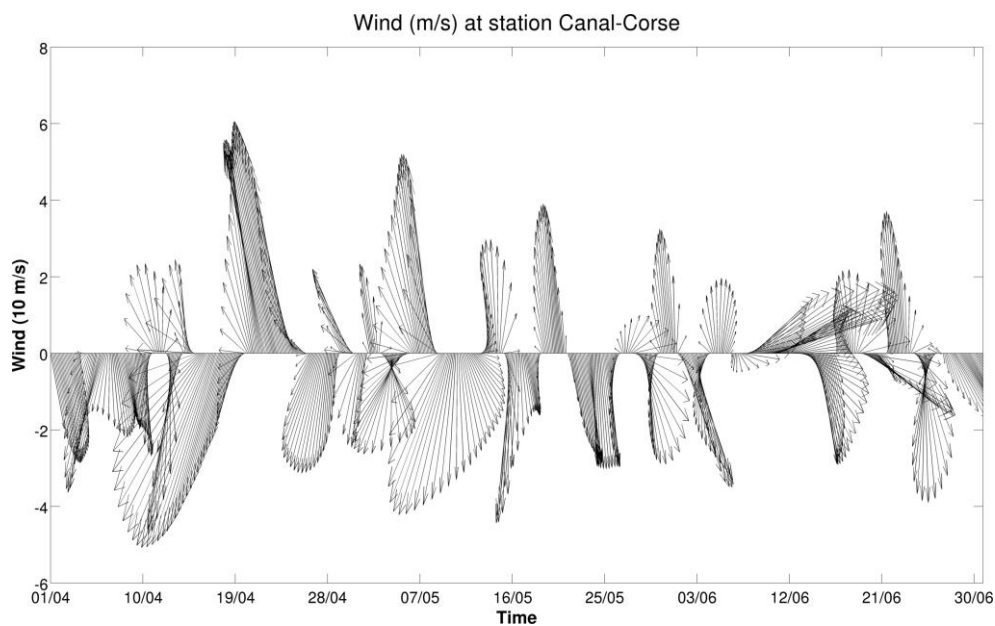


Figure 4: Evolution temporelle du vent au milieu du canal Corse. Valeurs simulées par le modèle MM5 (ACRI-ST), et filtrées par une fenêtre de Hann de 2 jours.



## 2 La campagne Océanographique MELBA

La campagne MELBA entre dans le cadre du programme MOMAR dont l'objectif est de développer des approches originales pour la surveillance de la qualité des eaux côtières dans les trois régions Toscane, Corse et Sardaigne.

### 2.1 Description de la campagne

La campagne MELBA s'est déroulée à bord du navire océanographique Europe du 1<sup>er</sup> au 17 mai 2011 en trois Legs successifs d'une semaine chacun, dans une zone maritime comprise entre le littoral Est-Corse et la côte italienne (notamment autour de l'île d'Elbe et de l'Archipel Toscan). Elle visait en priorité à enregistrer une série de profils verticaux des courants dans les trois zones identifiées sur la Figure 5 ci-après en effectuant des radiales d'île à île d'une journée environ.

Le premier Leg dans la zone Livourne-Gorgona-Capraia-Elbe permet de réaliser des profils de courant à l'aide d'un ADCP 300khz monté sur une perche solidaire du navire, et d'effectuer quelques profils verticaux de CTD.

Le second Leg dans la zone Bastia-Canal de Corse-Elbe procède aux essais de la charge utile AUV-ADCP mise en œuvre conjointement à un ADCP remorqué (poisson latéral à l'Europe, en sub-surface -2m) afin d'effectuer des coupes du Canal de Corse en plusieurs points et vérifier la stratification ainsi que l'amplitude verticale du courant Est-Corse.

Le troisième Leg dans la zone Elbe-Canal de Piombino- Montecristo- Alistro est dédié aux essais de la configuration ADCP-Perche + ADCP-AUV sur la même verticale (fonds de 100m, proches des côtes) pour vérifier l'absence d'interférences et pour la qualification comparative des données.



Figure 5 : Zone de travail des trois Legs MELBA

## 2.2 Traitement des données de campagne

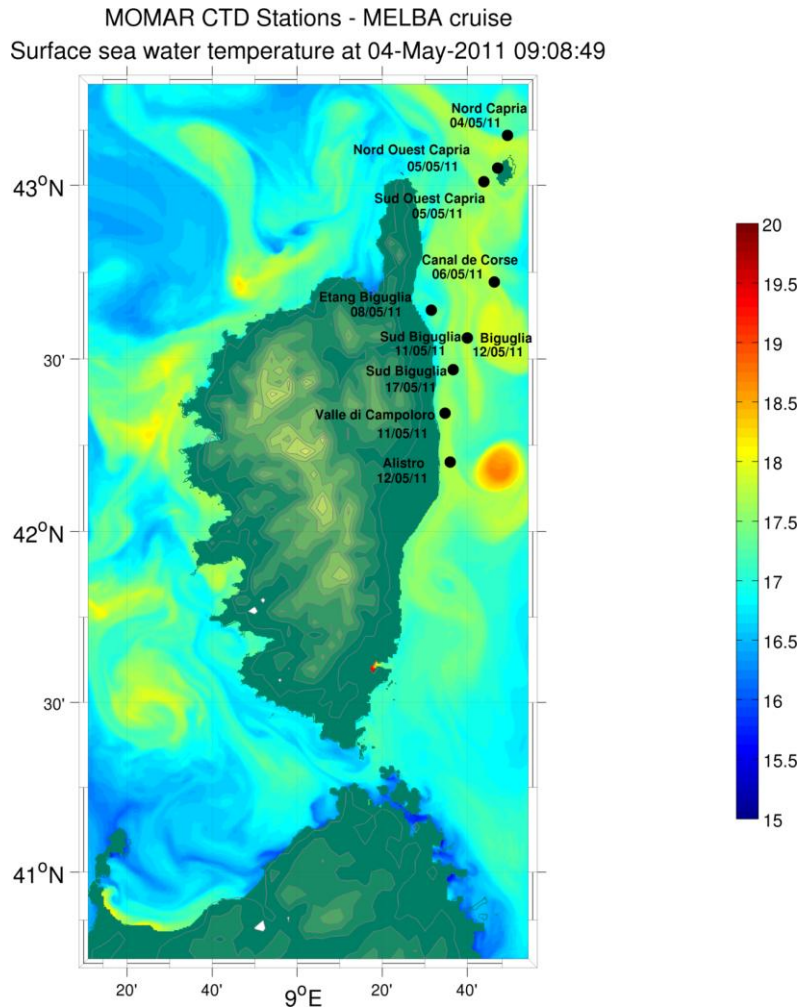
### 2.2.1 Hydrologie

Plusieurs types de données hydrologiques ont été acquis lors de la campagne MELBA entre le 1er et le 17 mai 2011.

Une dizaine de profils verticaux de températures/salinité ont été effectués par une **CTD** mise à l'eau depuis l'Europe. Les profils analysés dans cette étude correspondent à ceux présents sur la grille du modèle CORSE (cf Figure 6). Les fichiers bruts produits par la sonde SEABIRD 19plus v2 ont été traités par l'Ifremer suivant la procédure classique détaillée par SEABIRD, afin de produire des fichiers ASCII directement utilisables. Sur l'ensemble des fichiers, les valeurs de salinité sur les premiers mètres semblent incorrectes (trop faibles) : nous avons décidé de supprimer les valeurs issues du premier mètre dans cette étude. Un fichier EXCEL résumant les mesures CTD a été construit, listant les stations par lieu, position GPS, date/ heure de mesures, et nom du fichier de résultats. Il est disponible sur le disque dur fourni par l'Ifremer.

Des mesures de température et salinité de surface (**TSG**) sont réalisées par le navire l'Europe avec une sonde SBE21 située sous la coque du navire (~3,50m). Ces données sont acquises dès que le navire sort du port et le long des divers trajets de campagne ou de transit. Elles sont enregistrées en temps réel ou quasi-réel dans la base de données CORIOLIS. Nous avons récupéré, via ftp, le fichier netcdf annuel correspondant aux mesures de l'Europe en 2011. Une sélection spatio-temporelle des données est alors réalisée pour analyser les mesures faites par l'Europe lors de la campagne MELBA dans la zone géographique couverte par le modèle CORSE. Bien que nous ne sélectionnons que les données corrigées et possédant un indice de qualité égal à 1 (« Good data »), 2 (« probably good data ») ou 5 (« value changed »), nous avons dû supprimer certaines données aberrantes par rapport aux données voisines (possibles saletés ponctuelles dans le circuit du thermosalinomètre). Certaines données du Leg 3 sont manquantes (trajets PP3 et PP11, Tableau 2), sans doute à cause d'un problème de remise en marche du thermosalinomètre.

Des **images satellites** de la température de surface de la mer (4 par jour selon la couverture nuageuse et d'une résolution spatiale de 2 km) sont traitées quotidiennement par le CERSAT à IFREMER (projet Ocean & Sea ice SAF). Avec le radiomètre imageur AVHRR, embarqué sur les satellites de la NOAA et METOP-A, la détection des rayonnements émis par la Terre et l'atmosphère s'opère dans 5 canaux correspondant à des bandes spectrales allant du visible à l'infrarouge thermique. La température de surface est obtenue précisément par une combinaison des longueurs d'onde des canaux 4 et 5 (10 à 12 micromètres), correspondant à l'infrarouge thermique. Les images composites (combinaisons des canaux) sont disponibles par téléchargement depuis un site ftp de l'Ifremer. Elles sont utilisées dans cette étude en vue d'une validation quantitative et qualitative du modèle CORSE. Seules les images de nuit sont exploitées (une image NOAA-19 à 3H00 et une image METOP-A à 20H00) pour éviter le réchauffement trop important de la couche de peau de surface de la mer lors de temps calmes et ensoleillés. De même, seuls les pixels des images satellites avec un degré de confiance strictement supérieur à 3 sont analysés dans cette étude.



**Figure 6:** Positions des stations CTD de la campagne MELBA. La carte présente la température de surface du modèle CORSE au 4 Mai 2011 (9h00).

### 2.2.2 Courantologie

Des profils de courants ont été réalisés par un ADCP 300kHz (tracté ou sur perche) à partir du navire Europe entre le 1er et le 17 mai 2011. Chaque profil d'une durée de quelques heures donne la direction et l'amplitude du courant mesuré depuis la sub-surface jusqu'à 80m de profondeur le long de différentes radiales situées dans le Canal de Corse, au Nord et au Sud de l'île d'Elbe et au large d'Alistro (Figure 7). Certains profils complémentaires ont été réalisés par engin AUV.

Ces données (cf Tableau 2) acquises selon différents protocoles ont nécessité une expertise importante pour leur exploitation et la définition de plusieurs schémas d'analyse (Figure 8). Elles sont traitées en plusieurs étapes, décrites ci-dessous, pour chacun des trois Legs et par type de support ADCP (sur perche ou sur poisson).

Campagne MELBA - 3 au 17 mai 2011 - Trajets ADCP perche/poisson

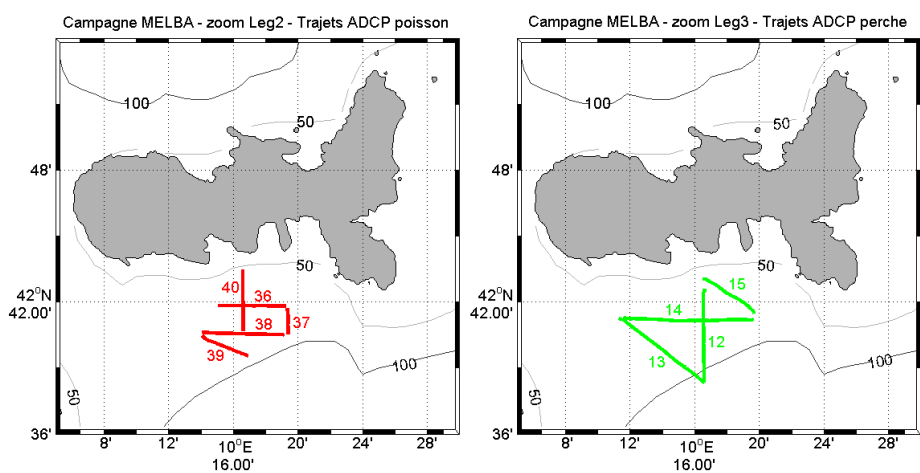
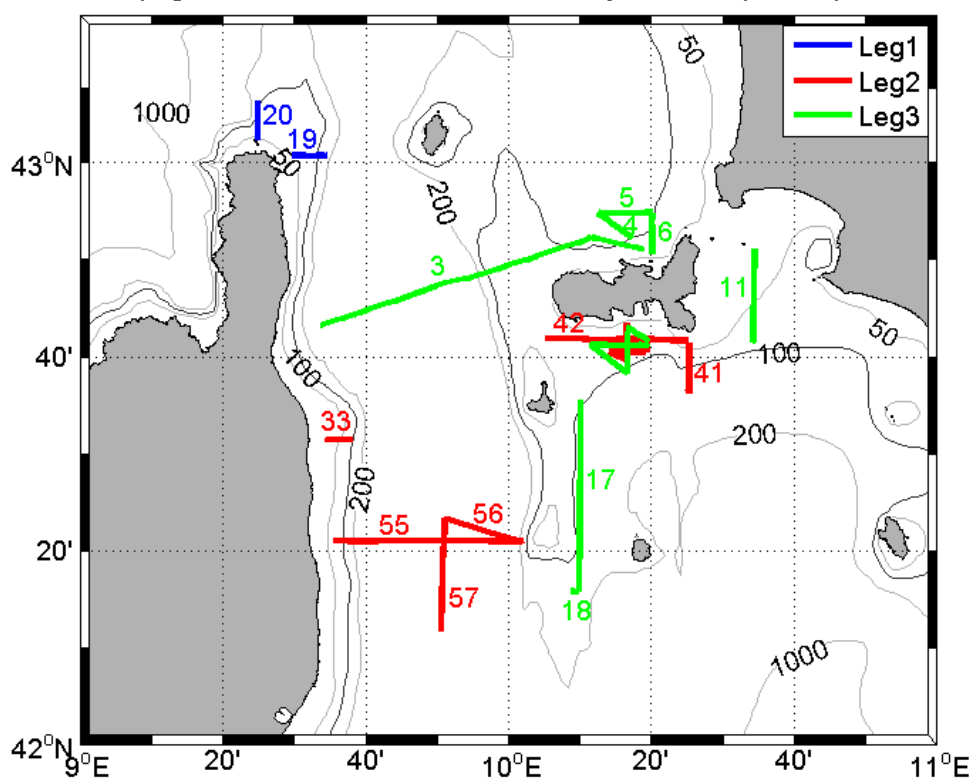
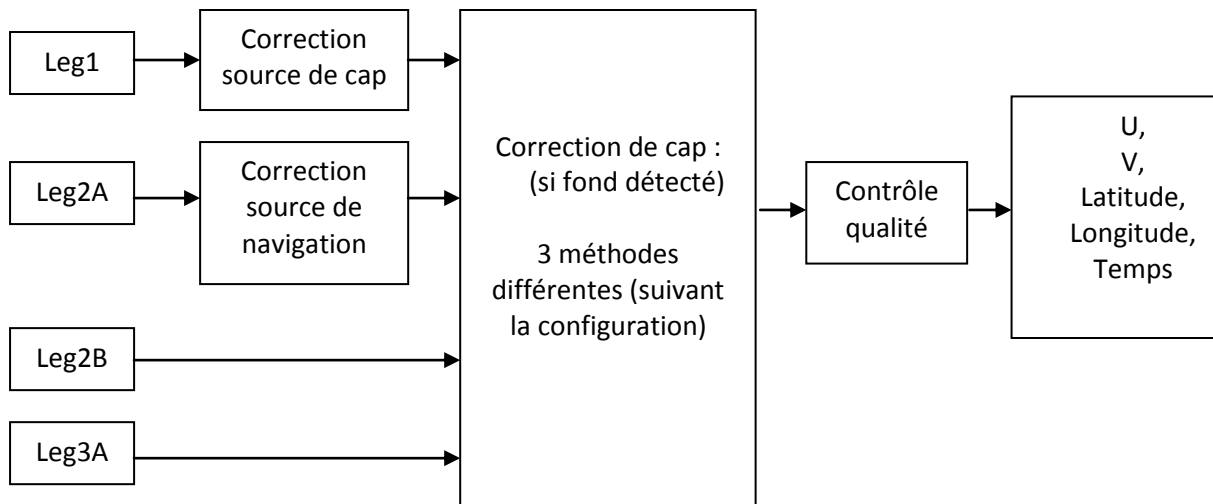


Figure 7 : carte des trajets des trois Legs de la campagne MELBA avec zoom sur les Leg2 et Leg3 au Sud de l'île d'Elbe.

	Profils
Leg 1	P19 et P20
Leg 2	P33, P36 à P42, P55 à P57
Leg 3	PP3 à PP6, PP11 à PP15, PP17 et PP18

Tableau 2 : résumé des données ADCP traitées pour la campagne MELBA.

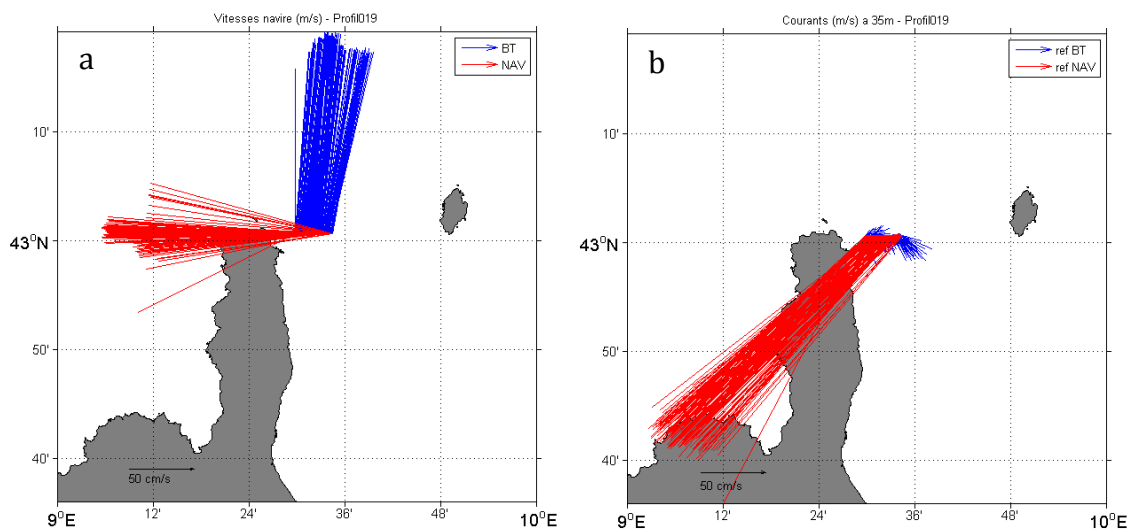


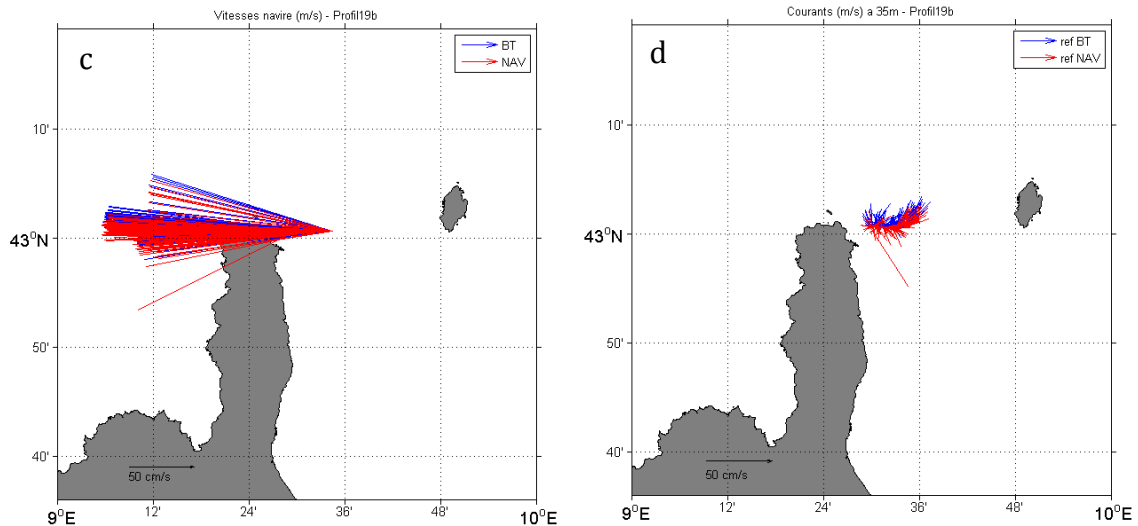
**Figure 8 : schéma fonctionnel des étapes de traitement des données ADCP en fonction de la configuration utilisée (se référer dans le texte pour les informations sur les différentes configurations).**

### 2.2.2.1 Correction de la source de cap et/ou de navigation :

Pour le Leg 1, lors de l'enregistrement des données à bord de l'Europe, une mauvaise source de cap a été indiquée dans VmDas. En effet, HDG était choisi comme source de cap alors qu'aucun appareil fournissant une trame HDG n'était connecté au PC d'acquisition. La conséquence est qu'un cap de  $0^\circ$  est utilisé pour projeter dans le repère terrestre les vitesses relatives et la vitesse du navire (en mode Bottom-Track, BT) mesurées par l'ADCP. Le long du profil 19 du Leg 1, parcouru d'Est en Ouest par l'Europe (cf vitesse navire GPS en rouge sur la Figure 9a), la vitesse du navire mesurée en BT par l'ADCP (en bleu sur la Figure 9a) est en effet anormalement dirigée vers le Nord.

Tous les profils du Leg1 ont alors été retraités par nos soins avec VmDas en utilisant le compas magnétique interne de l'ADCP comme source de cap, à défaut d'une meilleure source disponible. Ainsi, après correction, la vitesse navire mesurée en BT est cohérente avec la vitesse navire GPS (Figure 9c) et les courants absolus (Figure 9b, d) sont corrigés en direction lorsque la vitesse navire de référence est celle du BT, et en amplitude et direction lorsque cette dernière est celle du GPS.





**Figure 9** : cartes de la vitesse du navire (a et c) mesurée par l'ADCP en mode BT (en bleu) et déduite de la navigation GPS (en rouge) et des courants horizontaux (b et d) mesurés par l'ADCP à 35 m, avant (a et b) et après (c et d) correction de la source de cap.

Au début du Leg 2 (profil 33), lors de l'enregistrement des données à bord de l'Europe, aucune source de navigation n'a été précisée dans l'onglet NAV de VmDas alors que le PC d'acquisition recevait bien des informations d'un GPS. Le profil P33 a alors été retraité par nos soins avec VmDas en cochant les trames GGA et VTG dans l'onglet NAV pour avoir les latitudes et longitudes de chaque mesure ADCP, ainsi que la vitesse du navire déduite des coordonnées GPS.

#### 2.2.2.2 Correction de l'erreur de « désalignement » de cap:

Lors de la campagne MELBA, quatre configurations différentes ont été utilisées pour les mesures par ADCP :

- 1- ADCP sur perche avec le cap fourni par le compas magnétique interne de l'ADCP (Leg1),
- 2- ADCP sur poisson avec le cap fourni par le compas magnétique interne de l'ADCP (Leg2A),
- 3- ADCP sur poisson avec le cap fourni par le gyrocompas de l'Europe (Leg2B),
- 4- ADCP sur perche avec le cap fourni par le gyrocompas de l'Europe (Leg3).

Lorsque le cap utilisé par VmDas est celui fourni par le compas de l'ADCP (configurations 1 et 2), il y a deux erreurs à corriger : la déclinaison magnétique et l'erreur propre du compas.

Lorsque le cap utilisé par VmDas est celui fourni par le gyrocompas du navire (configurations 3 et 4), il y a une erreur de désalignement à corriger entre le repère lié à l'ADCP (axe du faisceau 3) et le repère lié au navire.

Pour corriger ces erreurs liées au cap, une procédure comparant la route du Bottom-Track et la route de fond du GPS est appliquée par nos soins aux mesures acquises par l'ADCP. Elle consiste à calculer le décalage en degrés entre la route BT et la route GPS et à faire pivoter de cet angle les vecteurs vitesses mesurés par l'ADCP pour les projeter dans le repère lié à la source de cap et/ ou le repère terrestre par rapport au Nord géographique.

Lorsque l'ADCP est en mouvement par rapport à sa source de cap (configuration 3, profils 55 à 57), une procédure particulière doit être appliquée pour corriger l'erreur de



cap non constante due à l'hydrodynamique propre du poisson, se référer à Teledyne RDI.

Les améliorations apportées par la correction de cap sont illustrées sur la Figure 10 pour l'exemple précédent du profil 19 du Leg1. Un important décalage était observé entre les courants absolus utilisant la vitesse navire BT et la vitesse navire GPS comme référence (Figure 10a). Après avoir corrigé d'un angle de  $-2.8^\circ$  les courants mesurés par l'ADCP, nous obtenons une bonne correspondance entre les courants absolus en référence GPS et BT (Figure 10b).

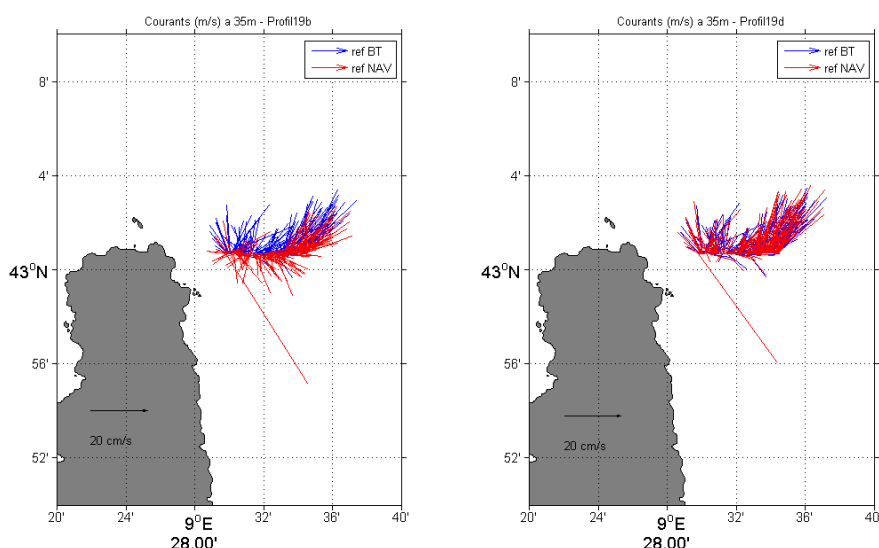


Figure 10 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP à 35 m avec comme référence la vitesse navire BT en bleu et la vitesse navire GPS en rouge, a/ avant (zoom de la Figure 9d) et b/ après correction de cap.

Pour les profils du Leg2B (55 à 57), outre la difficulté de correction liée à la configuration de l'ADCP en mouvement par rapport à sa source de cap, il n'y a que très peu de mesures pour lesquelles l'ADCP détecte le fond et donc avec lesquelles nous pouvons calculer la correction de cap. Ces profils ont en effet été réalisés sur des fonds plus profonds que la limite de portée de l'ADCP tracté par le poisson.

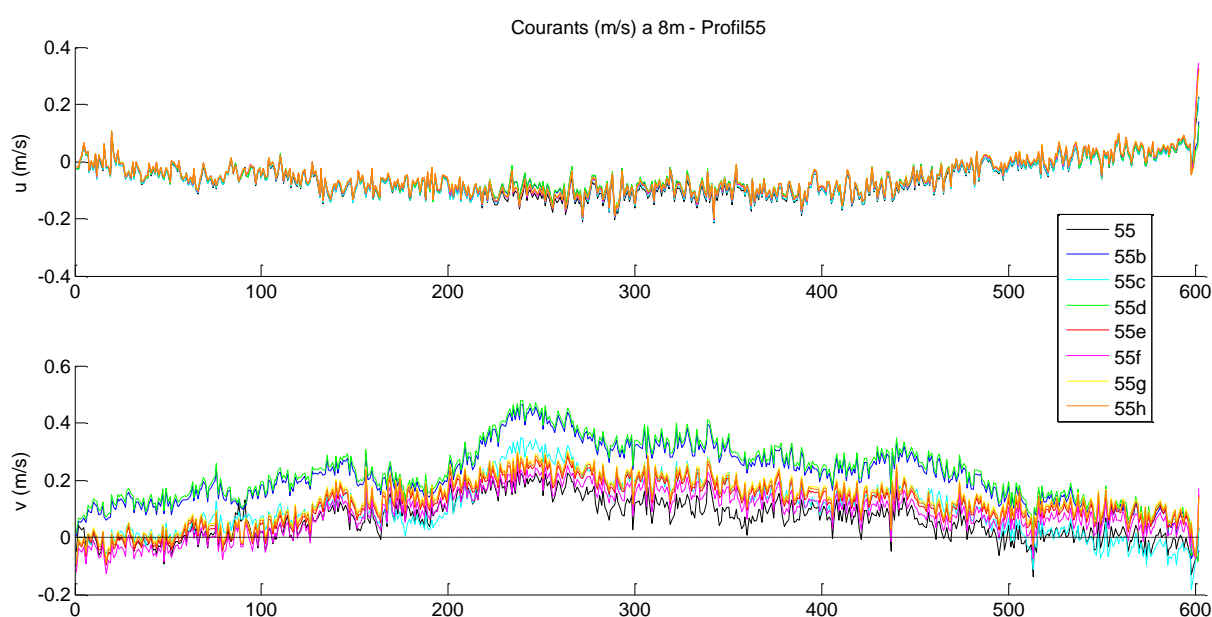
**Le profil 57**, pour lequel le fond n'est jamais détecté, **ne peut donc pas être analysé dans cette étude**. Pour les profils 55 et 56, des corrections de cap différentes (cf Tableau 3) sont obtenues suivant que tout le profil ou parties des profils où le fond est détecté sont pris en compte, et suivant la source de cap utilisée.

Profils	Source de cap : HDT			Source de cap : compas ADCP		
	55b	55c	55d	55f	55g	55h
Correction de cap	+1,6°	-1,5°	+2°	-0,8°	+0,5°	+0,3°
RMSu	0,0255	0,0285	0,0266	0,0514	0,0464	0,0471
RMSv	0,1041	0,0721	0,1146	0,0551	0,0325	0,0334

Tableau 3 : corrections de cap et RMS effectuées pour le profil 55 du Leg2 en fonction de la source de cap et de la prise en compte de différentes sections du profil (entier, début ou fin). La RMS est l'erreur quadratique moyenne entre la vitesse du navire mesurée en BT et celle mesurée par le GPS.

La Figure 11 montre que les écarts les plus importants entre les différentes corrections sont obtenus sur la composante méridienne des courants absolus. Or, les erreurs RMS (Tableau 3) sont moindres pour la vitesse méridienne du navire avec les profils utilisant le compas magnétique de l'ADCP comme source de cap. Le long du profil Ouest-Est 55 (avec le traitement 55g minimisant RMSv), il semble qu'un fort courant dirigé vers le Nord soit présent sauf en début de profil où un courant côtier semble dirigé vers le Sud.

Etant donné le faible nombre de mesures avec lequel les corrections de cap sont calculées et qu'aucun critère objectif ne permette de décider quelle correction de cap est la bonne, **les profils 55 et 56 ne peuvent pas non plus être analysés de manière quantitative dans cette étude**. Seule la présence d'un courant dirigé vers le Nord-Ouest entre les longitudes 9,66°E et 9,96°E (du 100<sup>ème</sup> au 500<sup>ème</sup> point de mesure) pourra être évaluée dans le modèle CORSE400m.



**Figure 11** : séries temporelles des composantes zonales (haut) et méridiennes (bas) des courants absolus mesurés par l'ADCP le long du profil 55 du Leg 2. Chaque couleur correspond à une correction de cap différente (cf Tableau 3). Les séries 55 et 55e correspondent aux courants absolus non corrigés avec comme source de cap respectivement la trame HDT de l'Europe et le compas magnétique de l'ADCP.

Dans ce qui suit, les courants absolus utilisant comme référence de vitesse navire celle mesurée par le BT sont privilégiés (quand ceux-ci existent) par rapport à ceux utilisant la vitesse navire GPS comme référence. En effet, dans le premier cas, les courants relatifs et la vitesse navire de référence sont mesurés dans le même repère ; il y a donc moins de source d'erreur possible sur les courants absolus.

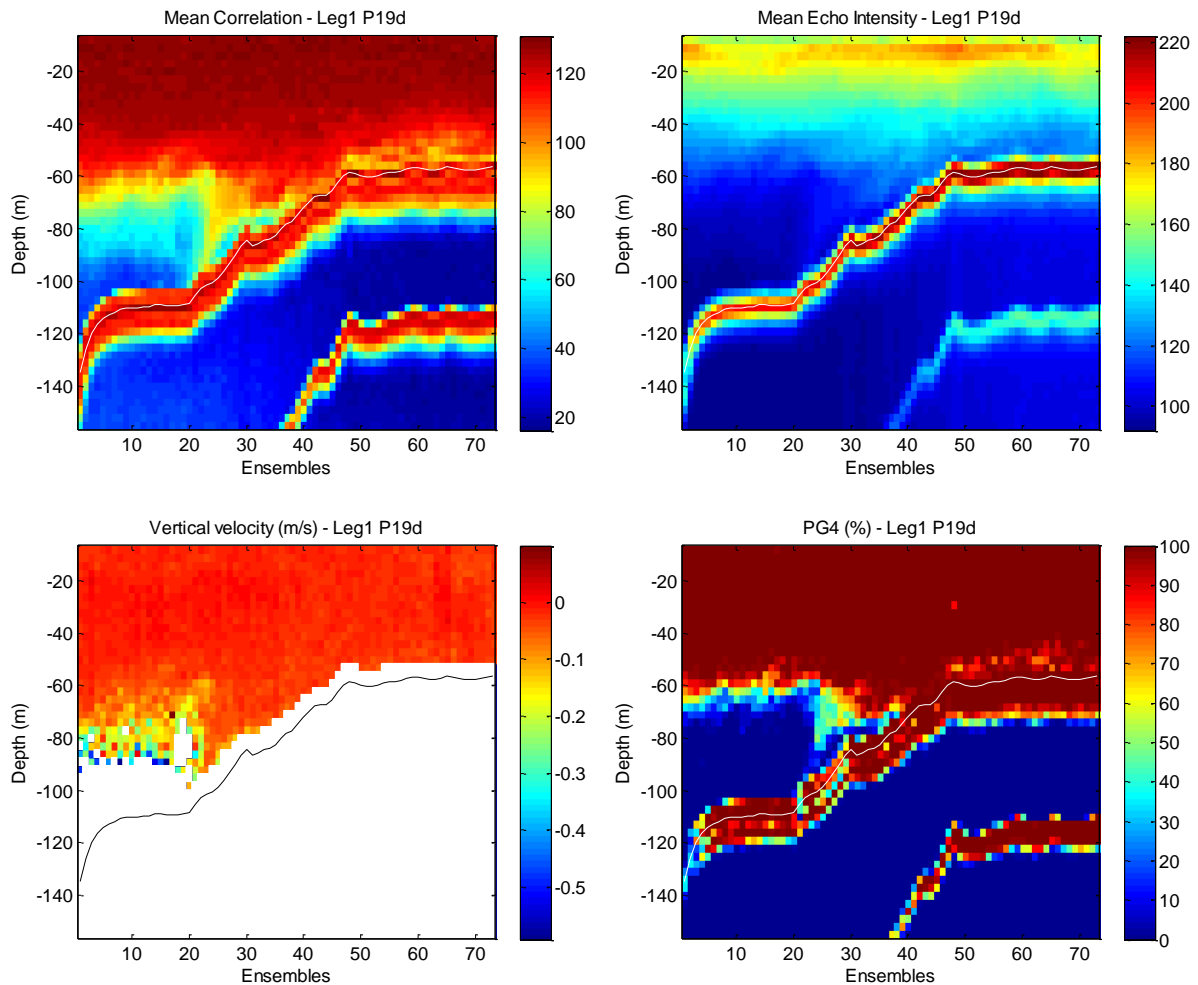
### 2.2.2.3 Qualité des données ADCP

Une fois résolus les problèmes de cap et de vitesse navire de référence, il faut s'intéresser au signal acoustique lui-même mesuré par l'ADCP et évaluer la qualité des mesures.

Quatre principales variables sont utilisées pour cette évaluation (Figure 12) : la corrélation moyenne et l'intensité d'écho moyenne des quatre faisceaux de l'ADCP, la vitesse verticale et le pourcentage de bonnes données à quatre faisceaux (PG4).



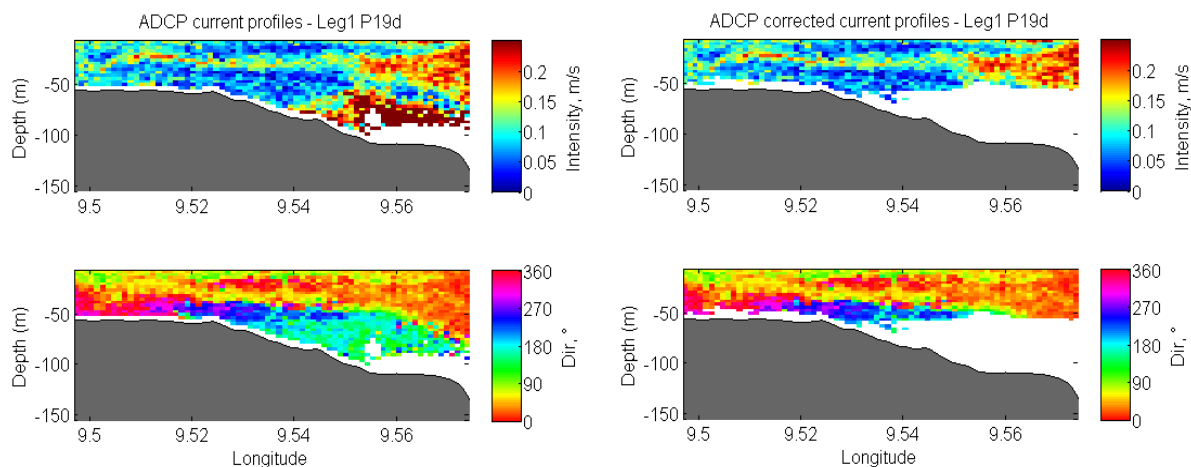
En reprenant l'exemple du profil 19 du Leg 1, une perte importante de la qualité du signal acoustique sur la verticale est observée (Figure 12) en début de trajet avec une corrélation moyenne inférieure à 100, une intensité d'écho diminuant fortement, des vitesses verticales très élevées et un PG4 inférieur à 90% dès 60m de profondeur. Les courants de fond d'amplitude très élevée mesurés à partir de 9,54°E (Figure 13) sont donc non valides et à supprimer sous 60 m de profondeur.



**Figure 12 : profils verticaux le long du profil 19 du Leg 1 de la corrélation moyenne, de l'intensité d'écho moyenne, de la vitesse verticale et du PG4. Le fond détecté par le mode BT de l'ADCP est représenté par un trait noir (b) ou blanc (a, c et d).**

Pour automatiser la validation de la qualité des mesures ADCP, un critère sur la corrélation de chaque faisceau de l'ADCP est utilisé. Teledyne RDI supprime toutes les mesures dont la corrélation est inférieure à 64. Par retour d'expérience des équipes du LPO, nous utilisons un seuil plus élevé de 100 pour supprimer toutes les mesures dont la corrélation en est inférieure. Un autre seuil couramment utilisé est celui imposé par les ingénieurs de la DT-INSU sur le PG4, en supprimant toutes les mesures dont le PG4 est inférieur à 95%. Pour notre étude, ce critère semble trop fort et supprimer des mesures cohérentes, c'est pour cela que nous ne l'appliquons pas.

De manière générale tout au long de la campagne MELBA, une perte de portée sur la verticale importante est constatée sur les mesures ADCP que ce soit avec comme support la perche ou le poisson. Peu de mesures plus profondes que 60m sont en effet obtenues.



**Figure 13 : profils verticaux de l'amplitude (haut) et de la direction (bas) des courants non corrigés (gauche) et corrigés (droite) mesurés par l'ADCP.**

Un fichier EXCEL résumant les mesures ADCP a été construit, listant les profils par Leg, nom du fichier de résultats, date/ heure de mesures, position GPS, et diverses informations sur la configuration ADCP. Ce fichier EXCEL ainsi que toutes les mesures ADCP du Tableau 2 retraitées et corrigées (au format .mat de Matlab) sont disponibles sur le disque dur fourni par l'Ifremer.

## 2.3 Analyse des données de campagne

L'analyse du jeu de données hydrologiques et courantologiques des 3 Legs va permettre d'identifier les processus hydrodynamiques se produisant lors de la campagne MELBA dans les trois secteurs principaux suivants :

- le secteur du Cap Corse
- le secteur du canal de Corse
- le secteur du Sud de l'île d'Elbe

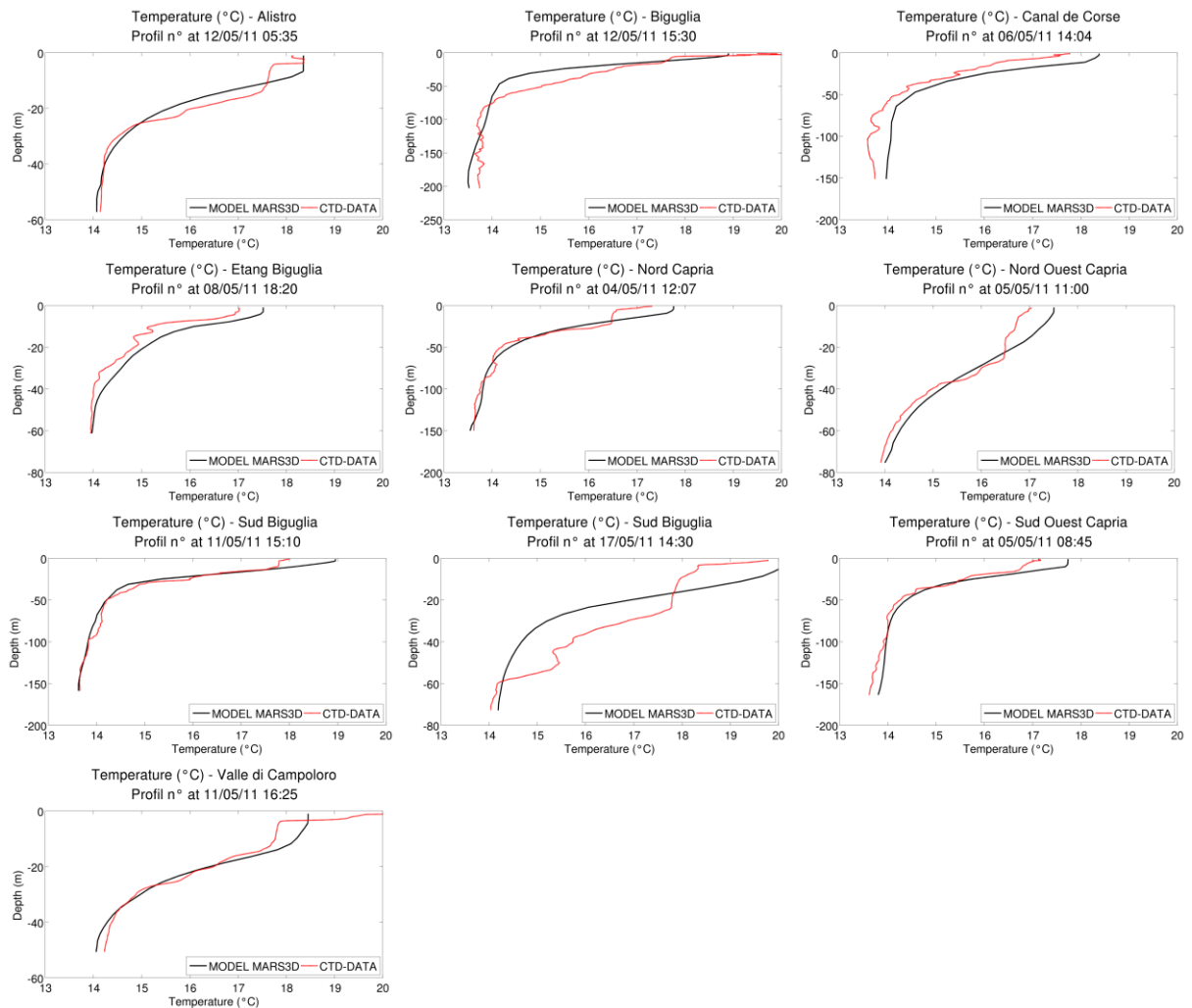
### 2.3.1 Données Température/Salinité (CTD)

Les Figure 14 et Figure 15 présentent les profils de température et salinité pour chacune des campagnes CTD.

Début Mai, pour les stations au Nord de la zone, les températures de surface sont de l'ordre de 17.5°C, et la thermocline se situe à environ 25m. On note une température de surface particulièrement faible en face de Bastia (Etang Biguglia) le 08/05/11.

Les mesures réalisées à partir du 12 Mai montrent un net réchauffement de surface et une thermocline moins profonde.

En profondeur, on retrouve la signature des eaux AW (Atlantic Water), caractérisé par une température supérieur à 13.5°C et d'une salinité comprise entre 38 et 38.4 psu (Millot and Taupier-Letage, 2005). Les mesures ne sont pas assez profondes pour retrouver la marque des eaux LIW (Levantine Intermediate Water).



**Figure 14: Profils de la température (°C) à chacune des stations CTD de la campagne MELBA. Le tracé rouge correspond aux données mesurées ; le tracé noir correspond à la température simulée par le modèle CORSE.**

### 2.3.1 Données TSG

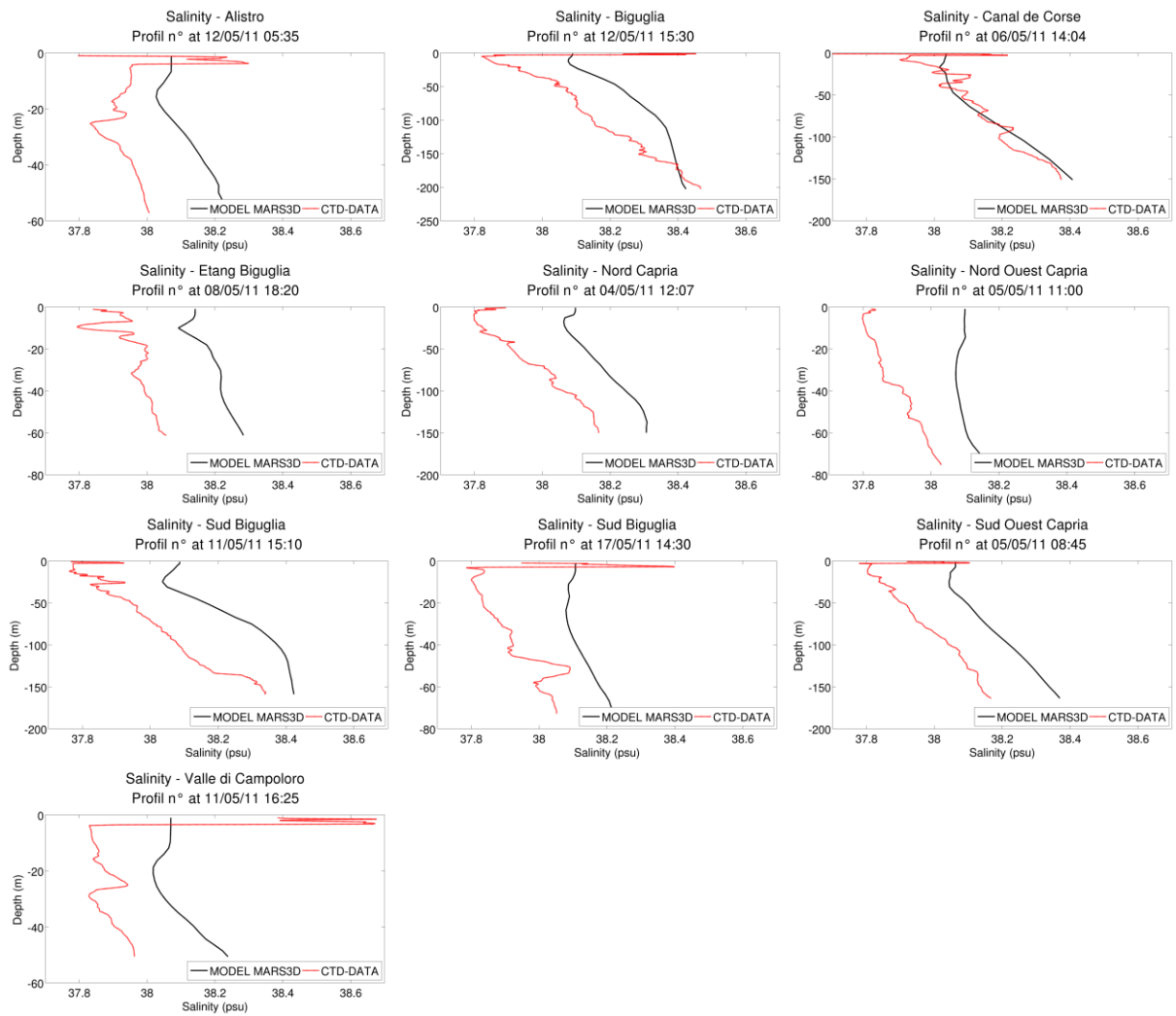
La Figure 16 présente les mesures de salinité et température de sub-surface (~3,50m) acquises par le thermosalinomètre de l'Europe pour chacun des trois Legs de la campagne MELBA.

En début de campagne, la signature de surface de l'Arno est détectée, au large de Livourne (Figure 16a et b), avec des eaux plus chaudes ( $T > 18,2^{\circ}\text{C}$ ) et moins salées ( $S < 37$ ) que les eaux environnantes ( $T < 17,2^{\circ}\text{C}$  et  $S > 37,8$ ).

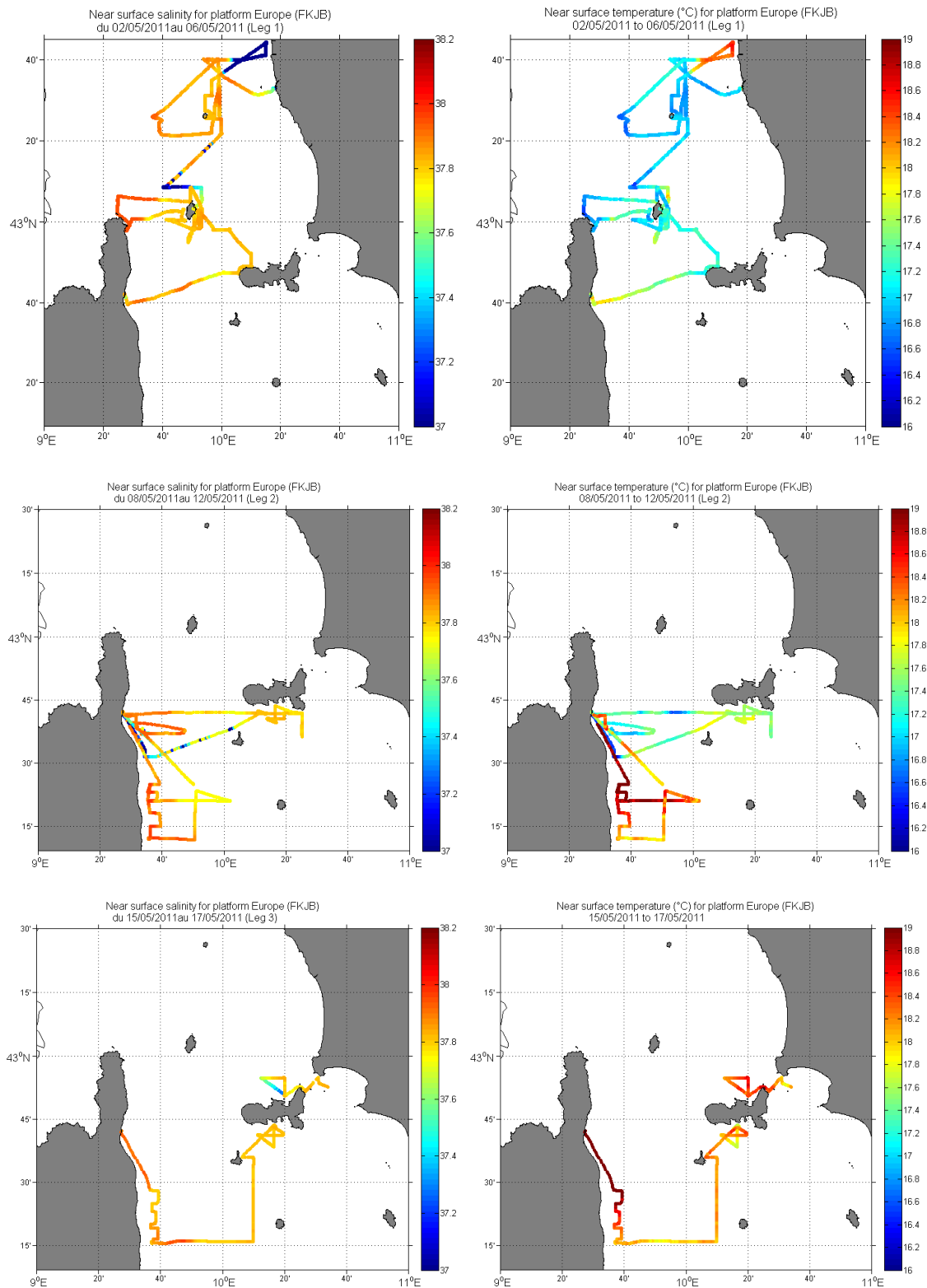
Le 5 mai 2011, au Nord du Cap Corse, les eaux sont légèrement moins chaudes ( $T < 16,8^{\circ}\text{C}$ ) de quelques dixièmes de degrés et plus salées ( $S \sim 37,9$ ) de quelques dixièmes d'unités que les eaux plus à l'Est au large de l'île de Capraia.

Au début du Leg2, du 8 au 10 mai 2011, une zone d'eau froide est détectée au large de Bastia et de l'étang de Biguglia avec des températures inférieures à  $17^{\circ}\text{C}$ . Elle présente un minimum de  $16^{\circ}\text{C}$  le 9 mai 2011. Au Sud de l'île d'Elbe, des températures plus élevées entre  $17,4^{\circ}\text{C}$  et  $17,9^{\circ}\text{C}$  sont mesurées le 9 mai 2011.

Les 11 et 12 mai, un réchauffement général dans la zone du canal de Corse et du Sud de l'île d'Elbe est observé, avec des températures supérieures à  $19^{\circ}\text{C}$  le long de la côte orientale de la Corse



**Figure 15: Profils de la salinité (psu) à chacune des stations CTD de la campagne MELBA. Le tracé rouge correspond aux données mesurées ; le tracé noir correspond à la salinité simulée par le modèle CORSE.**



**Figure 16 : cartes de la salinité (gauche) et de la température (droite) de surface mesurées par le thermosalinomètre de l'Europe pour chacun des 3 Legs.**

### 2.3.2 Données ADCP

Seules les mesures ADCP situées dans l'emprise du modèle sont analysées et commentées ci-dessous. Les autres mesures sont exposées dans l'annexe et la comparaison mesures – modèle est faite dans le §4.2.

#### 2.3.2.1 Leg 1, secteur du Cap Corse

En début de campagne (le 5 mai 2011), le long du profil Est-Ouest 19, une structure bicouche semble détectée malgré la faible portée de l'ADCP avec des courants dirigés vers le Nord-Est en surface et vers le Sud au fond (Figure 17). Les courants au Nord du cap Corse sont dirigés vers l'Est sur toute la profondeur de détection de l'ADCP le long du profil Nord-Sud 20 (Figure 18).

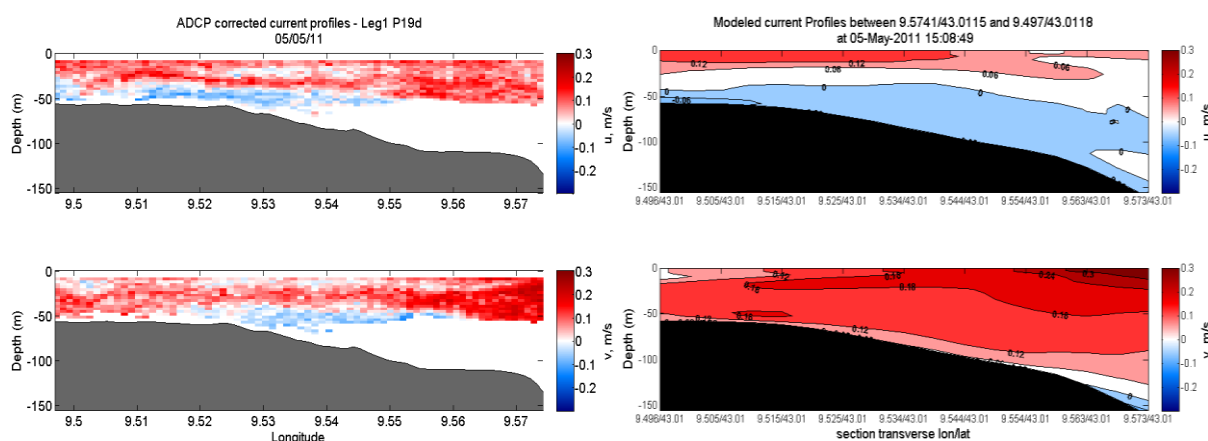


Figure 17 : profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 19 du Leg1.

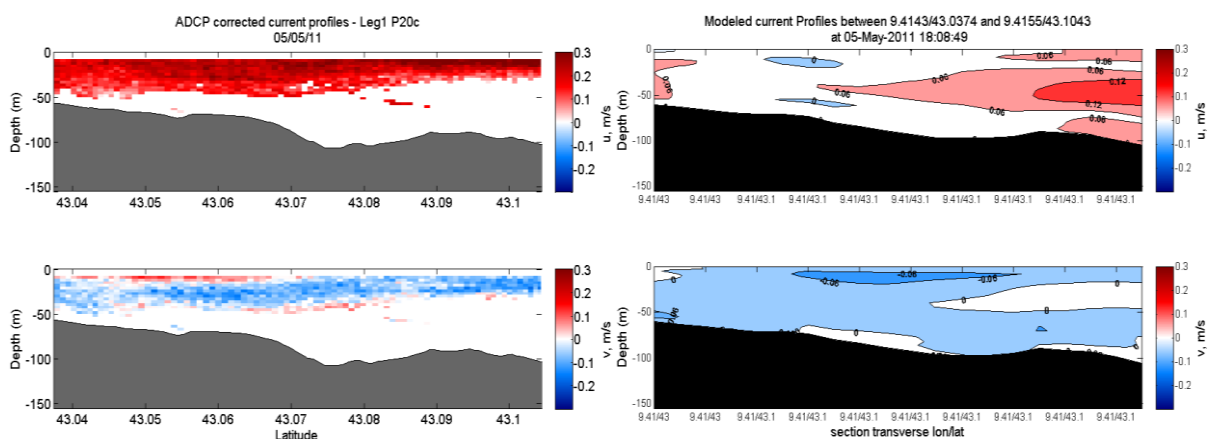


Figure 18 : profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 20 du Leg1.

#### 2.3.2.2 Leg 2A, secteur du canal de Corse - étang de Biguglia

Une perte importante des mesures ADCP sur la verticale est constatée sur le profil 33, avec une portée atteignant les 40 m au début du trajet pour n'atteindre plus que 15m en fin de trajet (Figure 19).

Ce profil du 9 mai 2011 est situé dans la zone d'eau froide mesurée par le TSG de l'Europe (Figure 16) au large de l'étang de Biguglia entre les 8 et 10 mai 2011. Les courants sont dirigés vers le Nord sur toute la profondeur de détection de l'ADCP,

excepté à l'Ouest du trajet où un courant côtier dirigé vers le Sud apparaît dès 10 m de profondeur (Figure 19).

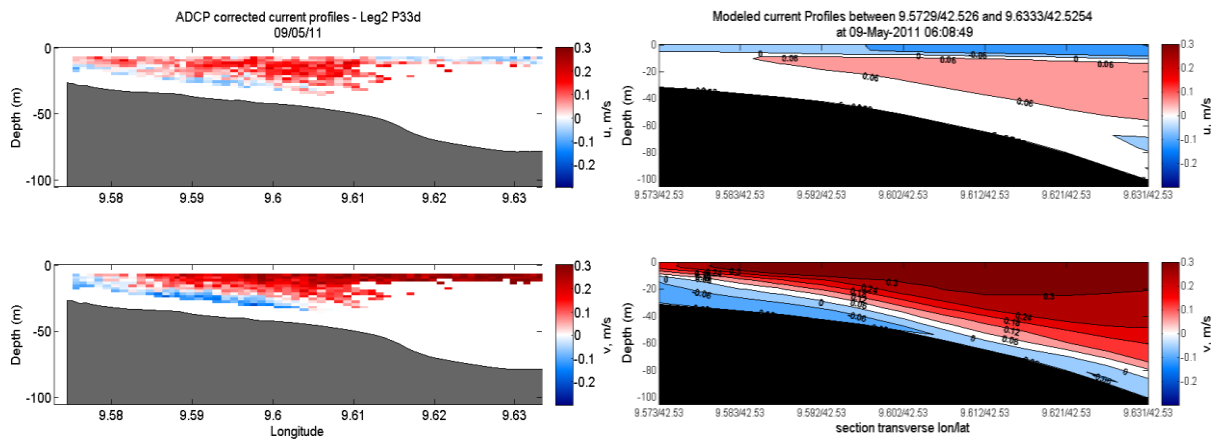


Figure 19 : profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 33 du Leg2.

### 2.3.2.3 Leg 2B, secteur du canal de Corse - Alistro

Comme indiqué au § 2.2.2.2, les profils 55 (Figure 20) et 56 (Figure 21) sont illustrés ci-dessous uniquement pour mettre en évidence la présence d'un courant dirigé vers le Nord-Ouest sur les 60 premiers mètres de profondeur entre 9,66°E et 9,96°E le 11 mai 2011.

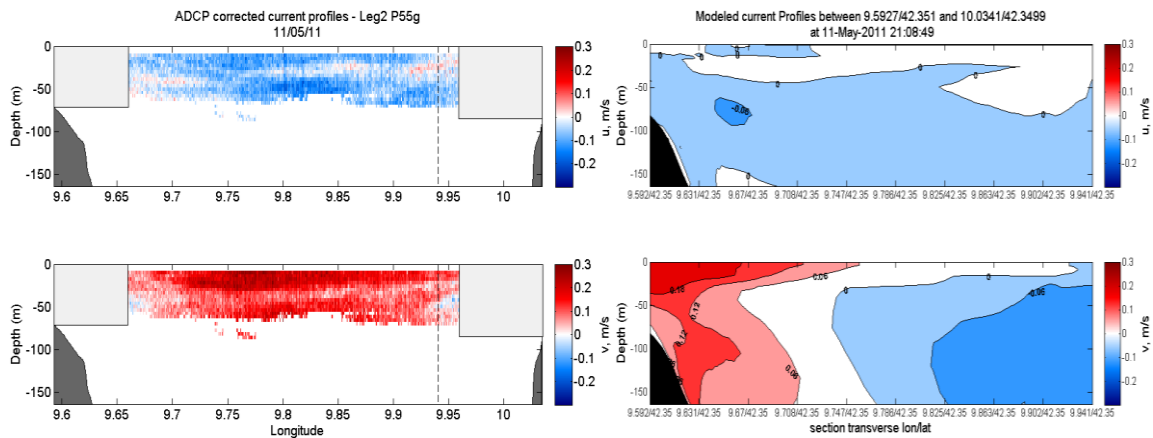


Figure 20 : profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 55 du Leg2. Les zones grisées correspondent aux mesures où les corrections de cap donnent des résultats opposés pour la composante méridienne. La ligne verticale en pointillés indique la limite Est du modèle CORSE.

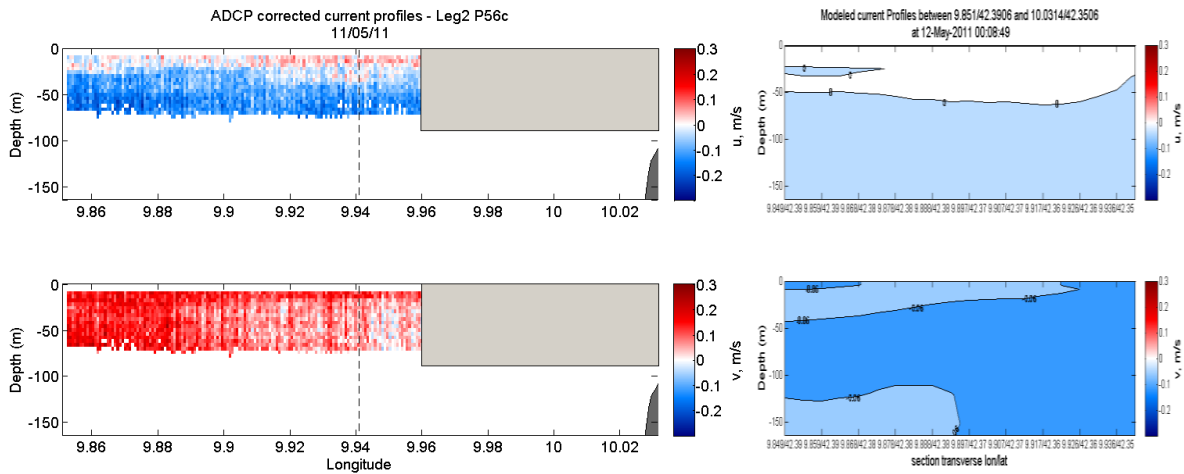


Figure 21: profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 56 du Leg2. Les zones grisées correspondent aux mesures où les corrections de cap donnent des résultats opposés pour la composante méridienne. La ligne verticale en pointillés indique la limite Est du modèle CORSE.

#### 2.3.2.4 Leg3A, secteur du canal de Corse – Bastia/Nord île d'Elbe

Le 15 mai 2011, un tourbillon cyclonique d'un diamètre d'environ 20 km est détecté sur toute la profondeur de détection de l'ADCP, soit 80m, au large de Bastia (Figure 22). Les vitesses à l'intérieur du tourbillon atteignent jusqu'à 36 cm/s. Il est repéré sur l'image satellite de température de surface du 16 mai 2011 à 20h par un maximum local de température (Figure 23).

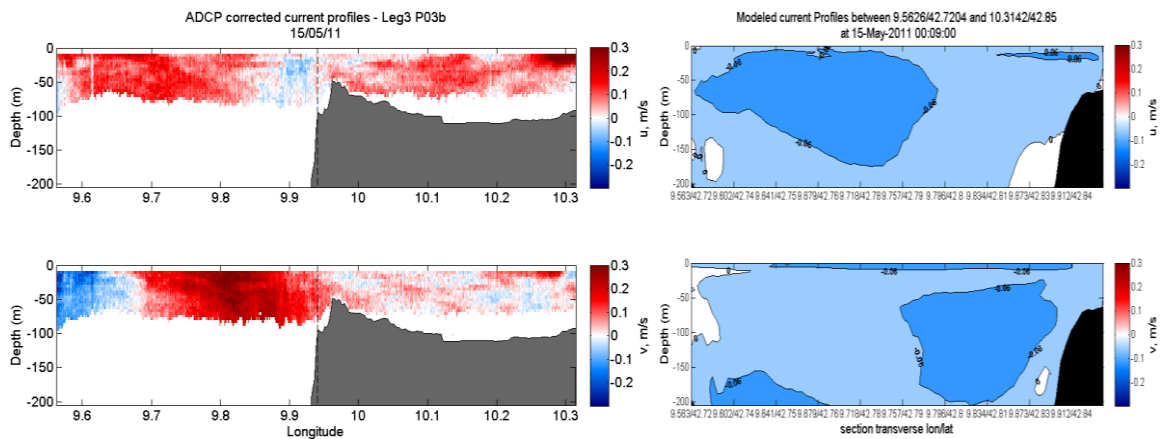
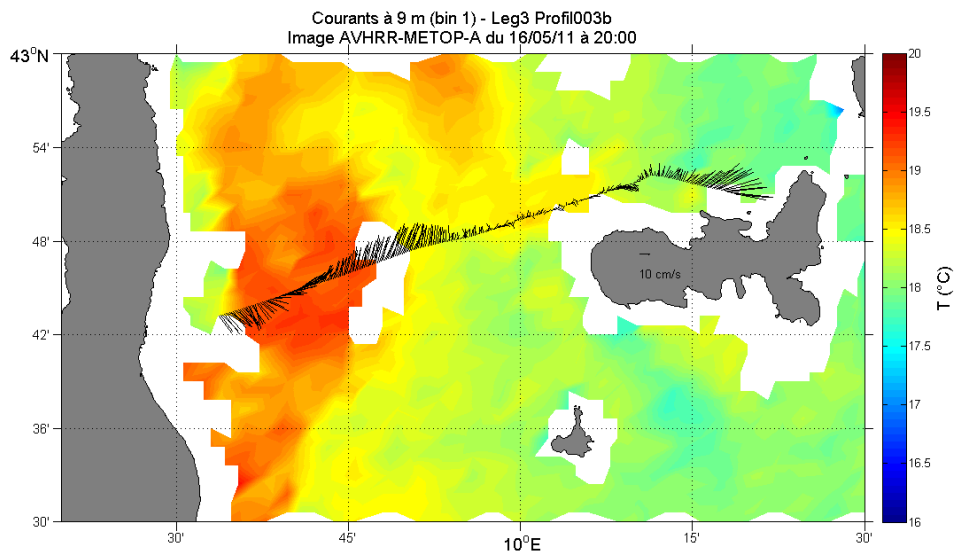


Figure 22: profils verticaux des composantes zonale (haut) et méridienne (bas) des courants mesurés par l'ADCP (gauche) et simulés par le modèle CORSE (droite) le long du profil 3 du Leg3. La ligne verticale en pointillés indique la limite Est du modèle CORSE.





**Figure 23 : carte des courants horizontaux mesurés par l'ADCP à 9m le long du profil 3 du leg3 sur laquelle est superposée la température de surface de la mer de l'image NARSST du 16 mai 2011 à 20h.**

### 3 Evaluation du modèle par les processus

Une première validation du modèle *CORSE 400m* consiste à analyser si ce modèle est capable de reproduire les processus hydrodynamiques caractéristiques de la région étudiée. Cette validation se concentre sur les deux secteurs principaux suivants :

- le secteur du Cap Corse
- le secteur du Canal de Corse

#### 3.1 Bibliographie

Il s'agit d'identifier, en se basant sur la bibliographie, les processus hydrodynamiques clés au large de la Corse.

La Corse est longée sur ses deux côtes Est et Ouest par des courants dirigés vers le Nord, respectivement les courants Est (ECC pour Eastern Corsican Current) et Ouest Corse (WCC pour Western Corsican Current). Au Nord du Cap Corse, ces courants convergent pour former le Courant Nord (Astraldi *et al.*, 1990) qui longe ensuite le talus continental de la mer Ligure à la mer Catalane. Une série temporelle d'un an de mesures de courants à 50, 100, 200, 300 et 400m de profondeur dans le canal de Corse indique que le ECC semble présenter une structure barotrope et est dirigé vers le Nord tout au long de l'année, exceptés quelques épisodes ponctuels d'inversion de courant avec des courants dirigés vers le Sud en profondeur (Astraldi *et al.*, 1990). Le ECC atteint, dans le canal de Corse, son flux maximum en début d'hiver (Astraldi *et al.*, 1990) puis diminue progressivement pour atteindre son flux minimum en été. Outre, cette variabilité saisonnière, le flux du ECC présente aussi une variabilité interannuelle (Astraldi and Gasparini, 1992). Ainsi, en de rares occasions, le transport saisonnier mesuré dans le canal de Corse a été orienté vers le Sud, uniquement en été (2 en 15ans : étés 1994 et 1997 sur la Figure 24, Vignudelli *et al.*, 2000 ; Gasparini and Astraldi, 2002). Le WCC apparaît, quant à lui, comme un courant plus stable avec une faible variabilité saisonnière. Il atteint son flux maximum en fin d'hiver début de printemps (Astraldi *et al.*, 1990).

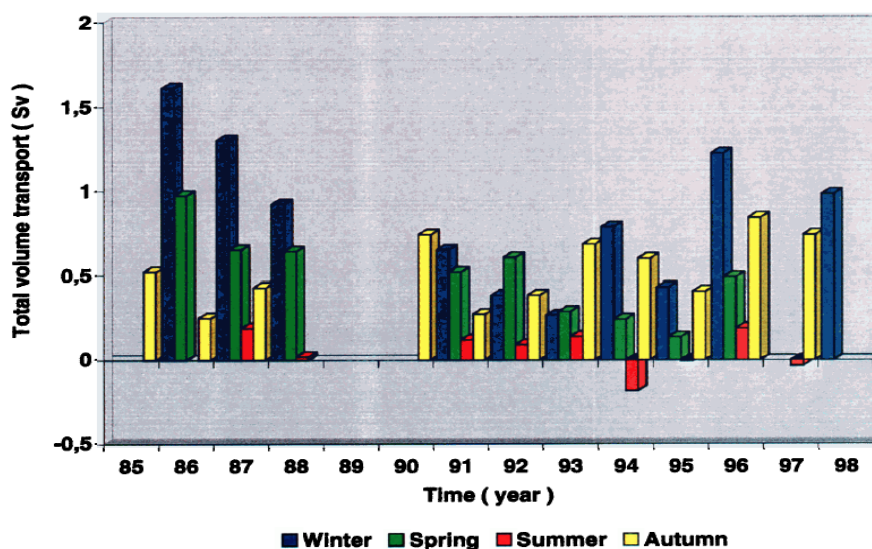
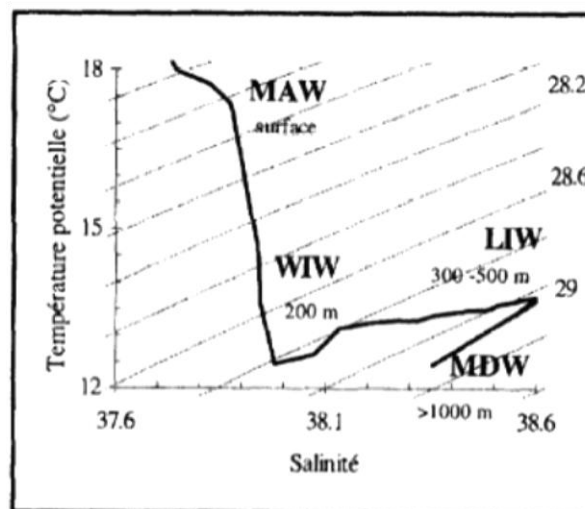


Figure 24 : Transport saisonnier dans le canal de Corse entre 1985 et 1998. Les saisons avec des données incomplètes ne sont pas indiquées (extrait de Vignudelli *et al.*, 2000).

Ces courants ECC et WCC transportent jusqu'en mer Ligure les eaux de surface AW (0-200m) et les eaux intermédiaires LIW (au-delà de 200m) caractéristiques du bassin méditerranéen (Millot and Taupier-Letage, 2005). On estime que 80% du flux total du ECC est composé de AW (Astraldi et Gasparini, 1992).

Dans les régions les plus septentrionales, par interaction avec l'atmosphère, l'eau d'origine atlantique (AW, anciennement nommée MAW) passe d'une salinité de 36.5 et d'une température de 15-16°C à Gibraltar, à une salinité de l'ordre de 38-38.3 et une température moyenne sous la couche de mélange de 14-15°C (en général,  $T > 13.3^{\circ}\text{C}$ ) au Nord de la Méditerranée occidentale (Millot, 1999 ; Albérola et Millot, 2003). En poursuivant sa circulation cyclonique dans les bassins occidentaux et orientaux, en particulier dans leurs parties Nord, la AW va être impliquée dans la formation de nouvelles masses d'eau dont la LIW. Au Nord de la mer Levantine, la convection hivernale conduit à la formation de LIW (Font, 1987 ; Millot, 1987). La LIW est l'eau intermédiaire la plus salée et la plus chaude (hautes T et S :  $T > 13.3^{\circ}\text{C}$  et  $S > 38.5$ ) rencontrée à mi-profondeur (entre 200 m et 600-1000 m de profondeur) en Méditerranée et, produite en grand volume, elle est facilement repérable dans toute la Méditerranée. Après avoir franchi le détroit de Sicile, elle suit d'abord un circuit cyclonique dans la mer Tyrrhénienne (où une partie passe le canal de Corse) puis, en sortie du détroit de Sardaigne, remonte les côtes Ouest de Sardaigne et de Corse pour longer le talus continental des côtes italiennes, françaises et espagnoles (Millot and Taupier-Letage, 2005).



**Figure 25 :** diagramme  $\theta/S$  type des différentes masses d'eau rencontrées en été dans le Golfe du Lion (les faibles valeurs de S de AW sont dues aux apports du Rhône), issu de Conan *et al.*, 1998.

A l'automne 2000, le HPOS (Harvard Ocean Prediction System) a conduit une étude de prévision océanique temps réel sur une zone couvrant le canal de Corse et le Nord de l'île d'Elbe. Les résultats n'ont pas été valorisés mais un tourbillon anticyclonique au Nord de l'île d'Elbe a tout de même pu être identifié dans les sorties de modèle et les mesures de campagne (Robinson *et al.*, 2002).

Au Sud, la Corse est séparée de la Sardaigne par le détroit de Bonifacio (Figure 5), qui par son orographie crée un effet Venturi pour les forts vents d'Ouest soufflant dans la région. La conséquence est la formation d'un dipôle méso-échelle avec un anticyclone au Sud et un cyclone au Nord. La structure cyclonique au Nord est caractérisée par un

pompage de la thermocline et une signature de surface froide (Philippe and Harang, 1982 ; Moen, 1984 ; Artale *et al.*, 1995).

## 3.2 Exploitation des sorties du modèle

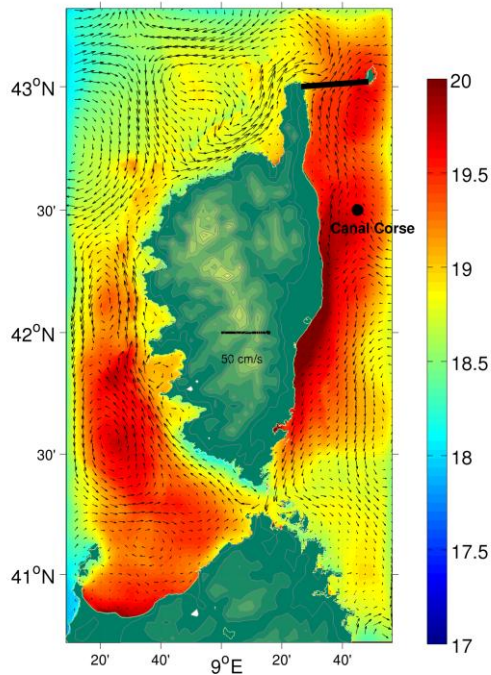
Les sorties du modèle CORSE ont été exploitées afin d'analyser les processus hydrodynamiques reproduits par le modèle. Les outils utilisés sont MATLAB et NCO.

### 3.2.1 Caractéristiques générales

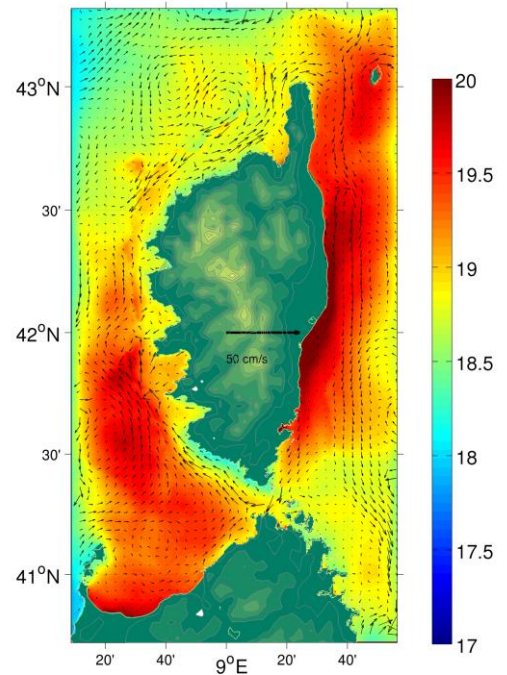
La Figure 26 présente les champs de température de surface et de courants simulés (barotrope et de surface), moyennés sur la période d'étude (Avril-Juin 2011). Ces moyennes permettent de mettre en évidence un certain nombre de caractéristiques générales :

- Une première zone caractéristique d'upwelling se distingue : la bande côtière Sud-Ouest. Ces refroidissements des eaux de surface se produisent lors de forts coups de Mistral, et se traduisent par une température moyenne de 18°C sur la période.
- Une seconde zone caractéristique d'upwelling semble également se dessiner au Nord Ouest de la Corse, avec des eaux de la bande côtières présentant des températures moyennes de 18.5°C.
- La zone du Canal de Corse est la zone la plus chaude, avec un maximum le long de la côte Est, près de Solenzara. Des entrées d'eau froides se produisent par l'Est, et génèrent une activité méso-échelle importante. Le flux de surface entre le cap Corse et l'île de Capraia s'oriente vers le Nord, tandis que les courants barotropes montrent un transport moyen vers le Sud sur l'ensemble du Canal de Corse.
- En surface, les courants Est et Ouest Corse sont bien marqués. La jonction de ces courants à leur entrée dans la mer de Ligurie se note de manière satisfaisante au Nord-Est de la zone.
- Un fort courant non réaliste vers le Sud apparaît le long de la frontière Ouest. Une mauvaise gestion de la condition aux limites Ouest pourrait en être la cause. Une des conséquences est l'apparition d'une zone anormalement chaude en surface au Sud-Ouest de la Corse

temperature(DegCelsius) averaged over the months Apr-May-Jun of 2011  
At sigma level = 30 ( and Barocline Currents vectors)  
CORSE

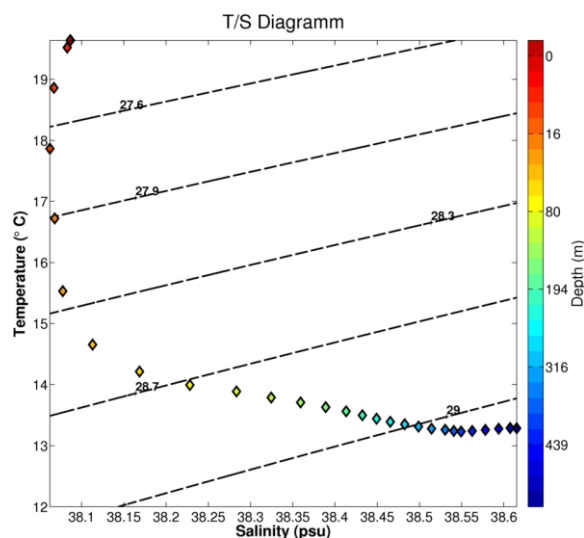


temperature(DegCelsius) averaged over the months Apr-May-Jun of 2011  
At sigma level = 30 ( and Barotrope Currents vectors)  
CORSE



**Figure 26:** Température de surface ( $^{\circ}\text{C}$ ) et courants simulés ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), moyenne sur les mois d'Avril-Mai-Juin 2011. Droite : courants barotropes ; gauche : courants baroclines de surface.

Le diagramme température/salinité, présenté Figure 27 pour une station du Canal de Corse (dont la position est indiquée sur la Figure 26), montre une distribution caractéristique des masses d'eaux que l'on retrouve en Méditerranée. Entre la surface et 80m, les eaux AW (Atlantic Water) se caractérisent par une température élevée et une faible salinité. En dessous de 350m, on retrouve les eaux LIW (Levantine Intermediate Water) avec une température supérieure à  $13^{\circ}$  et une forte salinité ( $>38.5$ ).



**Figure 27 :** Diagramme température/salinité à la station Canal Corse. Moyenne entre les mois Avril-Mai-Juin. Les lignes pointillées représentent les isopycnés (Voir position de la station sur la Figure 26).

### 3.2.2 Focus sur le Canal de Corse

La Figure 28 présente une section de la vitesse méridienne entre le Cap Corse et l'île de Capraia, moyennée sur la période Avril-Mai-Juin (voir position sur la Figure 26)

Le long du Cap Corse, le courant est en moyenne vers le Sud, tandis que qu'il est orienté Nord le long de Capraia. Au milieu de la section, une veine de courant comprise entre la surface et 80m se dirige vers le Nord, avec un maximum supérieur à  $0.1\text{m.s}^{-1}$  en surface. Entre 80m et le fond, le courant est orienté vers le Sud, avec un maximum supérieur à  $0.2\text{m.s}^{-1}$  vers 300m.

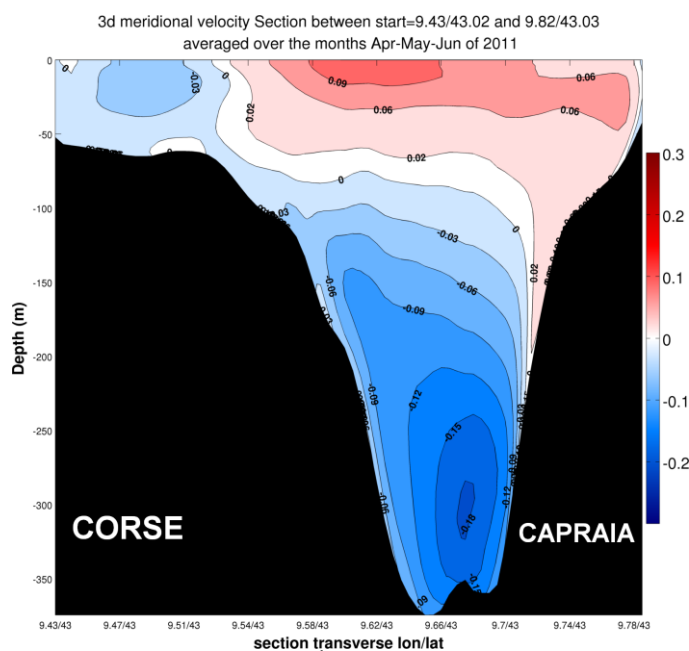


Figure 28 : Section de la vitesse méridienne ( $\text{m.s}^{-1}$ ) entre le Cap Corse et l'île Capraia. Moyenne entre les mois Avril-Mai-Juin. (Voir position de la section sur la Figure 26)

Afin de mieux comprendre les processus, la Figure 29 présente des diagrammes profondeur-temps de la vitesse méridienne à 3 stations distinctes : la station Canal Corse (cf Figure 26), une station proche de la côte Est du cap Corse, et une station au milieu du passage entre le Cap Corse et Capraia.

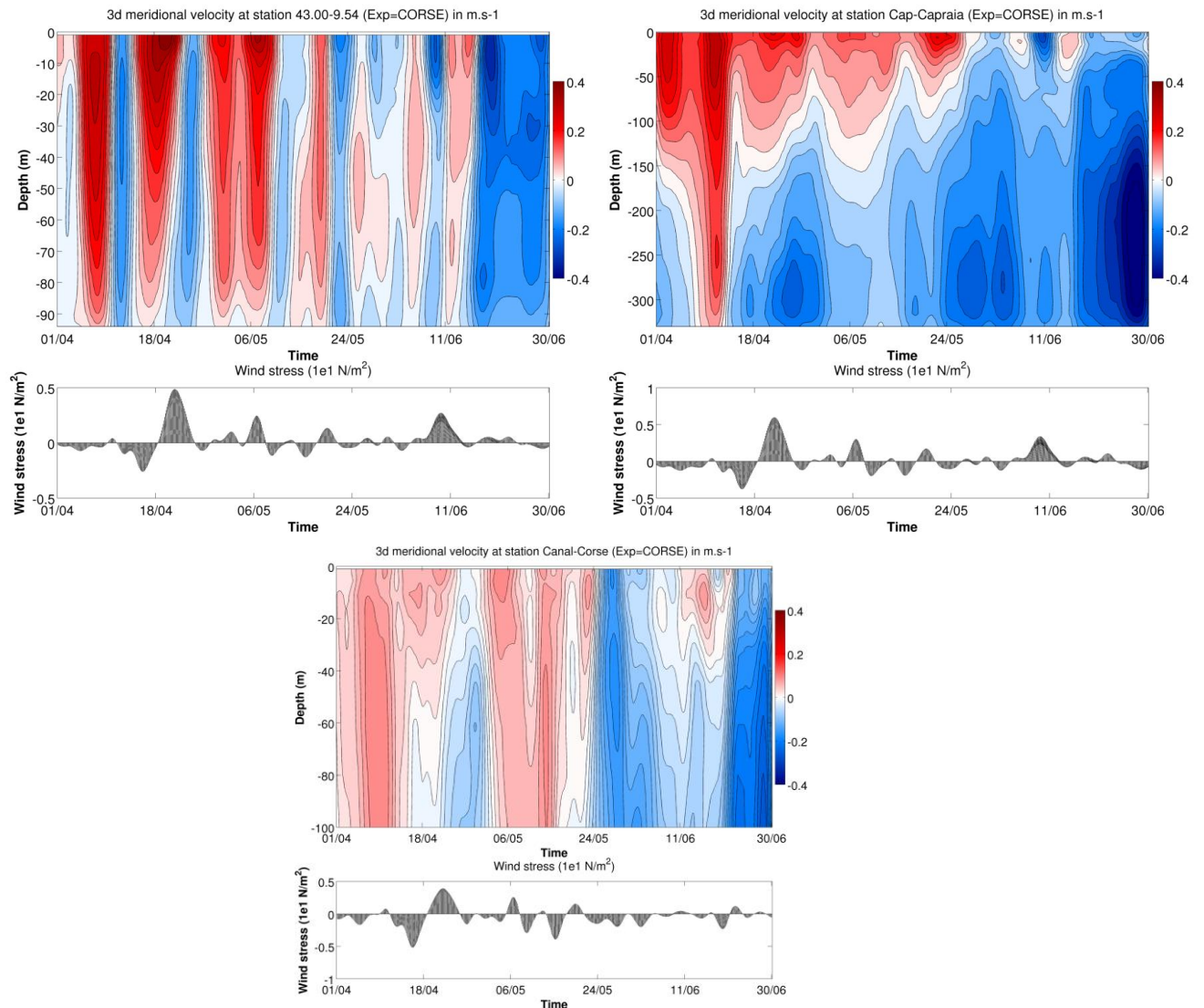
La station du canal Corse montre un courant clairement barotrope. Ce courant est orienté vers le Nord la majeure partie de la période, mis à part lors de deux épisodes de fort mistral fin Mai et fin Juin. Les vitesses moyennes sont de l'ordre de  $0.2\text{ m.s}^{-1}$ .

Au niveau de la côte Est du cap Corse, on note des renverses régulières de la direction du courant, associé à des vitesses fortes (jusqu'à  $0.4\text{ m.s}^{-1}$ ). A nouveau, le courant apparaît barotrope, et sa direction semble être corrélée à la direction du vent. Lors d'épisodes de forts vents de secteur Ouest, le courant Ouest Corse contourne le cap Corse et redescend vers le Sud en longeant la côte, transportant des masses d'eaux froides issues des upwellings se produisant dans la zone au Nord de Calvi.

Au milieu du passage entre le Cap Corse et Capraia, les vitesses sont à nouveau caractérisées par des valeurs élevées (jusqu'à  $0.4\text{ m.s}^{-1}$ ) entre la surface et 150m. Les renverses précédentes sont moins marquées. Jusqu'à fin Mai, le courant reste orienté vers le Nord en surface. Durant le mois de Juin, le courant s'oriente vers le Sud. Sur l'ensemble de la période, on note que ce point présente parfois une structure barocline bi-couche de courants : vers le Nord en surface, et vers le Sud au fond. Cette particularité s'observe autour du 20 Avril, lors d'un coup de vent de Sud, et autour du 24 Mai.



Il est important de remarquer que la structure apparemment barocline observée sur la moyenne (Figure 28) résulte de la succession d'événements barotropes orientés vers le Nord et le Sud, et non à une véritable structure barocline des courants dans le passage Cap Corse-Capraia.

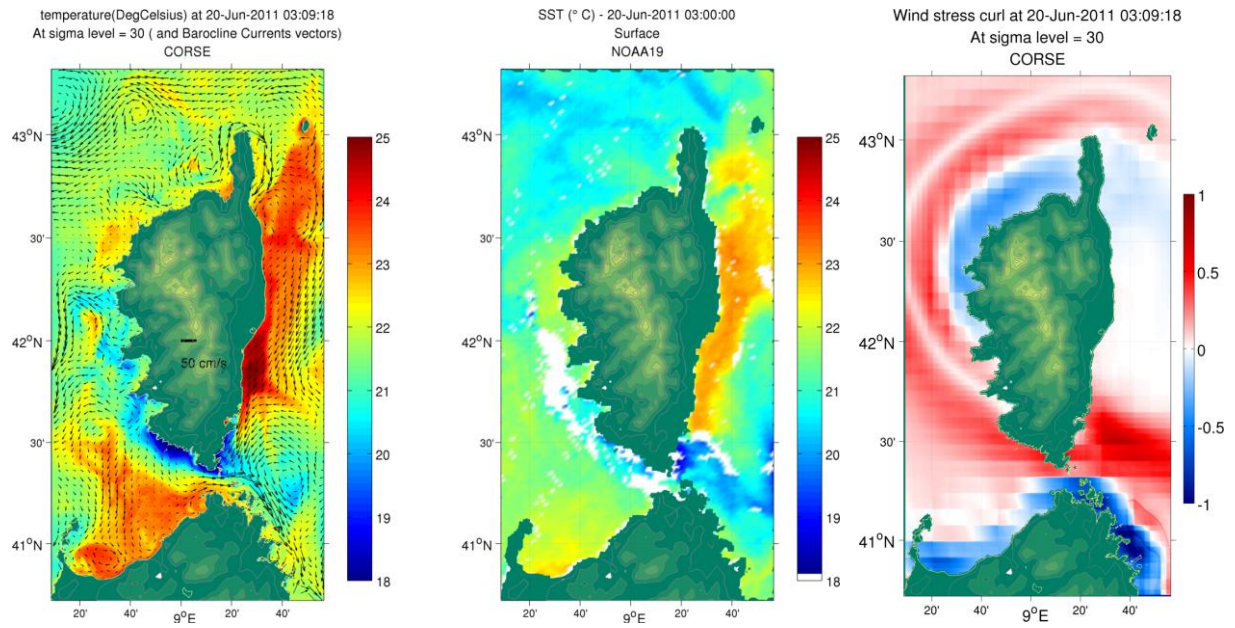


**Figure 29:** Diagramme profondeur-temps de la vitesse méridienne simulée ( $m.s^{-1}$ ). Haut gauche : station proche de la côte Est du Cap Corse ; haut droite : station au milieu du passage Cap Corse et ile de Capraia. Bas : Station Canal de Corse (cf Figure 26). En dessous de chaque diagramme : vecteurs stress du vent à chacune des stations. Les séries temporelles ont été filtrées par une fenêtre de Hann de 2 jours.

### 3.2.3 Cas d'un fort Mistral

La Figure 30 présente une situation caractéristique en cas de fort Mistral (20 Juin 2011). Le vent de secteur Nord-Ouest génère de nombreux upwelling sur la côte Ouest de la Corse, en particulier sur sa partie Sud-Ouest.

Au Sud, les eaux froides qui remontent du fond sont alors transportées via les bouches de Bonifacio vers l'Est. Cependant, le refroidissement des eaux de surface au Sud-Est de la zone résulte également d'un autre phénomène : l'effet venturi, généré par l'étréot passage entre la Corse et la Sardaigne, produit un rotationnel de vents positif qui va « pomper » l'eau profonde vers la surface (cf Figure 30).



**Figure 30 : Gauche : température (°C) et courants ( $m.s^{-1}$ ) de surface simulés, le 20/06/2011 à 3h. Milieu : SST (°C) mesurée par le satellite NOAA19 à la même date. Droite : rotationnel du stress du vent le 19/06/2011 à 18h. Situation de fort Mistral.**



## 4 Evaluation du modèle par les données

Pour un sous-ensemble de la zone Corse (le secteur du Cap Corse, et le secteur du Canal de Corse), il s'agit de comparer les mesures relevées (Campagne MELBA et données satellites) et les résultats de modèles obtenus, en tenant compte des forçages météo et aux limites disponibles, durant la période du 1er au 17 mai 2011.

### 4.1 Température

#### 4.1.1 Données CTD

Les données de température et salinité mesurées (CTD) sont comparées le long de la verticale, à chacune des stations, avec les valeurs simulées par le modèle CORSE. Les résultats présentés sur les Figure 14 et Figure 15, sont résumés sous forme des biais entre observations et simulations dans les Figure 31 et Figure 32.

Sur les 15 premiers mètres, le modèle surestime la température quasi systématiquement (jusqu'à 2°C). En profondeur les différences sont moins marquées. La salinité est systématiquement surévaluée par le modèle. Sur les 5 premiers mètres, les données ne semblent pas valides (cf §2.2.1), et ne seront donc pas commentées.

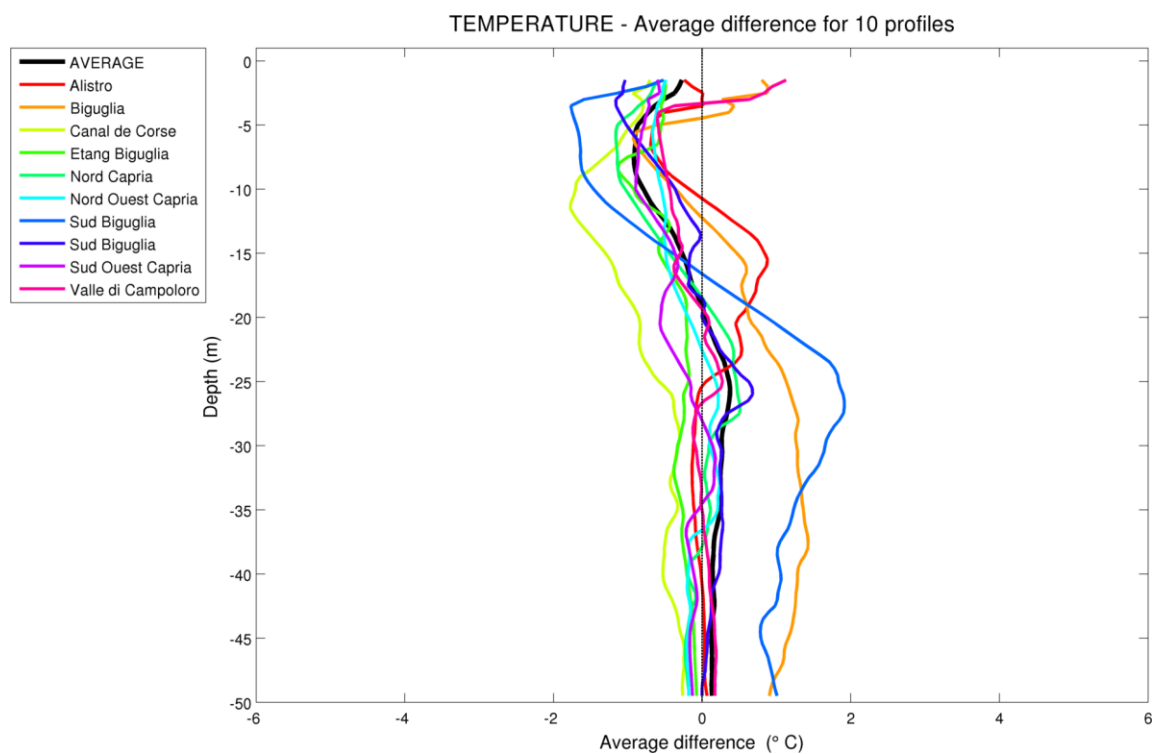
La position de la thermocline est bien reproduite par le modèle, excepté sur le profil intitulé « Sud Biguglia – 17/05/2011 ». Ce profil a été mesuré après le coup de Mistral de mi-Mai, et montre un fort refroidissement de la colonne d'eau entre 5 et 20m: un processus local de mélange n'a donc pas été correctement reproduit par le modèle.

Concernant les masses d'eaux, on retrouve dans les données les mêmes caractéristiques générales que décrites précédemment (cf Figure 27).

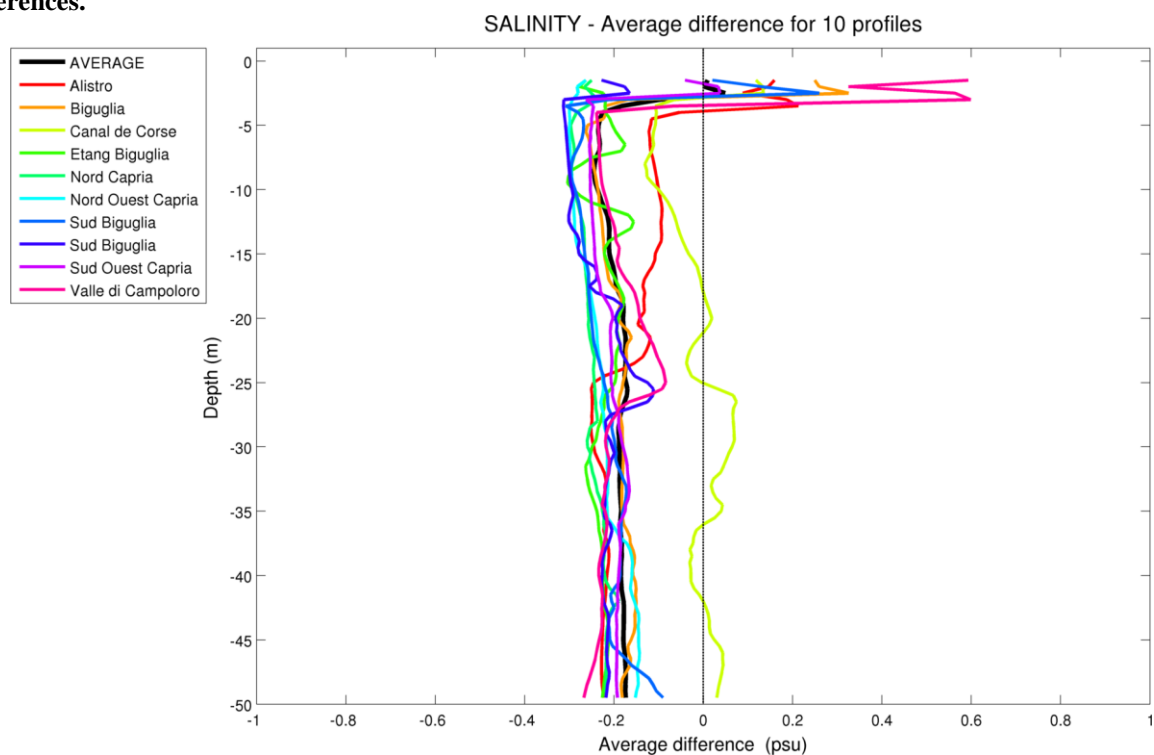
Le Tableau 4 présente quelques valeurs statistiques calculées le long de la verticale à chacune des stations CTD de la campagne MELBA (voir aussi Figure 32). Ces valeurs confirment les constatations qualitatives énoncées précédemment et permettent de conclure que le modèle parvient à reproduire correctement les mesures effectuées ponctuellement par la sonde CTD.

**Tableau 4: Comparaison température/salinité mesurées et simulées par le modèle CORSE. Moyenne du biais et moyenne des écarts en valeur absolues calculées le long de la verticale à chacune des stations CTD de la campagne MELBA (cf Figure 6)**

	Profondeur (m)	Biais	Moyenne des écarts en valeurs absolues
Température	0 - 15	-0.64 °C	0.75 °C
	15-50	0.17 °C	0.4 °C
Salinité	0 - 15	-0.19	0.23
	15-50	-0.18	0.18



**Figure 31: Profil des différences entre les températures mesurées et simulées (modèle CORSE). Les couleurs des courbes correspondent à chacune des stations. La courbe noire correspond à la moyenne des différences.**



**Figure 32 : Profil des différences entre les salinités mesurées et simulées (modèle CORSE). Les couleurs des courbes correspondent à chacune des stations. La courbe noire correspond à la moyenne des différences.**

## 4.1.2 Données satellites

### 4.1.2.1 Dates précises lors de la campagne MELBA

Les Figure 33 à Figure 38 présentent des comparaisons entre la température de surface (SST) simulée et mesurée par le satellite, à des dates précises du mois de Mai.

On y retrouve le biais général que le modèle est trop chaud, en particulier dans la partie Sud-Ouest du domaine.

Un certain nombre de structures méso-échelles générées par le modèle ne se retrouvent pas dans les données satellites, dont le tourbillon cyclonique chaud à l'Est de la Corse vers 42,2°N de latitude (Figure 33-Figure 34).

Une tâche d'eau froide apparaît entre les 8 et 10 Mai au niveau de Bastia (Figure 35-Figure 36) : bien que sous-estimée (en étendue spatiale et intensité) par le modèle, on retrouve cette structure dans le modèle.

Un net refroidissement des eaux de surface démarre à partir du 15 Mai, en raison de forts vent du Nord sur la zone (Figure 37-Figure 38). Le modèle parvient à reproduire ce refroidissement général. Cependant des structures chaudes se maintiennent autour de la Corse : dans le Sud-Ouest, ces structures ne se retrouvent pas dans les données ; le long de la côte Est, on note que les images satellites présentent quelques structures chaudes, mais celles-ci sont de moindre importance spatiale et de moindre intensité que dans le modèle.

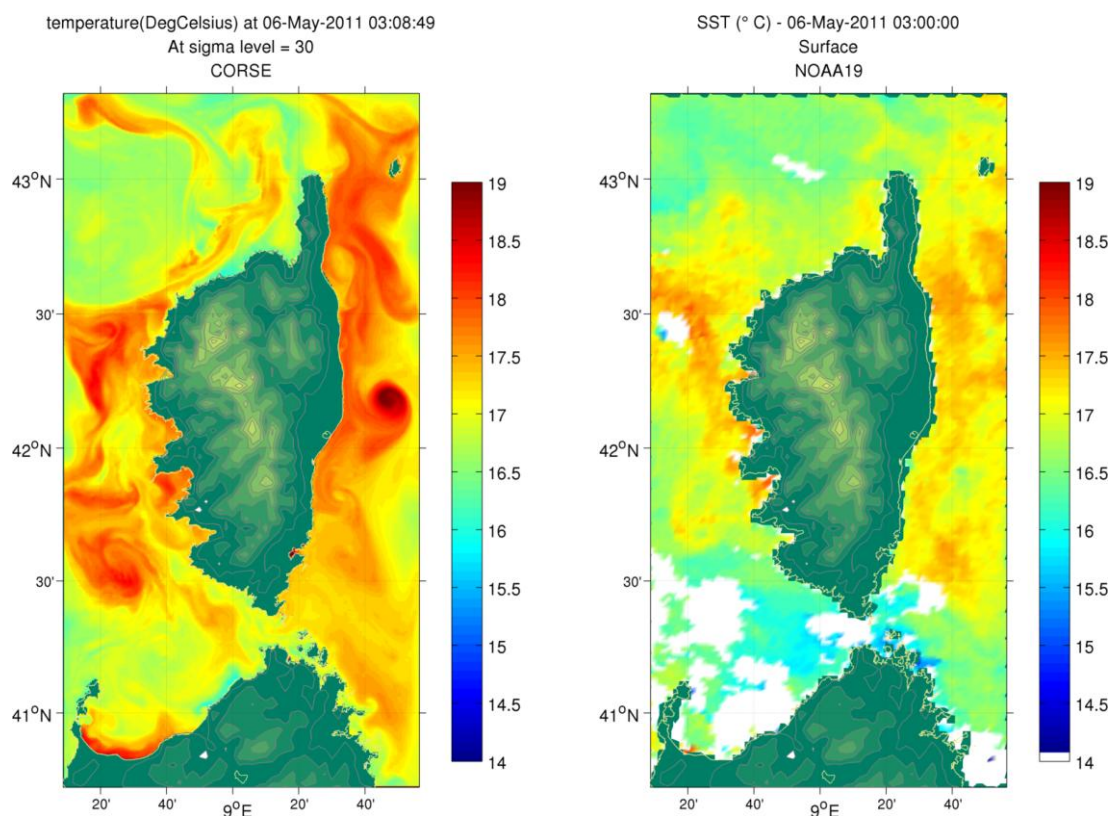
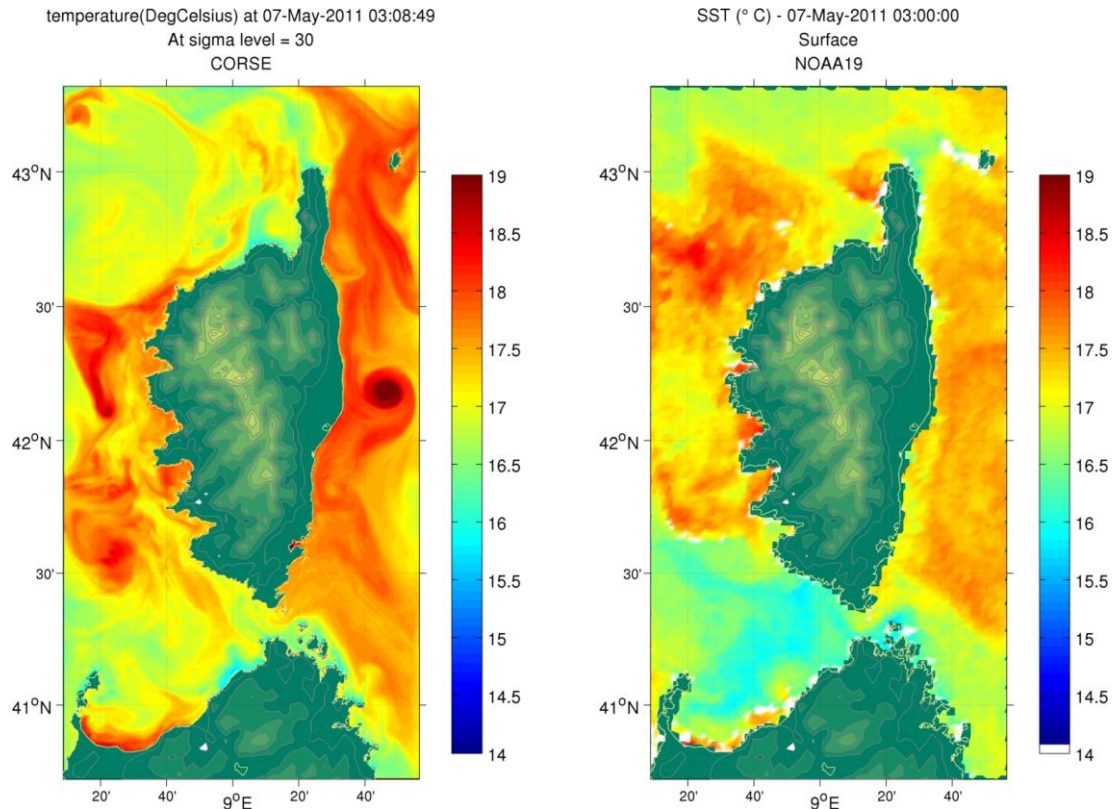
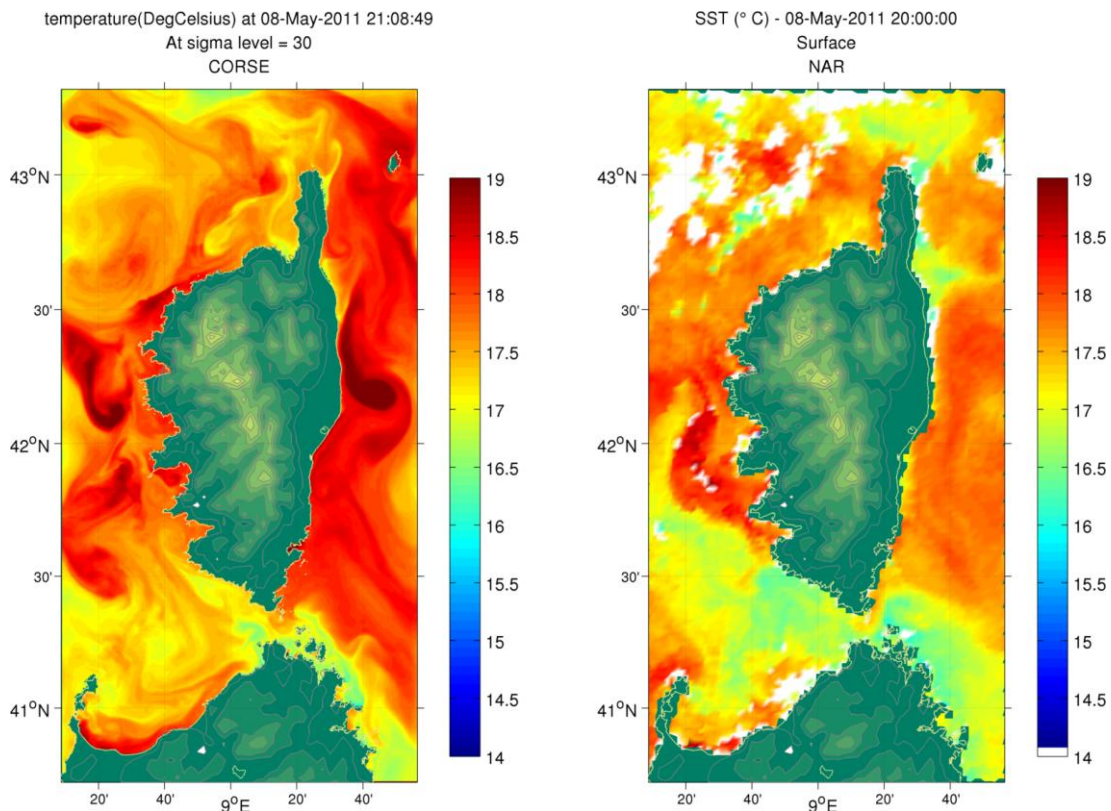


Figure 33: Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 6 Mai 2011

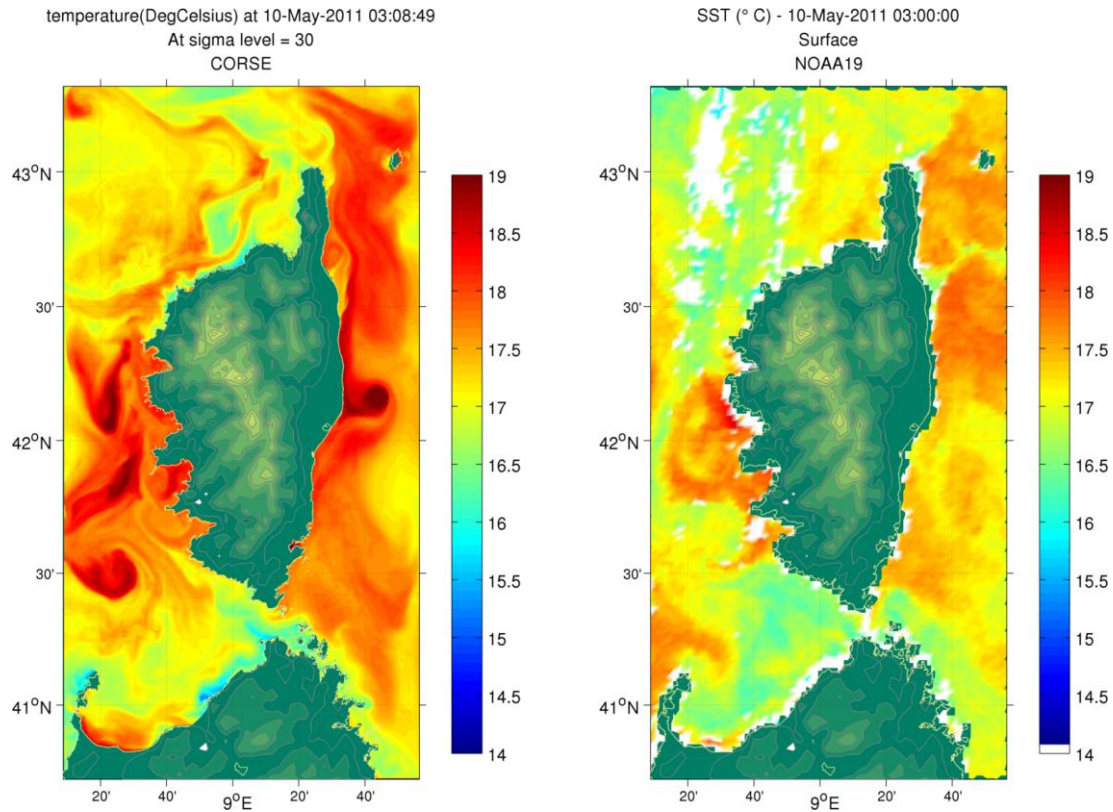


**Figure 34: Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 7 Mai 2011**

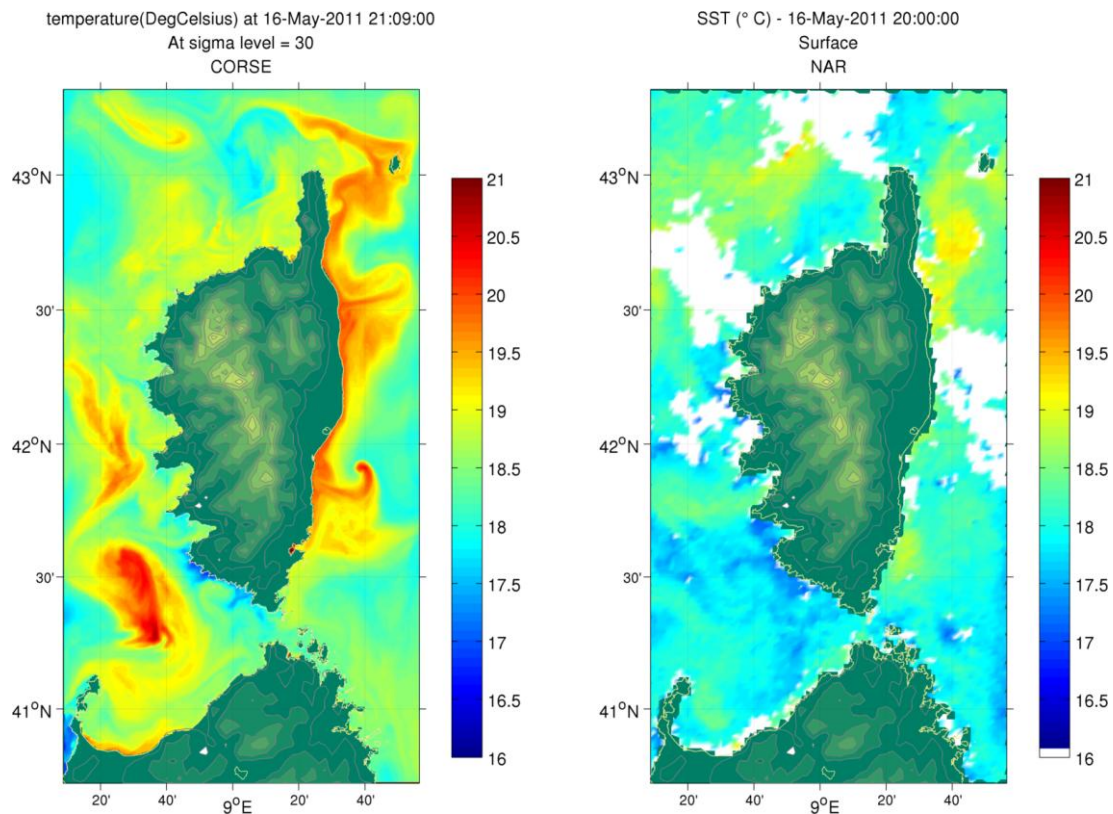


**Figure 35: Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 8 Mai 2011**

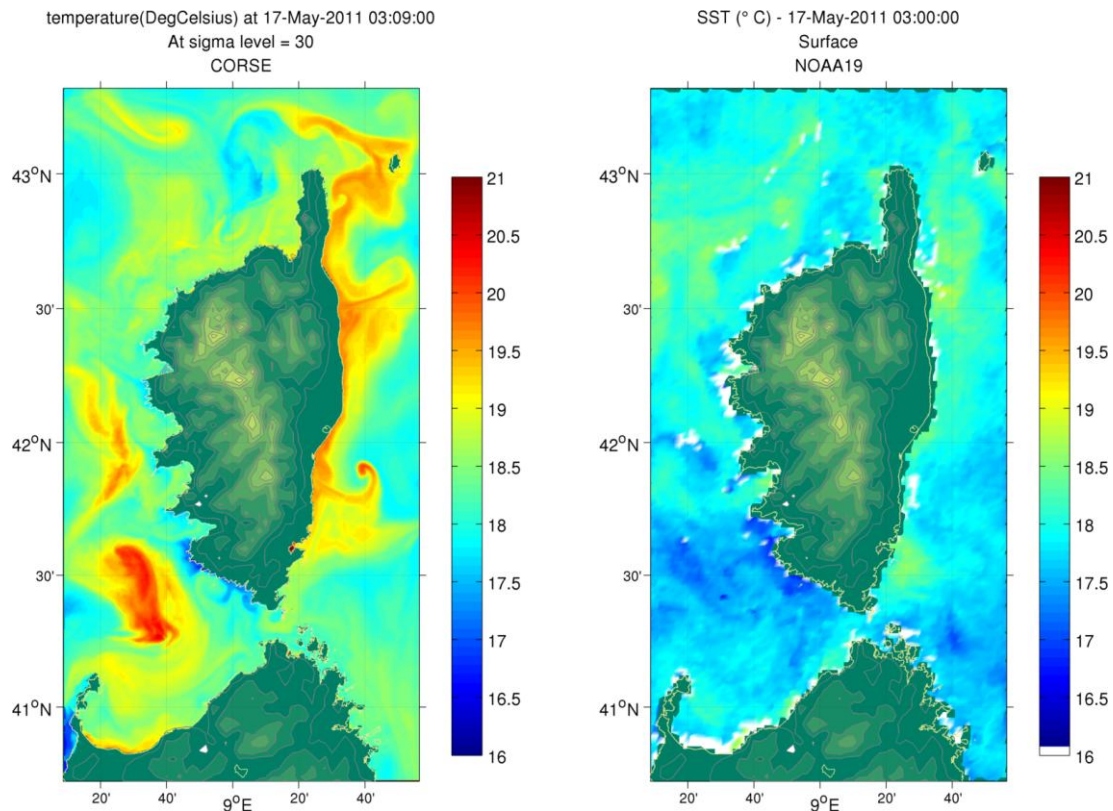




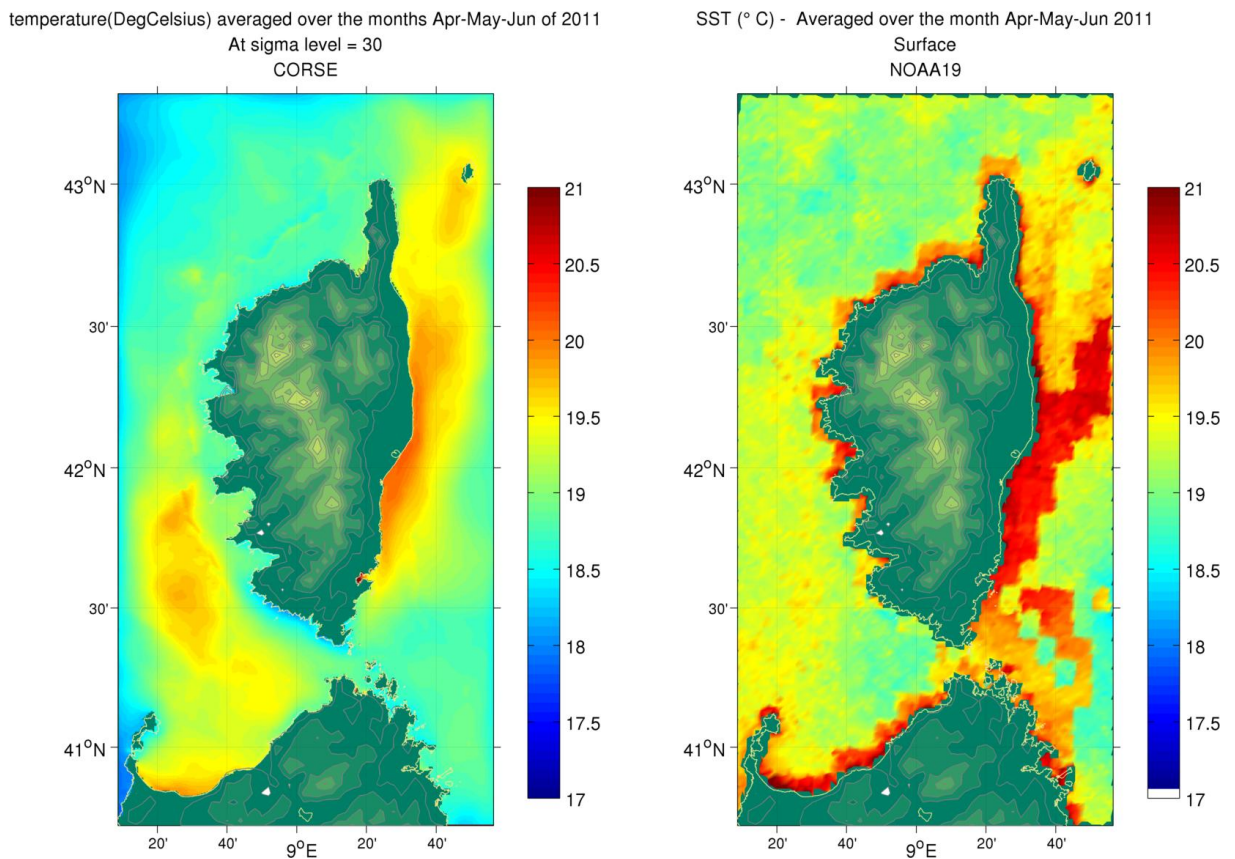
**Figure 36: Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 10 Mai 2011**



**Figure 37: Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 16 Mai 2011**



**Figure 38: Comparaison de la SST simulée (à gauche) et mesurée par le satellite (à droite): 17 Mai 2011**



**Figure 39: Moyenne de la SST (°C) sur les mois d'Avril-Mai-Juin 2011: à gauche le modèle CORSE; à droite: satellites (valeurs de nuit uniquement).**



#### 4.1.2.2 Comparaison de la moyenne

La Figure 39 présente la carte de la moyenne temporelle de la SST simulée et mesurée sur les mois d'Avril à Juin (valeurs de nuit uniquement pour les données satellites).

Les gammes de valeurs sont sensiblement les mêmes. Le modèle reproduit les eaux plus chaudes le long de la Côte Est de la Corse, et plus froides le long de la côte Sud-Ouest et au large de la côte Sud-Est. On voit apparaître certains biais qui seront discutés dans le paragraphe suivant.

#### 4.1.2.3 Evaluation quantitative

Afin d'estimer quantitativement la validité du modèle par rapport aux données satellites, des indicateurs statistiques décrits dans l'Annexe (§2) ont été calculés.

La SST simulée et mesurée est comparée en un point précis du Canal de Corse (Figure 26). La courbe temporelle est présentée sur la Figure 40. On note que sur les 3 mois, la tendance générale est bien reproduite par le modèle avec un réchauffement de 10°C en trois mois.

Généralement, le modèle est trop chaud, en particulier durant le mois de juin, ce qui se traduit par un %Pbias négatif (-1.62%).

Les indicateurs statistiques permettent d'énoncer que le comportement temporel du modèle est globalement satisfaisant à cette station : les « cost function » et « model efficiency » indiquent que le modèle est très bon, suivant les critères décrits dans l'Annexe. Enfin, l'écart moyen normalisé est de 3%.

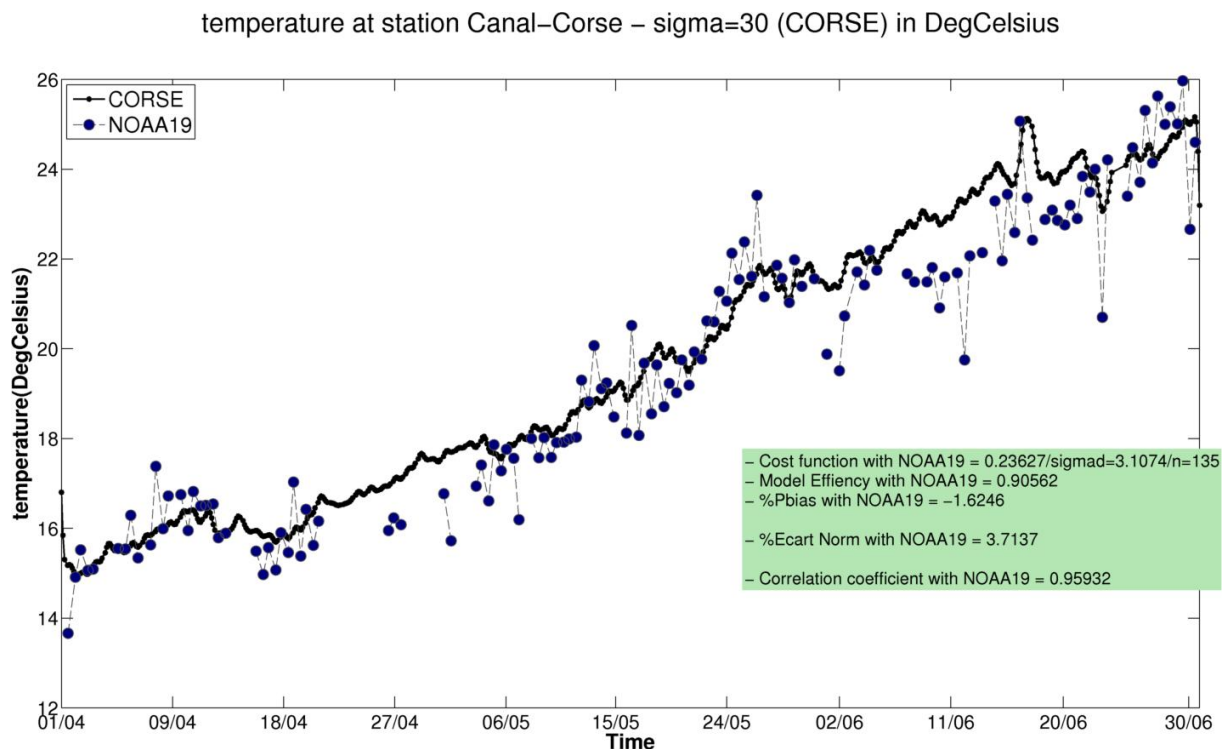


Figure 40 : Comparaison entre la SST simulée (modèle CORSE) et mesurée par le satellite NOAA19, à la station Canal-Corse (cf Figure 26), sur la période Avril-Mai-Juin. Le cadre vert contient un certain nombre d'indicateurs statistiques (Allen et al, 2007, cf Annexe, §2).

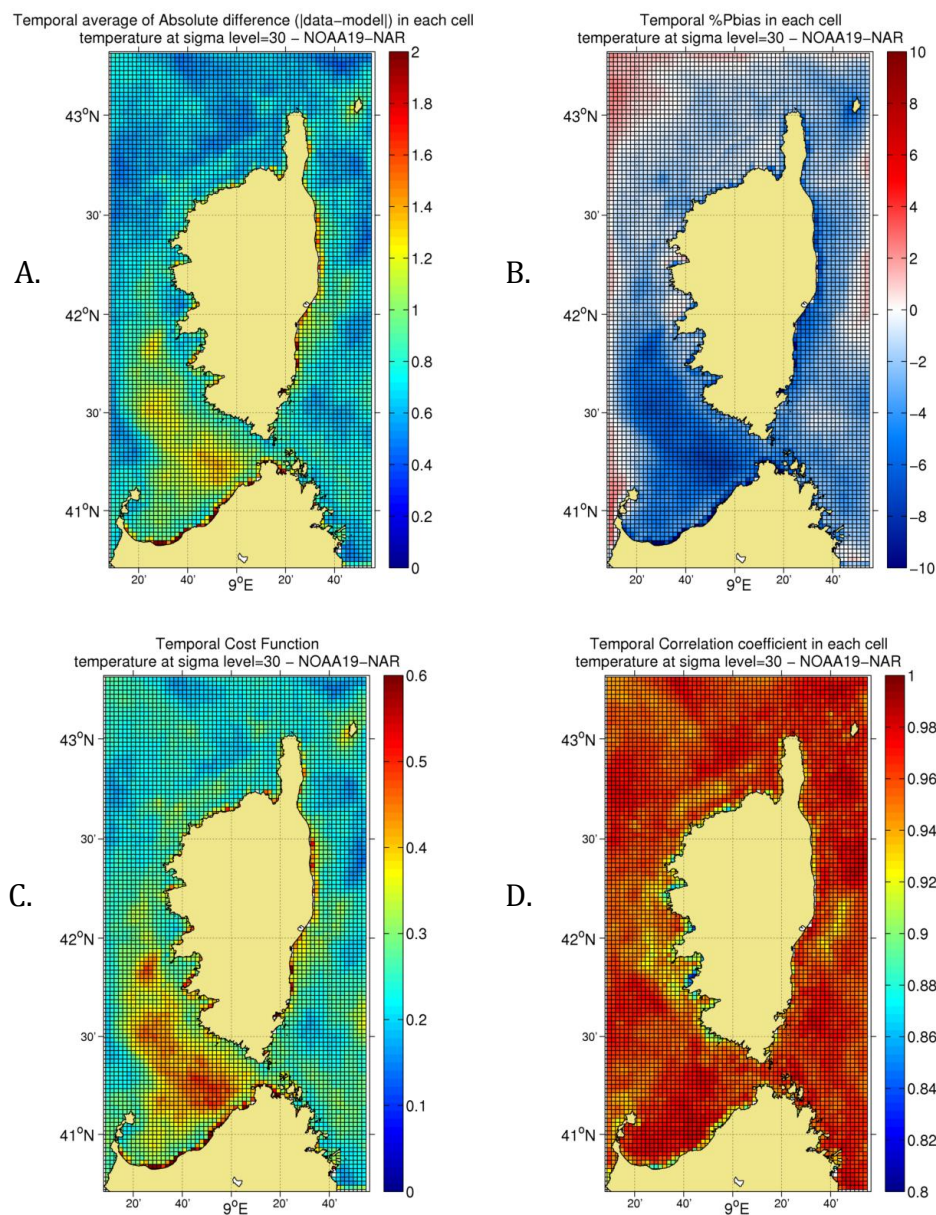
La Figure 41 présente les valeurs spatiales de ces mêmes indicateurs statistiques. Une grille de résolution moyenne 2.4 km a été générée : pour chacune des cellules, la moyenne spatiale de la SST simulée et mesurée a été calculée, pour l'ensemble des dates

possibles. Les séries temporelles au sein de chaque cellule ont ensuite permis de calculer les différents indicateurs.

La zone Sud-Ouest du domaine apparaît ainsi comme la moins bien reproduite par le modèle, en particulier à l'Ouest des bouches de Bonifacio : la différence absolue est d'environ 1.3°C, et le %Pbias (7%) montre que le modèle surestime la température.

Le modèle surestime la SST, sauf tout le long de la frontière Ouest, et sur la partie Nord de la frontière Est (cf %Pbias). La zone du Canal de Corse apparaît particulièrement bien reproduite par le modèle, avec les valeurs les plus faibles des différents indicateurs.

Les valeurs du coefficient de corrélation temporelles sont particulièrement élevées sur l'ensemble de la zone (supérieur à 0.9). Des valeurs légèrement plus faibles se retrouvent le long de la côte Ouest, ainsi qu'au large de Solenzara.



**Figure 41: Carte spatiale des indicateurs statistiques comparant les valeurs mesurées (satellites) et simulées. A : différence absolue. B : %PBias. C : « Cost Function ». D : Coefficient de corrélation. Voir texte et Annexe pour plus d'informations.**



## 4.2 Courants

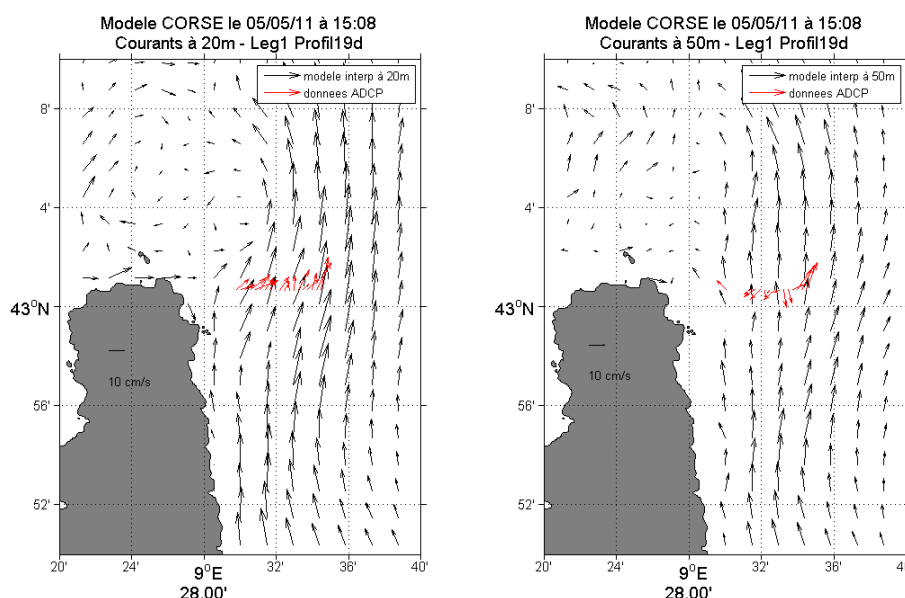
Sept profils ADCP de la campagne MELBA, traités par nos soins, sont dans l'emprise du modèle CORSE et devaient permettre d'évaluer le modèle. Le traitement des données ADCP a révélé que seuls quatre profils sont exploitables (cf §2.2.2.2). Les profils 55 à 57 du Leg2 ne peuvent en effet pas être corrigés de manière certaine par rapport au désalignement du cap. Les parties centrales des profils 55 et 56, où les différentes corrections de cap s'accordent, sont tout de même utilisées pour évaluer le modèle.

Les mesures de courant ADCP sont comparées le long de chaque profil avec les valeurs simulées par le modèle à la date (heure) la plus proche de la date de milieu de profil.

### 4.2.1 Secteur du Cap Corse (Leg1)

Les profils verticaux sont illustrés sur les Figure 17 et Figure 18 du § 2.3.2.1.

A l'Est du cap Corse (profil 19), la structure barocline de la composante méridienne des courants mesurés par l'ADCP est mal reproduite par le modèle avec une inversion des courants en profondeur (alors dirigés vers le Sud) qu'à partir de 140m au lieu de 40m. La structure barocline des courants est par contre mieux reproduite sur la composante zonale avec des courants dirigés vers l'Est en surface puis vers l'Ouest dès 40m de profondeur. Les cartes des courants horizontaux (Figure 42) à deux profondeurs résument bien ces résultats.



**Figure 42 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP (rouge) et simulés par le modèle CORSE (noir) à 20m (gauche) et à 50m (droite) de profondeur le long du profil 19 du Leg1.**

Au Nord du Cap Corse (profil 20), un courant barotrope dirigé vers l'Est est présent dans les mesures ADCP tandis que dans le modèle les courants semblent être barotropes mais plus variable en direction le long du profil à cause de fines structures sub-mésoséchelles (Figure 43).

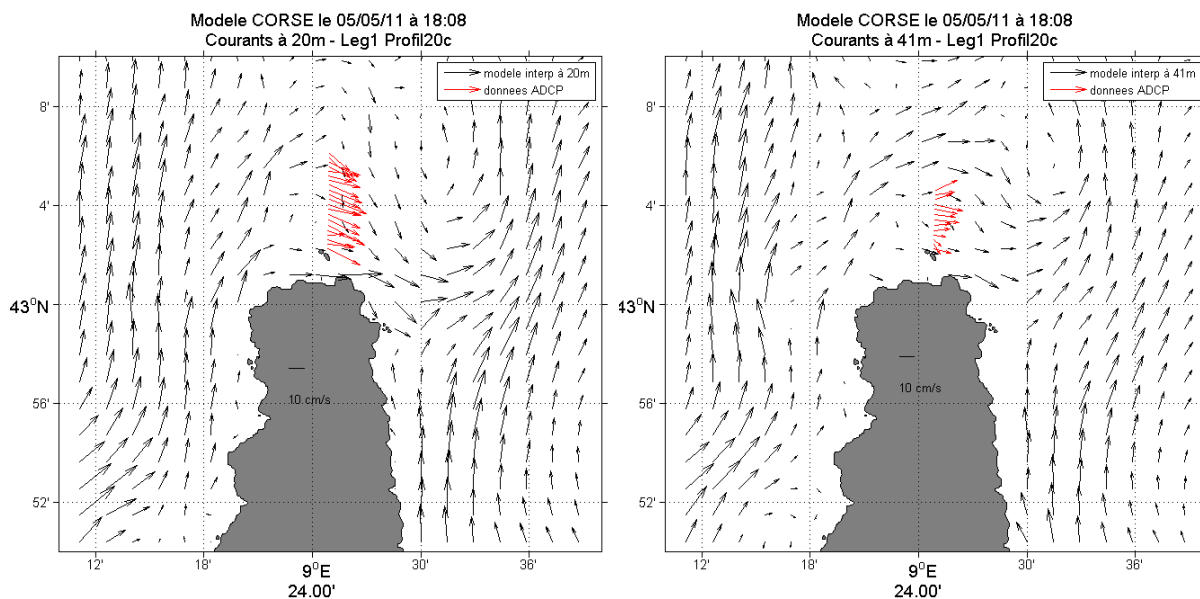


Figure 43 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP (rouge) et simulés par le modèle CORSE (noir) à 20m (gauche) et à 41m (droite) de profondeur le long du profil 20 du Leg1.

#### 4.2.2 Secteur du canal de Corse – Bastia (Leg2A, Leg3A)

##### 4.2.2.1 Leg2A, étang de Biguglia

Les profils verticaux sont illustrés sur la Figure 19 du §2.3.2.2.

Dans le canal de Corse, au large de l'étang de Biguglia, le modèle reproduit bien la structure verticale des courants mesurés par l'ADCP. En surface, les courants convergent vers le Nord aux alentours de 9°37'E tandis qu'en profondeur un courant côtier dirigé vers le Sud apparaît. D'après les sorties du modèle Corse (Figure 44), un contre-courant dirigé vers le Sud est présent depuis la surface jusqu'au fond très près de la côte, plus on s'éloigne au large, plus le courant dirigé vers le Sud s'enfonce en profondeur.

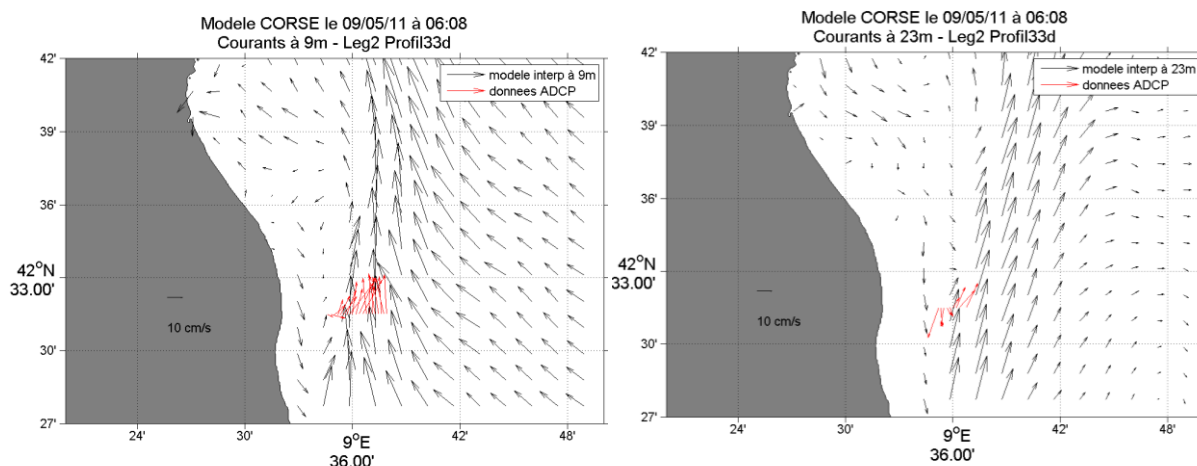


Figure 44 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP (rouge) et simulés par le modèle CORSE (noir) à 9m (gauche) et à 23m (droite) de profondeur le long du profil 33 du Leg2.

##### 4.2.2.2 Leg3A, Bastia/île d'Elbe

Les profils verticaux sont illustrés sur la Figure 22 du §2.3.2.4.

Le 15 mai 2011, dans le canal de Corse, la structure verticale des courants mesurés par l'ADCP n'est pas du tout reproduite par le modèle avec des courants très faibles  $\sim 6$  cm/s, soit 6 fois moins forts que les courants mesurés. La représentation des courants modélisés sur une carte horizontale (Figure 45) révèle qu'en fait le modèle ne reproduit pas au bon endroit le tourbillon cyclonique observé. Il est en effet situé trop au Sud dans le modèle mais avec un bon diamètre de l'ordre de 20km. Dans le modèle, il est généré le 11 mai 2011 dans le renforcement de la baie de Bastia puis est advecté vers le Sud Est.

Les structures méso-échelles semblent donc être bien reproduites dans le modèle mais avec un déphasage spatio-temporel.

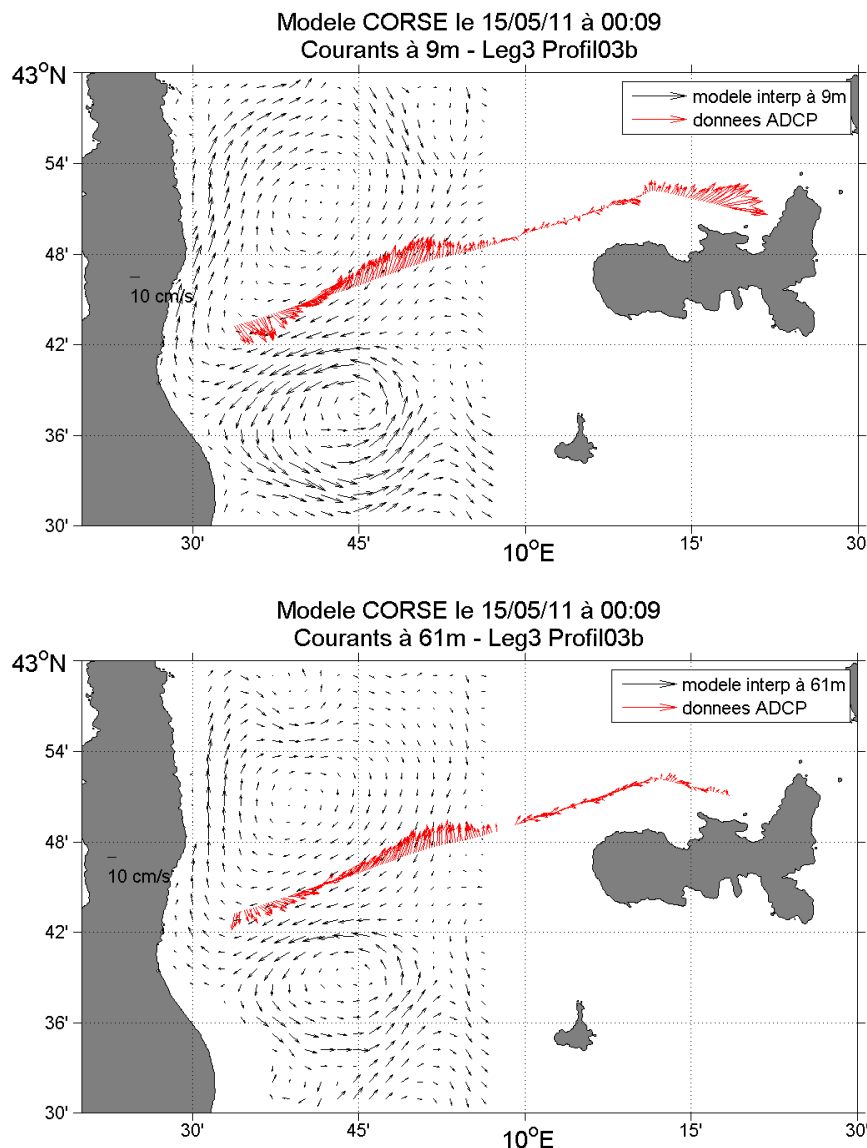
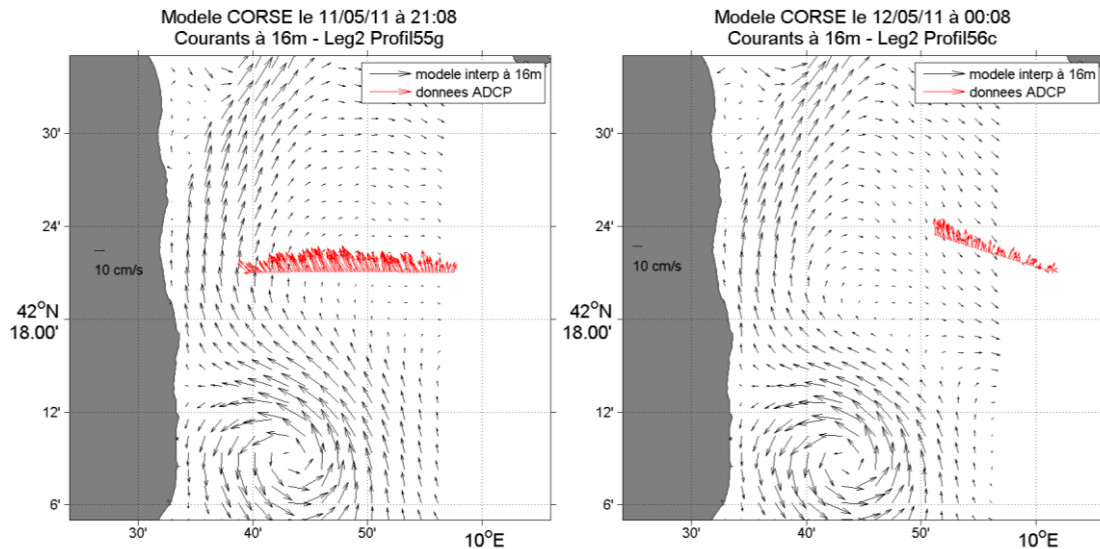


Figure 45 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP (rouge) et simulés par le modèle CORSE (noir) à 9m (haut) et à 61m (bas) de profondeur le long du profil 3 du Leg3.

#### 4.2.3 Secteur du canal de Corse – Alistro (Leg2B)

Les profils verticaux sont illustrés sur les Figure 20 et Figure 21 du §2.3.2.3.

Comme indiqué au § 2.2.2.2, les profils 55 et 56 sont illustrés ci-dessous (Figure 46) uniquement pour mettre en évidence la présence d'un courant dirigé vers le Nord-Ouest sur les 60 premiers mètres de profondeur entre 9,66°E et 9,96°E le 11 mai 2011. Le modèle ne reproduit pas cette veine de Courant Nord au centre du canal de Corse mais plus à la côte.



**Figure 46 : cartes des courants horizontaux mesurés par l'ADCP (rouge) et simulés par le modèle CORSE (noir) à 16m de profondeur le long des profils 55 (gauche) et 56 (droite) du Leg2.**

L'évaluation qualitative du modèle CORSE 400m avec les courants mesurés par ADCP ne donne pas de résultats suffisamment cohérents pour entreprendre une évaluation quantitative du modèle qui ait du sens.

### 4.3 Conclusions

A partir des données de la campagne MELBA et des données satellites, une première évaluation du modèle *CORSE 400m* a été réalisée.

Ce travail a permis de mettre en évidence que le modèle parvient à reproduire correctement l'évolution temporelle de la température de surface sur les mois d'Avril à Juin 2011. La structure verticale en température est également bien simulée par le modèle, comparée aux mesures ponctuelles réalisées lors de la campagne MELBA. Le défaut général est une surestimation de la température de surface, en particulier dans la zone Sud-Ouest de la grille du modèle.

L'analyse des mesures ponctuelles de courants par ADCP a montré que le modèle reproduit certaines structures méso-échelles, mais avec un déphasage spatio-temporel.

A partir des informations bibliographiques, cette étude a également montré que le modèle simule des masses d'eaux cohérentes, et les courants classiquement identifiés dans cette zone (courant Ouest et Est Corse). Les phénomènes d'upwelling à la côte (Côte Ouest) ou par pompage d'Ekman (Est de Bonifacio) sont également bien reproduits. Enfin, au niveau du canal de Corse, le modèle simule une inversion du flux (vers le Sud), rare mais déjà observée à cette période de l'année.

## 5 Avis d'expertise / Recommandations

---

Forts des conclusions des validations préalables, des recommandations peuvent être proposées sur des futures stratégies de modélisation et d'échantillonnage *in situ* à adopter en vue de la validation d'un modèle.

### 5.1 Stratégies modélisations

#### 5.1.1 Forçages météorologiques

Les forçages météorologiques sont produits par le modèle MM5 d'ACRI-ST. Ce modèle a pu être validé par de nombreuses études.

Dans ce rapport, nous avons également pu montrer une rapide évaluation de la qualité de ces simulations, en particulier en température. Ainsi, la surestimation générale de la température de surface par le modèle *CORSE 400m* ne serait pas due aux données de ce forçage. Une étude pourrait être menée à l'avenir sur l'application des flux de chaleur dans MARS3D dans cette configuration.

Les phénomènes d'upwelling bien reproduits par le modèle *CORSE 400m* montrent également que les vents issus du modèle MM5-ACRI-ST sont pertinents. Cependant, il est possible que les décalages spatio-temporel de certaines structures méso-échelles puissent être produits par des vents mal simulés, en particulier sur les zones proches de la côte (effet topographique important)

#### 5.1.2 Forçages aux frontières

Les forçages aux frontières sont produits par le modèle MENOR.

L'analyse des températures de surface a montré que les températures sur les bordures du domaine sont trop froides par rapport aux données satellites, et par rapport au modèle *CORSE 400m*. La différence de température simulée par les deux modèles semble donc importante.

De plus, il apparaît nettement que la bordure Ouest du domaine est mal simulée (Figure 26) : tout le long de la bordure Ouest, un fort courant vers le Sud est visible en surface dans la moyenne des courants sur les mois d'avril-juin. Ces courants, non réalistes, semblent en outre bloquer les eaux issues du Sud entre la côte et la frontière : cela pourrait expliquer que la température dans cette zone est particulièrement surestimée.

La frontière Est est placée à une longitude de 9.94°E. Ainsi la zone du canal de Corse apparaît particulièrement incomplète : en particulier, l'île d'Elbe ne fait pas partie de la grille de calcul. Dans les simulations, le courant Est Corse se retrouve ainsi trop plaqué le long de la Corse. Les masses d'eaux rejoignent la mer Ligure uniquement entre le cap Corse et l'île de Capraia, alors qu'il est possible qu'un flux non négligeable traverse le passage entre les îles d'Elbe et de Capraia.

#### 5.1.3 Recommandations

Trois majeures conclusions ressortent de cette étude :

- Améliorer la température de surface nécessite de travailler sur les formulations des flux de chaleur à l'interface air-mer : techniquement, il faut modifier : la `namelist &nmlthermo` dans `paraspec.txt` et le paramètre `sflx_rad_maxdepth` dans `paramain.txt`). Dans un second temps, il pourrait être

intéressant d'essayer de mieux valider en température le modèle météorologique MM5-ACRI-ST.

- Il est nécessaire d'optimiser la condition aux frontières Ouest. Modifier le modèle MENOR étant trop lourd, il faudrait améliorer l'application de cette condition en testant différentes formulations et tailles de la « sponge layer ». Techniquement, il faut modifier les « namelist » *&namobc* et *&namvisc* dans *paraspec.txt*.
- Il semblerait opportun d'agrandir la grille de calcul à l'Est afin d'inclure la mer de Toscane et l'île d'Elbe. Les transports des masses d'eaux vers la mer Ligure seront ainsi beaucoup mieux représentés. Le seul inconvénient sera que les temps de calcul seront par conséquent nettement plus longs.

## 5.2 Recommandations manipulations ADCP

### 5.2.1 ADCP tracté

#### 5.2.1.1 Généralités

Avant le début de chaque campagne de mesure, il est important de se renseigner sur les différentes sources de cap et de navigation disponibles à bord du navire de recherche pour choisir la configuration la plus adaptée à la manipulation de l'ADCP tracté.

Pendant la campagne, il est primordial de vérifier que les trames NMEA connectées au PC d'acquisition de l'ADCP correspondent aux bonnes sources de cap et navigation et de contrôler au cours de l'acquisition des données qu'aucune perte de sources n'a lieu.

Lorsque l'ADCP n'est pas solidaire du bateau (tracté sur le poisson d'Ifremer), ou lorsqu'il est envisagé d'utiliser le compas interne de l'ADCP, il est indispensable d'effectuer une opération de calibrage avant la mesure (se référer à RDI).

De retour de campagne, il ne faut pas oublier que la mesure ADCP est un signal acoustique dont la qualité dépend de l'environnement dans laquelle elle est acquise (bruit électrique, interférences avec d'autres instruments acoustiques, bulles d'air, effet biologique,...) et dont il est nécessaire de vérifier la validité avant d'analyser les courants mesurés.

#### 5.2.1.2 ADCP sur perche

Lorsque l'ADCP est installé sur une perche solidaire du navire, il est préférable d'utiliser une source de cap venant du navire (trame HDT ou HDG) plutôt que le compas magnétique de l'ADCP pour éviter les erreurs de cap dues aux perturbations magnétiques de la structure environnante (perche + coque) de l'ADCP.

Lorsque des trajets du navire de recherche sont effectués au-dessus de fonds supérieurs à la limite de détection de l'ADCP, il faut dans la mesure du possible réaliser une partie du trajet avec le même cap au-dessus de fonds détectés par l'ADCP pendant 15 à 20 minutes (pour avoir la correction de cap à appliquer au reste du profil en supposant que la perche n'a pas de mouvement de liberté par rapport au bateau).

#### 5.2.1.3 ADCP sur le « poisson » de l'Ifremer

Lorsque l'ADCP est tracté par le poisson de l'Ifremer, l'idéal serait qu'un gyrocompas associé à une centrale d'attitude de haute précision de type OCTANS soit installé sur ce dernier.

A défaut, il est possible d'utiliser une source de cap venant du navire ou celle du compas magnétique interne de l'ADCP. Il faut alors éviter de faire des mesures d'ADCP



tracté par le poisson de l'Ifremer au-dessus de fond hors de portée de l'ADCP car la correction de cap dans cette configuration est difficile voire impossible.

### 5.3 Planification de futures campagnes de validation

La poursuite de l'évaluation du modèle *CORSE 400m* nécessitera certainement l'acquisition de nouvelles données océanographiques. En effet, les images satellites sont une source importante de données pour la surface, mais seuls des campagnes à la mer ou des mouillages permettent de mesurer la structure verticale de l'océan.

Nous proposons ici un certain nombre de recommandations concernant la stratégie d'acquisition de données :

- Des mouillages ADCP : ces mouillages permettraient de mieux cerner la structure verticale des courants et d'en estimer la variabilité saisonnière. Un mouillage dans le passage Cap Corse-Capraia permettrait de mieux comprendre l'alternance Nord-Sud des courants, de vérifier l'hypothèse de courants barotropes, et de réaliser des calculs de flux du courant Est Corse. Un mouillage (voire deux : un à l'Ouest et l'autre à l'Est) dans les bouches de Bonifacio (si réalisable par rapport au trafic maritime et à la bathymétrie) permettrait d'étudier l'alternance Est-Ouest des courants.
- Des radiales ADCP de coque ou à défaut ADCP tracté (de préférence sur perche si fonds supérieurs à la portée de l'ADCP ou sur hydronef si équipé d'un OCTANS). Il serait particulièrement intéressant de réaliser des radiales fermant des sections de la côte à la côte afin de pouvoir estimer des flux. Pour le secteur Cap Corse, nous suggérons des radiales Cap Corse-Capraia, et entre les îles de l'archipel toscan (Capraia-Elbe, Elbe-Pianosa, Pianosa-Montecristo et Montecristo-Giglio). Pour le canal de Corse (de Bastia jusqu'au Sud de la Corse), il serait intéressant d'effectuer un maillage systématique de radiales Est-Ouest. L'espacement entre ces radiales devrait être en adéquation avec l'échelle spatiale des structures tourbillonnaires mises en évidence (~20km). Compléter ce maillage par un maillage de radiales Nord-Sud et Est-Ouest entre la Corse et la Sardaigne pour identifier le devenir des masses d'eau traversant les bouches de Bonifacio (cf missions CYRCE).
- Pour toutes ces radiales, il est important de faire des trajets aller-retour pour identifier la présence de phénomènes transitoires tels que des oscillations d'inertie.
- Profils CTD : dans le cadre d'une campagne à la mer dédiée, un maillage régulier de profils CTD nous semblerait plus performant. En dehors des zones classiques du Canal de Corse et du plateau toscan, il serait intéressant de concentrer les efforts de mesures sur le plateau au Sud-Ouest de la Corse.
- Mouillages température-salinité : ces mouillages en quelques points clés (cg mouillages ADCP) permettraient d'améliorer l'estimation du modèle sur la verticale. On peut cependant noter l'existence de séries côtières de température conduites par la réserve naturelle de Scandola et la réserve internationale des bouches de Bonifacio – Office de l'Environnement de la Corse ([www.tmednet.org](http://www.tmednet.org)).



# Bibliographie

- Albérola, C. and Millot, C., 2003. Circulation in the French mediterranean coastal zone near Marseilles: the influence of wind and the Northern Current. *Continental Shelf Research* 23, 587-610.
- Artale, V., Astraldi, M., Buffoni, G., Gasparini, G.P., 1995. Seasonal variability of gyre-scale circulation in the northern Tyrrhenian Sea. *Journal of Geophysical Research*, 99 C7, 14,127-14,137.
- Astraldi, M., Gasparini, P., Manzella, G.M.R., Hopkins, T.S., 1990. Temporal variability of currents in the eastern Ligurian Sea. *Journal of Geophysical Research* 95, 1515-1522.
- Astraldi, M. and Gasparini, G.P., 1992. Seasonal characteristics of the circulation in the western Mediterranean basin and their relationships with the atmospheric-climatic conditions. *Journal of Geophysical Research* 97, 9531-9540.
- Conan, P., Pujol-Pay, M., Raimbault, P., Leveau, M., 1998. Variabilité hydrologique et biologique du golfe du Lion. I. Transports en azote et productivité potentielle. *Oceanologica Acta* 21, 751-765.
- Font, J., 1987. The path of LIW to the Alboran Sea. *Deep Sea Research* 34, 1745-1755.
- Gasparini, G.P., and Astraldi, M., 2002. Experimental evidence of the interannual variability of currents in two Mediterranean straits : the Strait of Sicily and the Corsica Channel. CIESM Workshop Series n°16, Monaco.
- Millot, C., 1987. Circulation in the western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta* 10, 143-149.
- Millot, C., 1999. Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems* 20, 423-442.
- Millot, C., and Taupier-Letage, I., 2005. Circulation in the Mediterranean Sea. *The Handbook of Environmental Chemistry*, volume K, may 2005, 29-66.
- Moen, J., 1984. Variability and mixing of the surface layer in the Tyrrhenian Sea: MILEX-80, final report, SACLANTCEN Rep. SR-75, 128 pp., SACLANT Res. Cent., La Spezia, Italy.
- Philippe, M., and Harang, L., 1982. Surface temperature fronts in the Mediterranean from infrared satellite imagery, PP. 91-128, in Hydrodynamics of Semi-Enclosed Seas: Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Liège Colloquium on Ocean Hydrodynamics, Elsevier, Amsterdam.
- Robinson, A.R., J. Sellschopp, W.G. Leslie, R. Onken, A. Alvarez, G. Baldasserini, P.J. Haley, Jr., P.J.F. Lermusiaux, C. J. Lozano, E. Nacini, R. Stoner and P. Zanasca, 2002. [Real-](#)

[time Forecasting of Synoptic Transients in the Eastern Ligurian Sea](#) *Journal of Marine Systems*, submitted.

Vignudelli, S., Cipollini, P., Astraldi, M., Gasparini, G.P., Manzella, G., 2000. Integrated use of altimeter and in situ data for understanding the water exchanges between the Tyrrhenian and Ligurian Seas. *Journal of Geophysical Research*, 105 C8, 19,649-19,663.