

PROGRAMME NATIONAL
"Les Enveloppes Fluides et l'Environnement "

DEMANDE DE FINANCEMENT
Formulaire détaillé

Rappel : *une demande de financement comprend la fiche abrégée et le formulaire détaillé*

La demande de financement doit parvenir par courrier électronique. L'envoyer en format PDF ou DOC, en document attaché, à : lefe@cns-dir.fr.

Le document attaché doit être nommé avec les informations minimum suivantes : LEFE-ACTION-nom du responsable scientifique

N.B. Un exemplaire signé par le directeur de laboratoire doit parvenir par courrier postal à Solange Lassalle INSU Cellule Programmes - BP 287-16 - 75766 Paris cedex 16

ACTION (S) CONCERNÉE(S) (cocher la ou les cases dont relève le projet)

- Chimie Atmosphérique (CHAT)
- Evolution et variabilité du climat à échelle globale (EVE)
- Cycles biogéochimiques, Environnement et Ressources (CYBER)
- Interactions et Dynamique de l'Océan et de l'Atmosphère (IDAO)**
- Assimilation de données

- Lettre d'intention pour une nouvelle API

Ce projet est-il aussi soumis à d'autres programmes nationaux ? **NON**

Si oui, indiquez lesquels (PNTS, ECCO, TOSCA...) :

Remarque : prévision de soumission en 2006 au GMMC si appel d'offre.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DU PROJET (nom, prénom et qualité) :

Laurent Mortier (modélisation) et Isabelle Taupier-Letage (observations). La responsabilité des propositions faites au PATOM a été assurée en alternance par ITP et LM.

LABORATOIRE DU PROPOSANT (intitulé, appartenance, adresse et téléphone, e-mail) :

Laboratoire d'Océanographie et de Climat : Expérimentation et Approches Numériques (LOCEAN)

LOCEAN, tout 45-55 4ème ét., 4 place Jussieu, 75 252 PARIS CEDEX 5

Tel : 01 44 27 72 75, Fax : 01 44 27 38 05, mortier@lodyc.jussieu.fr

Si le laboratoire est associé au CNRS, indiquer explicitement les nom et prénom du Directeur du Laboratoire, les références de la formation CNRS de rattachement (n° UMR ou UPR, etc...) :

Directrice de l' UMR 7159: Laurence Eymard

Titre du projet :

EGYPT (Eddies and GYres Paths Tracking)

Résumé du projet (maximum 500 mots):

Par des mesures in situ appropriées, et leur confrontation avec les produits PSY2 de MERCATOR et les simulations du GCM MED16, nous nous proposons de tester les résultats que nous avons récemment déduits de l'analyse de l'imagerie infrarouge et de la modélisation, en nous concentrant dans un premier temps sur la circulation générale superficielle en Méditerranée orientale. Ces résultats s'accordent en effet pour montrer que cette circulation générale s'effectue, dès le canal de Sicile puis dans l'ensemble du bassin oriental, essentiellement le long de la pente continentale. Ils s'opposent donc radicalement aux schémas de circulation proposés jusqu'à présent qui décrivent quant à eux une circulation traversant l'ensemble du bassin dans sa partie centrale. Nos résultats quant à la turbulence de moyenne échelle sont également tout à fait originaux.

Forts de l'expérience que nous avons acquise dans le bassin occidental, nous nous proposons de mettre en œuvre en 2005 et 2006 essentiellement des bouées dérivantes qui seraient larguées en deux zones-clés : la zone côtière tunisienne dans le canal de Sicile et la zone côtière égyptienne dans le sous-bassin levantin où seront également déployés des profileurs PROVOR. Ces mesures permettront de décrire efficacement, en surface et dans la partie sud du bassin oriental, la circulation générale et la turbulence de moyenne échelle qu'elle induit. Leur analyse, ainsi que celle des produits dérivés de la modélisation, devrait contribuer à préciser le rôle majeur que semble jouer la topographie pour ce qui concerne tant la stabilité de la circulation que le détachement des tourbillons de moyenne échelle de cette circulation, ainsi que le déplacement qu'ils ont par la suite. Dans un deuxième temps, EGYPT sera dédié à l'étude spécifique des tourbillons grâce à des mouillages courantométriques d'avril 2006 à mi-2008 et des campagnes hydrologiques.

L'objectif de la demande n'est donc pas limité à une meilleure description de la circulation de surface dans le sud de la Méditerranée orientale. Il est aussi de poursuivre une étude de processus, entreprise en Méditerranée occidentale, sur le rôle de la topographie quant à la dynamique d'un courant de bord dans une mer marginale et celle des tourbillons résultants des instabilités de ce courant. A plus long terme, ce projet devrait permettre de préciser le rôle de ces tourbillons dans le flux d'eau atlantique de surface vers la zone de formation d'eau levantine intermédiaire située au nord du sous-bassin levantin.

Durée du contrat demandé : 2004-2007. La première demande relative à ce projet a été faite au PATOM lors de appel d'offre 2004 pour une durée de 3 ans.

Nombre de personnes collaborant au projet (en équivalent temps plein – indiquer la ventilation par année) : 6,9 ETP en mi-2006/mi-2007

Budget demandé au programme LEFE (indiquer la ventilation par année sur la durée du contrat): **14 300 euros** demandés pour la période mi-2006/mi-2007

Statut du Projet (nouveau, déjà engagé) : déjà engagé

Visa *obligatoire* du Directeur de la formation

Signature du demandeur :

Historique des demandes PATOM, GMMC et commission OPCB Projets pour 2006 et 2007

SALTO-2 : réponse à l'AO2003 du PATOM. Projet proposé pour la période 2003-2004. Classement A, financement 4000 euros en 2003.

MEMO : réponse à l'AO2003 du PATOM. Classement B, non financé. Le CS PATOM recommande que cette demande soit fusionnée avec SALTO-2 en 2004.

BOMOMO : réponse à l'AO2004 du PATOM. Projet proposé pour la période 2004-2006. Classement A, financement 24000 euros en 2004 qui ne couvrent que l'achat des bouées de surface. BOMOMO fusionne les projets SALTO-2 et MEMO. Suivant les recommandations du CS PATOM, BOMOMO a été rebaptisée EGYPT-P (Eddies and Gyres Paths Tracking - PATOM) pour une meilleure visibilité du projet EGYPT et nous avons soumis le projet au GMMC pour obtenir des PROVORs.

EGYPT-1 : réponse à l'AO2004 de la commission OPCB. Demande de campagne pour 2005. Classée non prioritaire. Cf. évaluation par la commission OPCB à http://www.ifremer.fr/lobtln/EGYPT/rapport_evaluation_EGYPT1_2004.pdf

EGYPT-MC : réponse à l'AO2004 du GMMC. 5 PROVORs accordés et financement 4400 euros pour le fonctionnement.

EGYPT-1 : réponse à l'AO2005 de la commission OPCB. Demande de campagne pour 2005. Classée prioritaire et temps bateau accordé part la suite sur le FS Poseidon de l'IFM-Kiel.

EGYPT-P : réponse à l'AO2005 du PATOM. Projet prolongé jusqu'en 2007. Financement accordé 21500 euros.

EGYPT-MC : réponse à l'AO2005 du GMMC. 5 PROVORs accordés et financement 8000 euros pour le fonctionnement et les missions.

EGYPT-2 : Intention transmise à l'INSU d'une demande de campagne à l'AO2007 de la commission OPCB en mi-2008 pour la récupération des mouillages.

EGYPT : Réponse à l'AO2006 LEFE-IDAO. Cette demande.

EGYPT : Projet de réponse à MERCATOR/CORIOLIS pour la valorisation de transits.

Préambule

Cette troisième proposition EGYPT inclut, comme les précédentes, les études relatives au canal de Sicile. Ces études ont été initiées en 2003 par le premier projet SALTO-2 soutenu par le PATOM, puis incluses dans notre première demande EGYPT de 2004 à la demande du CS PATOM. Le projet de campagne EGYPT-1 ayant été repoussé en 2006, le projet initial prévu pour 2004-2006 est prolongé jusqu'en 2007.

Les crédits alloués en 2004 par le PATOM (et à dépenser avant la fin 2004 !) ont été intégralement utilisés pour l'achat des bouées dérivantes. Le modèle SVP-II de Clearwater a été sélectionné après consultation des utilisateurs et considération des prix et nous avons pu en acheter 16. Les crédits alloués en 2005 par le PATOM ont été utilisés pour les mouillages EGYPT-1. Les crédits GMMC accordés en 2004 et 2005 ont été utilisés en 2004 et 2005 pour les différentes missions, notamment celles associées au largage des bouées de surface et des profileurs, le poste missions n'ayant pas été pourvu par le PATOM.

La proposition EGITTO de P.M. Poulain (OGS) à l'ONR a été financée, procurant ainsi un complément d'une cinquantaine de bouées dérivantes pour le Canal de Sicile et le sous-bassin Levantin de même que le financement pour deux ans d'un post-doc. Un résumé est fourni en annexe.

Karine Béranger a été recrutée à l'ENSTA en tant qu'enseignant chercheur en octobre 2004. Son programme de travail concerne directement plusieurs des objectifs de EGYPT. Pierre Testor a été recruté au CNRS et affecté au LOCEAN. La proximité thématique de son projet (dynamique du courant de bord sur le talus du Golfe du Lion étudié à l'aide de gliders) avec EGYPT l'amène à contribuer au projet. A l'horizon 2008, il est d'ailleurs envisageable de déployer certains des gliders en cours de déploiement en Méditerranée Nord-Occidentale dans le bassin oriental.

NB : Les dossiers d'EGYPT et les évaluations par les programmes sont accessibles sur www.ifremer.fr/lobtln/EGYPT

1. Intérêt scientifique

1.1 Introduction, objectifs

Les mers marginales (par mers marginales on entend ici les bassins semi-fermés, ouverts sur l'océan par un ou plusieurs détroits, et dont le bilan de flottabilité est négatif) sont l'objet d'un regain d'intérêt dans les publications théoriques - notamment après le 'Labrador Sea Deep convection Experiment' (Labrador Sea Group, 1988) - car elles sont le lieu privilégié de formation de masse d'eaux qui à l'échelle régionale ou globale joue un rôle majeur. De ces études, il devient clair au plan théorique que les courants de bord jouent un rôle essentiel pour équilibrer le bilan de flottabilité négatif : en raison de leur caractère instable, contrôlé le plus souvent par la forme du bassin profond, les courants de bord sont la source directe du flux latéral de flottabilité vers la zone de convection, flux associé à l'instabilité barocline du 'rim current' résultat de la convection (Spall, 2004) d'une part, ou bien flux liés à des tourbillons éjectés par la branche supérieure chaude d'autre part, comme c'est le cas pour le courant d'Irmingier (Lilly et al., 2003).

Dans le cas des deux bassins de la Méditerranée, cette séparation est pertinente : il faut noter en effet les différences de comportement du courant de bord entre le nord et le sud des deux régions de convection (formation de WMDW en zone MEDOC dans le bassin ouest, formation de LIW dans le sud-est de l'île de Rhodes dans le sous-bassin Levantin¹) (Millot et al., 2005 ; Hamad et al., 2005) :

- plus stable au nord avec une activité à méso-submésoséchelle dont l'intensité augmente en hiver (Sammari, 1995) après la convection en rapport avec l'instabilité autour de la zone de convection,
- très instable toute l'année au sud - dans ce que l'on peut appeler la 'branche chaude' de la THC liée à l'apport d'AW par les détroits, soit le courant Algérien dans le sous-bassin Ouest et le courant Egyptien dans le sous-bassin Levantin - et source de tourbillons advectés vers l'intérieur du bassin.

L'objectif de EGYPT s'inscrit dans ce contexte. A partir d'observations in-situ dans le sud du sous-bassin Levantin, d'analyses opérationnelles et d'un modèle de circulation générale, il s'agit de caractériser la dynamique du courant de bord le long des côtes Libyennes et Egyptiennes et celle des tourbillons associés et de proposer une rationalisation des phénomènes observés à partir de modèles conceptuels - nature des instabilités et dynamique des tourbillons en rapport avec la topographie du talus et du bassin profond - et tenter d'évaluer la contribution de ces tourbillons au flux de chaleur vers le nord dans la région de convection. Dans la mesure où le courant Egyptien est étroitement dépendant des courants dans le canal de Sicile qui sont à l'origine du courant Egyptien et la source d'eau chaude de la THC en Méditerranée orientale, EGYPT inclut les objectifs de SALTO-2 initié en 2003 par une première demande au PATOM qui concernent la dynamique des courants de surface dans le canal de Sicile, leur variabilité saisonnière et interannuelle et leur relation au forçage thermohalin « lointain » (Molcard *et al.*, 2003).

Plus particulièrement, les observations in-situ réalisées pendant EGYPT doivent permettre de valider les premiers résultats qualitatifs relatifs à la circulation de l'eau d'origine atlantique (AW, couche 0-200 m) dans le bassin oriental de la Méditerranée déjà obtenus avec

¹ Notre terminologie est en annexe 1 ou en ligne sur www.ifremer.fr/lobtln

- des observations de SST : analyse de l'imagerie infrarouge et de données *in situ* par le LOB et l'INSTM (Hamad *et al.*, 2003, 2005) et
- des simulations numériques 'eddy resolving' : modèle MED16 par le LOCEAN (Alhammoud *et al.*, 2003 ; Béranger *et al.*, 2003b, Alhammoud, 2005)).

1.2 Les branches de surface de la THC en Méditerranée

On trouvera en annexe 2 une présentation bibliographique détaillée de deux régions d'intérêt, Canal de Sicile et sous-bassin Levantin.

Comme dans le bassin occidental, la circulation de AW en Méditerranée orientale est conditionnée par la topographie de manière complexe. Tant que cette circulation est relativement stable, elle suit les isobathes 0-200 m et a une largeur de quelques dizaines de km; elle décrit ainsi un circuit direct autour de tout un bassin et elle peut se diviser en deux veines lorsqu'elle rencontre un plateau continental, comme à l'entrée du golfe du Lion (Millot, 1997) ou à l'entrée du canal de Sicile. Mais, lorsqu'elle devient instable, elle génère essentiellement des tourbillons anticycloniques de moyenne échelle qui ont des diamètres de 100-200 km et, comme c'est le cas dans le bassin Algérien, des durées de vie jusqu'à plusieurs années (Puillat *et al.*, 2002) et une structure qui est anticyclonique parfois jusqu'au fond (~3000 m), (Millot et Taupier-Letage, 2003). Ces tourbillons suivent donc les isobathes les plus profondes en se détachant, dans des endroits privilégiés, de la circulation dont ils sont issus (comme dans le bassin algérien).

La validation de ces premiers résultats par des mesures *in situ* d'hydrologie (prévue en 2006-2008), de courantométrie lagrangienne (en 2005 et 2006) et eulérienne (prévue en 2006-2008), qui seront analysées en comparaison avec des mesures de télédétection et des simulations de modèles nous semble la première étape nécessaire pour proposer des modèles théoriques sur la dynamique des branches de surface de la THC dans le bassin oriental et plus particulièrement le sous-bassin Levantin.

Cette validation nous semble d'autant plus nécessaire que nos résultats s'opposent radicalement aux idées actuellement admises. Le schéma de circulation qui fait pour l'instant autorité (fig. 1) a été proposé par les animateurs du programme international POEM. Il décrit des traits qu'aucune théorie n'explique comme le Atlantic Ionian Stream (AIS) qui méandre dans le canal de Sicile puis, semble-t-il, dans la partie centrale du sous-bassin ionien ou le Mid Mediterranean Jet (MMJ) qui traverse en diagonale le sous-bassin levantin, ou encore la multitude de circuits de dimension moyenne donnés pour permanents, transitoires ou récurrents. Il ignore également ce qui se passe dans la partie sud du bassin, à l'évidence parce que très peu de données *in situ* y ont été acquises. Ceci est difficilement acceptable d'autant que i) une circulation directe tout autour du bassin a été suggérée depuis longtemps (Nielsen, 1912), ii) l'imagerie infrarouge, disponible depuis une trentaine d'années, n'a pas été suffisamment exploitée et iii) ce n'est pas parce que une région n'a pas été étudiée que rien ne s'y passe ! ! ! ! !

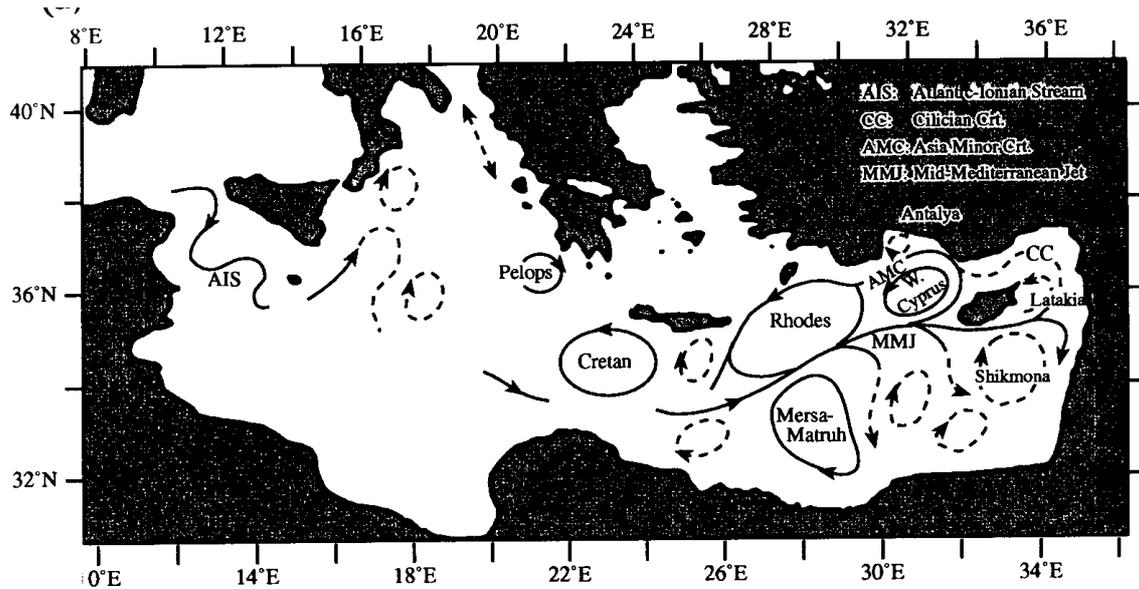


Figure 1: Schéma de la circulation de surface (Robinson et Golnaraghi, 1993). __: circuits permanents, ----: circuits transitoires ou récurrents

Ce schéma de la figure 1 contraste fortement avec les hypothèses que nous avons avancées il y a une dizaine d'années (Milot, 1992 ; Le Vourch *et al.*, 1992) et avec le schéma que nous avons récemment proposé (fig. 2 ci-dessous, Hamad *et al.*, 2003, 2005) à partir de l'analyse détaillée de l'imagerie infrarouge sur ces 15 dernières années .

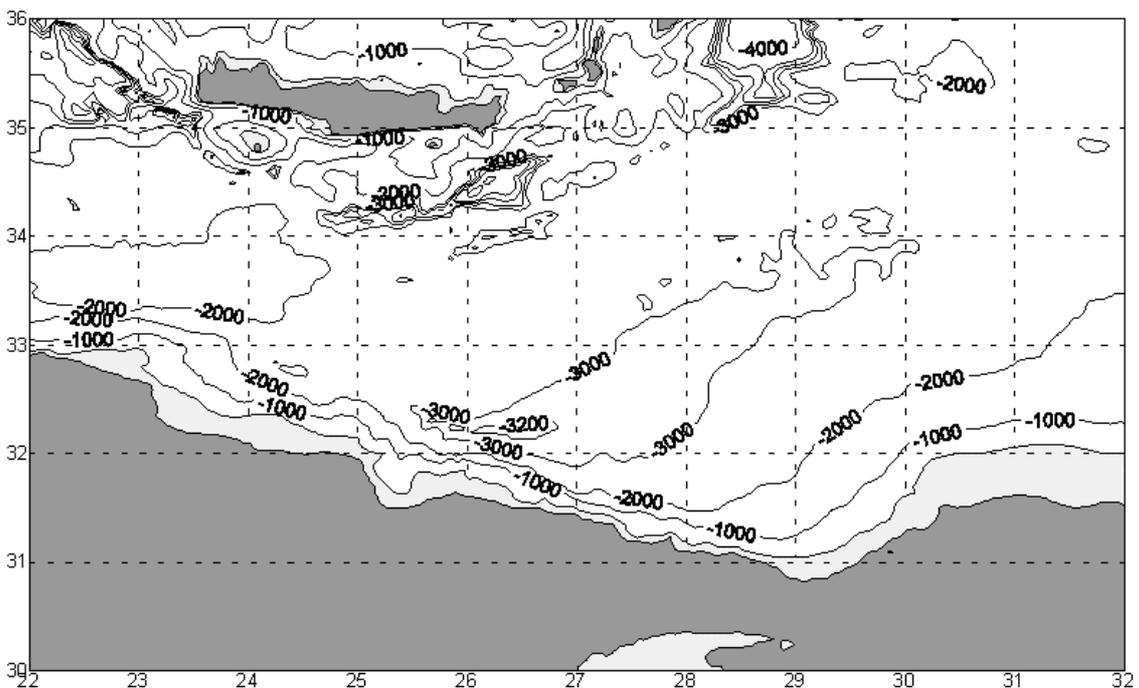


Figure 2a : Bathymétrie du sud du sous-bassin levantin

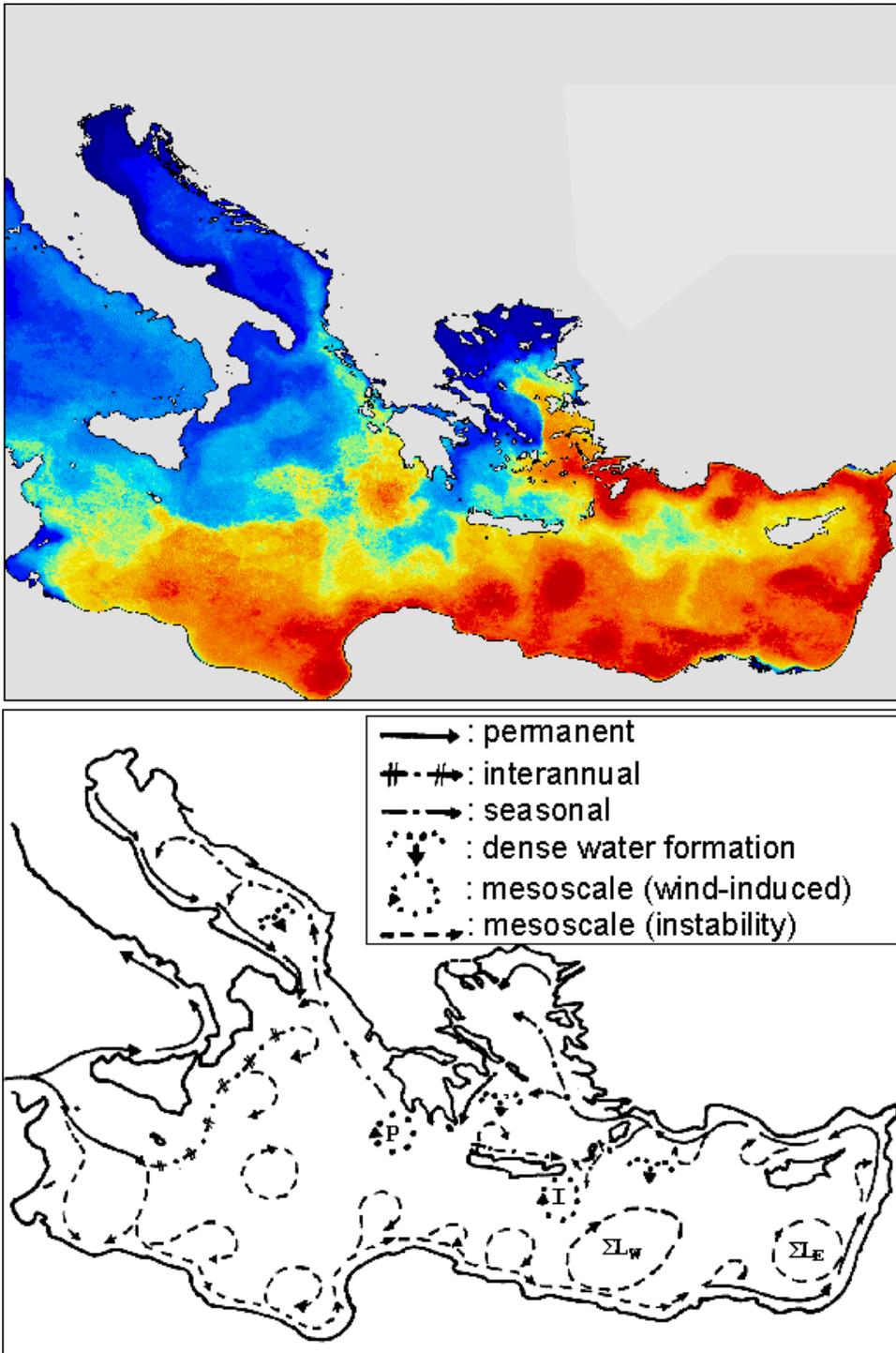


Fig.2b,c. Notre schéma est déduit de l'analyse d'images (essentiellement journalières) dans l'infrarouge (telle que la composite mensuelle de janvier 1998) pour lesquelles les températures décroissent du rouge au bleu (b). Les tourbillons induits par le vent P (Pelops) et I (Ierapetra) sont figurés là où ils sont créés, mais ils peuvent dériver sur plusieurs centaines de km. Les zones dénommées ΣL_w et ΣL_e sont des zones où la turbulence générée par l'instabilité de la circulation générale se concentre (nous n'avons pas retenu les dénominations Mersa-Matruh et Shikmona qui ne nous semblent pas traduire correctement les processus). **On peut imaginer qu'un échantillonnage in situ limité en latitude peut conduire à confondre la partie nord de tourbillons anticycloniques avec un courant traversant le bassin vers l'est ...comme indiqué sur la fig. 1 !**

Le schéma du LOB de la fig. 2 est en assez bon accord avec les derniers résultats de la modélisation du LOCEAN dans le canal de Sicile (fig. 3a) même si celle-ci suggère, entre autres, une veine collée à la Sicile, qui possède une variabilité interannuelle importante, qui

ne peut être validée par l'analyse de nos données de télédétection (fort signal associé à l'upwelling) et d'hydrologie (l'INSTM ne peut aller dans les eaux italiennes).

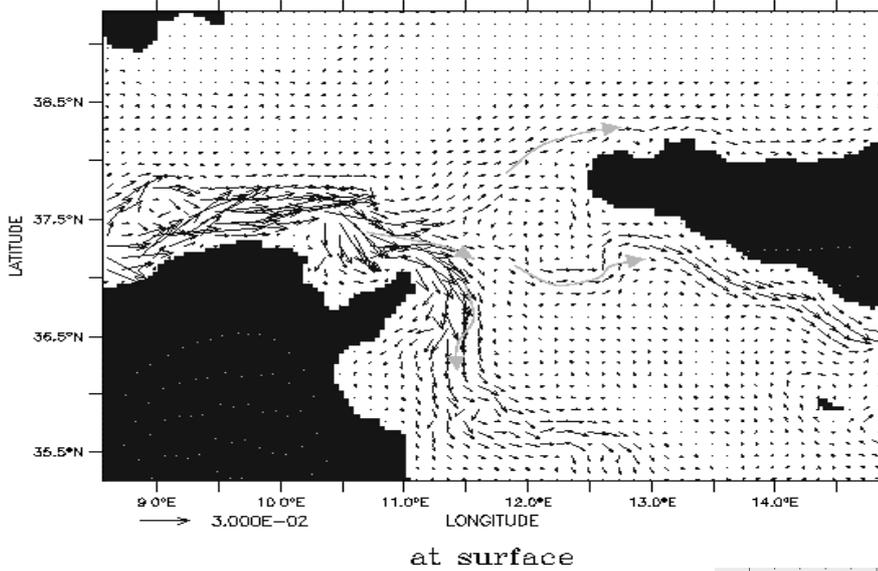
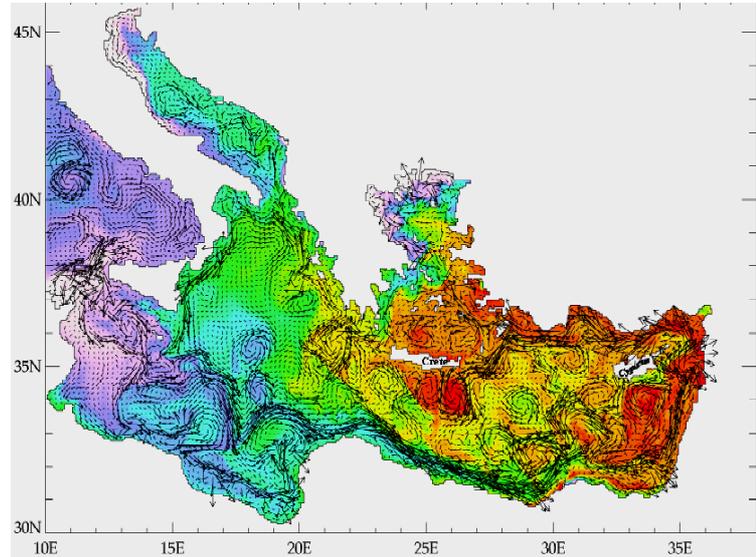


Fig. 3a : Circulation de surface dans le canal de Sicile. La topographie est la même que celle de MED16 mais il s'agit d'un zoom forcé uniquement par les gradients de densité entre la région du canal et les sous-bassins adjacents (d'après Molcard *et al.* 2002)

Fig. 3b : Circulation de surface dans le bassin oriental (moyenne hivernale), d'après Alhammoud *et al.*, 2003).



Notons que le schéma de la fig. 2 est aussi en très bon accord avec les résultats du GCM MED16 dans l'ensemble du bassin oriental, en particulier dans le sous bassin levantin (fig. 3b). En revanche, le schéma de la figure 1 (POEM) diffère de celui de la fig. 2 (dédit de notre analyse des données de télédétection et supporté par notre modélisation), ou du moins de la perception que nous avons des principaux traits de la circulation, sur deux points essentiels :

1 - Nous pensons que, lorsqu'elle est stable, la circulation de surface suit les isobathes correspondant à son épaisseur (de la côte jusqu'à la partie supérieure de la pente continentale) dans le sens direct. C'est donc dès l'entrée de AW par le canal de Sicile que notre perception s'oppose aux idées admises, et c'est donc dans cette région, et plus particulièrement du côté tunisien, que nous devons préciser cette circulation.

2 - Nous pensons que cette circulation le long de la côte/pente continentale est fortement instable. Elle génère des tourbillons de moyenne échelle qui ont une importance fondamentale quant à la circulation des masses d'eau sur toute la profondeur, et qui n'ont pas

du tout été pressentis comme tels par les études antérieures. Ces tourbillons ont, tout autour du bassin, des caractéristiques variables. Ils ont une structure complexe corrélée à la complexité de la topographie dans le sud du sous-bassin ionien, ils sont relativement énergétiques et bien organisés le long des côtes libyennes et égyptiennes dans le sous-bassin levantin. Ensuite, ils sont de plus petite taille le long des côtes du Moyen-Orient et de la Turquie.

1.3 Considérations pratiques

Compte tenu des problèmes d'accès dans cette région et de la lourdeur des procédures pour y faire intervenir des moyens importants et y mouiller des appareils dans la zone côtière concernée par la circulation générale, nous pensons que la mise en œuvre de bouées dérivantes est, dans une première phase, le meilleur moyen pour atteindre nos objectifs. Nous avons une certaine expérience dans l'utilisation de telles bouées (Milot, 1991 ; Ruiz *et al.*, 2002 ; Salas *et al.*, 2002) et celles-ci sont susceptibles de décrire en Méditerranée des trajectoires relativement longues (10-15 ° en longitude, fig. 4 ci-dessous, Salas *et al.*, 2002). Compte tenu de la largeur du bassin oriental (de ~10 à 35 °E), des bouées larguées vers 10°E (Tunisie, là où nous travaillons d'ores et déjà) et 25 °E (ouest Egypte, là où nous avons désormais établi les contacts nous permettant d'envisager d'aller y travailler) devraient permettre une première description correcte de la circulation dans l'ensemble de la partie sud de ce bassin basée sur des données acquises in-situ et permettre d'aborder plus efficacement les études hydrologique et de courantologies eulérienne en 2006-2008

Canal de Sicile et collaboration franco-italo-tunisienne : Les équipes qui sont le plus impliquées dans cette demande (LOB, LOCEAN, INSTM ; OGS) ont la chance d'avoir depuis longtemps des liens étroits, et maintenant des possibilités d'intervention dans cette région grâce au N/O Hannibal de l'INSTM.

Sous-bassin Levantin et collaboration franco-égyptienne : Afin d'intervenir de manière aussi efficace que possible en Egypte, et en ayant le souci de collaborer avec les chercheurs des pays riverains, nous avons essayé de trouver les meilleurs contacts. La complexité de la circulation le long des côtes libyennes dans le sud du sous-bassin ionien, et la difficulté d'établir des relations avec nos collègues libyens nous ont naturellement conduits à contacter nos collègues égyptiens de l'AUDO (Département d'Océanographie de l'Université d'Alexandrie) et du NIOF (Institut National d'Océanographie et des Pêches) avec l'objectif d'aller travailler avec eux le plus à l'ouest possible (frontière avec la Libye).

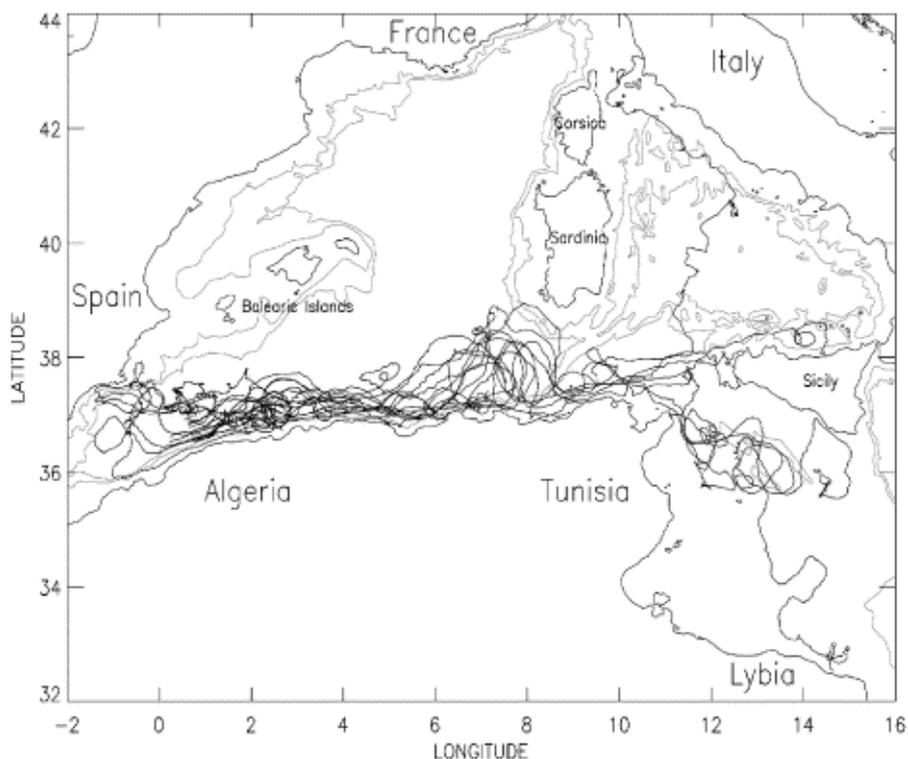


Figure 4 : Trajectoires de la campagne ALGIERS-96.

2. Plan de recherche

En regard des différentes tâches, sont indiqués les laboratoires principalement impliqués. Le tableau des participants de la partie « Moyens » reprend ensuite cette information participant par participant. Le texte ci-dessous est celui proposé en 2005 avec les mises à jour liées au travail déjà effectués et aux alea de disponibilité des bateaux rencontrés. Voir aussi la section « Compte-Rendu ».

2.1 Acquisitions de données

L'état d'avancement des différentes opérations à la mer à la date de rédaction de cette proposition (largage de bouées de surface et profileurs, surveillance hydrologique, et campagne EGYPT-1) est présenté dans la section « Compte-Rendu ».

2.1.1. Contraintes opérationnelles

Canal de Sicile

Les opérations dans le canal de Sicile sont tributaires du N/O Hannibal, qui est redevenu disponible à partir d'Avril 2005. Le programme d'hydrologie régulière dans le Canal de Sicile a débuté au printemps 2005 sous la responsabilité de Cherif Sammari de l'INSTM. Cette surveillance hydrologique perpétue celle initiée pendant SALTO-2 en mars 2003 sur une base mensuelle, avec une interruption de septembre 2004 à mars 2005. Le largage de bouées dérivantes a commencé en septembre 2005 sous la responsabilité de P.-M. Poulain de l'OGS.

Sous-bassin levantin

Les opérations dans le sous-bassin levantin pour la mise à l'eau des bouées et profileurs sont tributaires du N/O Explora ou de transits des N/O français. La mise en œuvre des 10 PROVORs alloués par le GMMC a été faite en concertation avec MEDARGO. Le largage des bouées de surface a été fait également à cette occasion et est en cours pendant la campagne EGYPT-1.

Une préoccupation importante actuellement est la forme officielle et financière à trouver pour la collaboration avec les collègues Egyptiens (prof. El Gindy, AUDO, Alexandrie, prof. Mohamed Said, NIOF, Alexandrie). Une visite à Alexandrie est programmée pour avril 2005. Nous sommes assurés de la volonté des chercheurs de participer aux activités d'EGYPT, et des demandes de co-financement ont été faites à la région PACA pour leur permettre d'embarquer pour EGYPT-1. Nous essayons de plus de développer avec eux un programme de surveillance hydrologique régulière avec leurs bateaux.

2.1.2. Surveillance hydrologique (en 2005 et 2006)

Canal de Sicile (INTSM)

Nous proposons de conduire une surveillance hydrologique de la radiale 'Cap Bon - Marsala'. Le N/O Hannibal de l'INSTM couvrira la radiale du Cap Bon en direction de Marsala jusqu'aux eaux territoriales italiennes (~ 30 milles) en prenant soin d'échantillonner avec un pas relativement fin (~2 milles) et en débutant très près de la côte tunisienne. La programmation du N/O Hannibal a été faite en 2005 sur la base d'une sortie tous les 2 mois. La programmation pour 2006 sera très probablement faite sur la même base mais en élargissant la zone de surveillance par l'ajout de 3 radiales (figure 5).

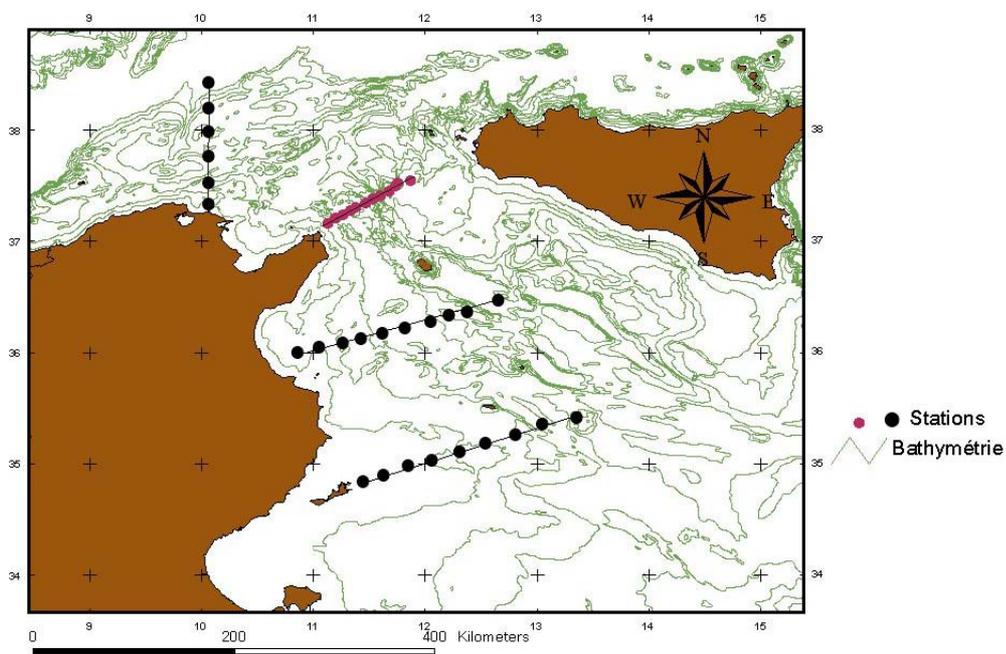


Figure 5 : Proposition des stations d'échantillonnage pour l'année 2006

Sous-bassin Levantin (AUDO et NIOF p.m.)

Les Egyptiens disposent de 2 bateaux de 31 m (donnés par le Japon et équipés d'une CTD) qui conviendraient parfaitement, mais leur utilisation n'est pas simple pour de la surveillance hydrologique, et s'avère peu probable à l'horizon de 2006.

Autres données hydrologiques (LOB, LOCEAN)

Dans le cadre du projet européen MFSTEP, quelques transects VOS-XBT concernent les zones auxquelles nous nous intéressons : Sète - Tunis (suivie par le LOB) ainsi que Istanbul - Alexandrie et Chypre - Alexandrie. Malheureusement, et malgré nos efforts envers les responsables du projet, aucune mesure ne sera effectuée dans les eaux nationales (là où l'essentiel de la circulation se fait d'après nous) par crainte de problèmes diplomatiques (et malgré l'intérêt manifesté par nos collègues tunisiens et égyptiens en particulier !).

Données TSG : Un TSG a été installé à bord d'un transbordeur de la SNCM effectuant la ligne Marseille - Tunis / Alger environ 1 fois/semaine (action animée par I. Taupier-Letage avec le soutien de la CIESM. Voir www.ifremer.fr/lobtln/TRANSMED).

Données de glider : Les données d'un glider de type Slocum côtier (immersion max 200m) déployé de septembre 2004 à février 2005 par Pierre Testor (IFM Kiel) dans le sous-bassin Ionien sont disponibles via notre participation au projet MFSTEP. Cf. www.ifm.uni-kiel.de/fb/fb1/po2/research/mfstep/index.html. Ces données sont en cours d'analyse.

Nous avons commencé à rassembler toutes les données archivées de thermosalinomètre et d'ADCP, voire de radiales XBT et de profileurs disponibles dans la partie sud du bassin oriental. De plus, des accords pour récupérer systématiquement les données acquises dans le futur sont déjà intervenus ou sont en cours de discussion (CORIOLIS, IPEV, IRD, SISMER, SHOM).

2.1.3. Suivi lagrangien de surface

Canal de Sicile (OGS, INSTM)

Nous profiterons des sorties régulières du N/O Hannibal ou dans le canal de Sicile du ferry Naples-Tunis pour larguer des bouées (drogue au standard WOCE) positionnées par ARGOS. Ces bouées permettront de préciser la circulation superficielle non seulement dans le canal de Sicile mais aussi dans l'ensemble du sous-bassin ionien.

- *Stratégie de largage*. La stratégie qui nous paraît la plus convaincante (pour optimiser le rapport qualité / prix, c'est-à-dire information attendue / nombre de bouées larguées par largage et espacement - nombre de largages), est de larguer les bouées sur la route retour du N/O Hannibal pour optimiser les points le largage compte tenu de la dynamique déduite de l'hydrologie (courant géostrophique) lors de la route aller.

- *Durée de vie des bouées*. La durée de vie des bouées a été estimée à partir des largages réalisés par P.M. Poulain entre 1994 et 1997 dans le bassin oriental. Les bouées ayant dérivé dans la moitié sud du sous-bassin ionien sont restées en moyenne 5 mois entre 10°E et 20°E et aucune de ces bouées n'a été « pêchée ». Ces statistiques sont tout à fait comparables à celles obtenues à partir d'une trentaine de bouées larguées dans le bassin occidental lors des campagnes MEDIPROD-5, ALGIERS-96 et ALGIERS-98, la durée de vie maximum ayant été de ~9 mois (cf. fig. 4).

- *Positionnement*. Le positionnement des bouées demandées au PATOM est un simple positionnement ARGOS car la précision-GPS pour les études de circulation que nous nous proposons de faire n'est pas nécessaire et le surcoût non justifié. Le coût du positionnement

n'a pas été évalué car il est assuré par l'intermédiaire des contrats CNRS, global déjà passés avec le CLS. Le positionnement des bouées de l'OGS (GPS + ARGOS) est pris en charge par l'OGS.

Sous-bassin Levantin (OGS, LOB)

- *Stratégie de largage*. L'objectif est de larguer lors de transit valorisés, et aussi lors d'EGYPT-1 (voir ci-dessous), un maximum de bouées en une seule fois (pour définir au mieux une structure et éviter de répéter des transits importants), le long d'une radiale perpendiculaire à la côte en amont d'une - ou dans une - instabilité, comme nous l'avons fait pendant ALGIERS-96 (cf. fig. 6 ci-dessous). Il nous semble en effet important de vérifier si la structure superficielle de ces instabilités correspond bien à celle qui pourrait être schématisée, comme nous l'avons proposé pour les instabilités du courant algérien (cf. fig. 7 ci-dessous d'après Obaton *et al.*, 2000), par un méandre entourant un tourbillon anticyclonique (AC), développant à partir de sa crête un cyclone relativement éphémère (C1) et une zone d'upwelling présentant parfois une structure cyclonique (C2). A terme, il nous semble fondamental de vérifier, avec des mouillages de courantomètres (2005-2007) et comme nous l'avons désormais vérifié pour les tourbillons algériens pendant ELISA (Milot et Taupier-Letage, 2003), si ces tourbillons ont une structure anticyclonique dans toute la couche inférieure (AC_D, fig. 7).

- *Durée de vie des bouées*. Cf. ci-dessus

- *Positionnement*. Cf. ci-dessus

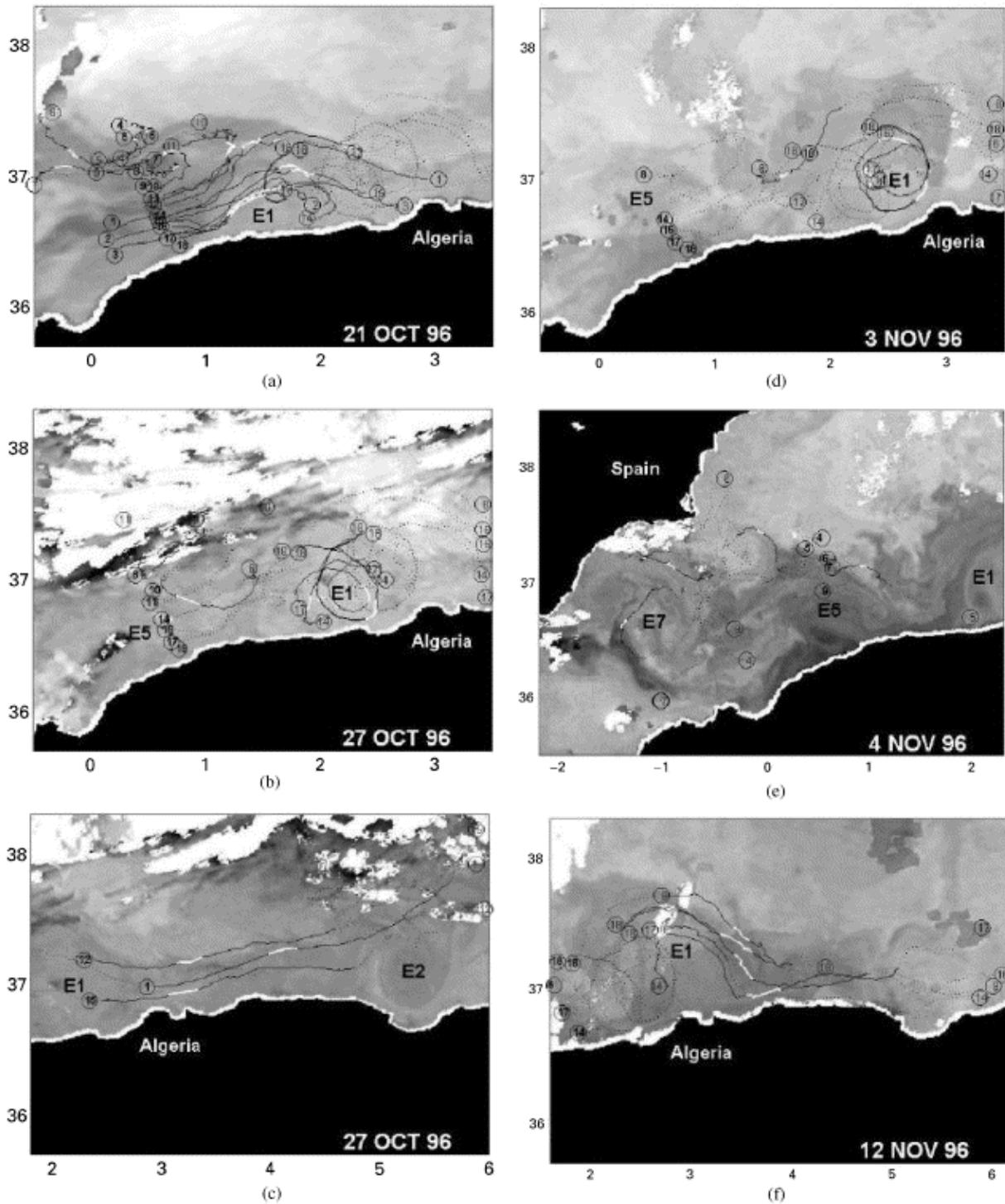


Fig. 6 : Trajectoires de bouées et imagerie infrarouge dans le sous-bassin algérien (ALGIERS-96, Salas *et al.*, 2000)

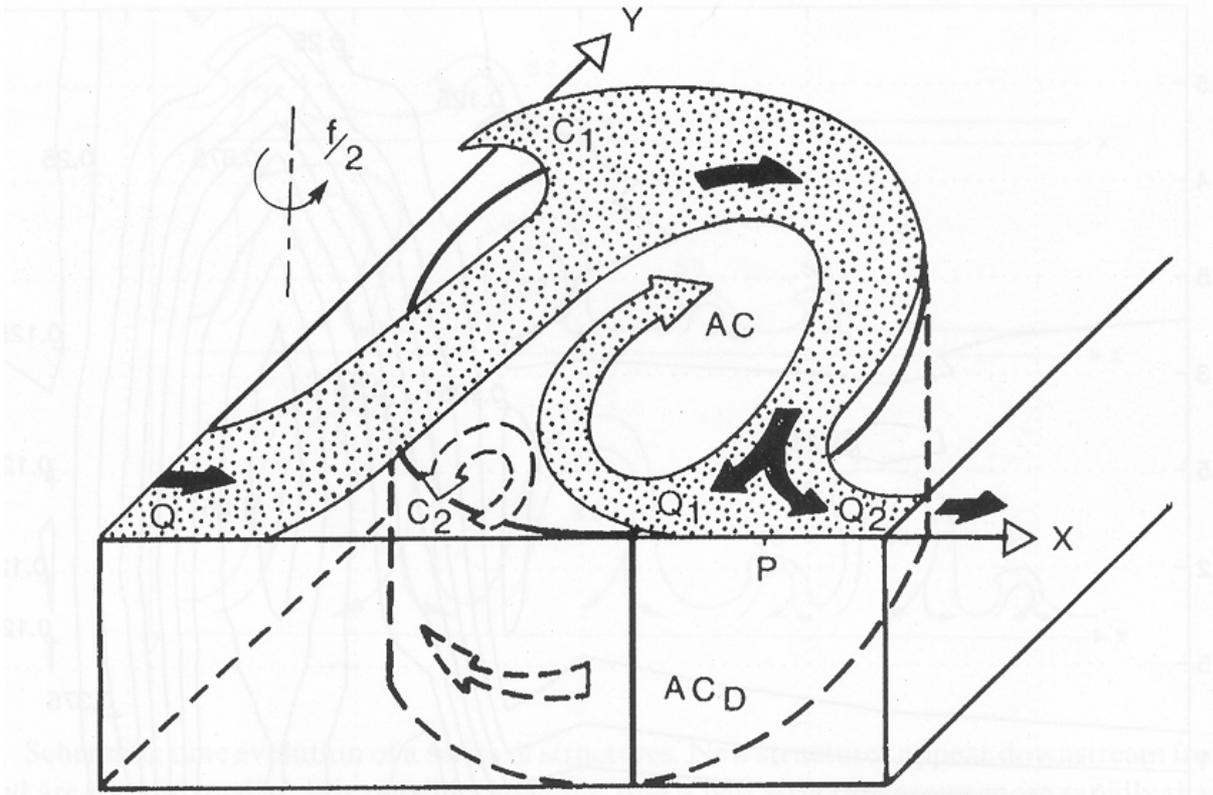


Fig. 7 : Schéma d'une instabilité engendrée par un écoulement superficiel côtier déduit i) de l'analyse de données in situ et par télédétection concernant le courant algérien et ii) d'expériences en laboratoire (d'après Obaton *et al.*, 2000).

2.1.4. Imagerie satellitaire et altimétrie (à partir de 2005) (LOB, OGS, IFM, INSTM)

La collaboration du SATMOS / CNRS / Météo-France (CMS - Lannion) permet au LOB d'obtenir (depuis mi-oct. 2001) les images thermiques NOAA / AVHRR de toutes les orbites écoutées au CMS couvrant la Méditerranée en temps quasi réel à la résolution maximale de ~1km (le CMS est malheureusement en limite d'acquisition pour la partie sud-est du bassin oriental). Depuis juillet 2004 la collaboration avec ACRI dans le cadre du programme Coastwatch (ESA / GMES) nous permet d'obtenir les images thermiques à ~1 km en temps quasi réel de façon routinière et sans problème de couverture, cependant certaines images sont inutilisables du fait d'un mauvais choix de seuil. Nous utiliserons donc également les images acquises par la station de l'OGS (collaboration de PM Poulain). Les archives ainsi constituées permettront d'une part de situer les données hydrologiques et lagrangiennes par rapport aux phénomènes existants, et d'autre part de comparer la circulation de surface qui en est déduite avec les analyses de PSY2. De plus, l'analyse conjointe des images et des prévisions PSY2 dans les quelques jours précédant une sortie hydrologique du N/O Hannibal nous permettra d'affiner la stratégie de largage des bouées en ce qui concerne la Tunisie.

IFM Hamburg fournira une analyse des données altimétriques JASON / ENVISAT sous la trace couvrant plus particulièrement le canal de Sicile et l'ouest ionien. Les cartes analysées (produits AVISO) seront également utilisées sur l'ensemble du bassin oriental. A l'horizon 2008, Gilles Larnicol nous a fait part de son intention de participer à l'analyse de la courantométrie avec l'altimétrie. Les mouillages d'EGYPT sont d'ailleurs positionnés sous les traces JASON ?.

2.1.5. Contribution à MEDARGO (OGS, LOB)

L'US Navy a environ 8 profileurs opérationnels dans le sous-bassin Levantin, mais dans les parties centrale et nord. MEDARGO a 20 profileurs à déployer en Méditerranée à partir de septembre 2004, mais moins de la moitié devrait être déployée dans le bassin oriental. Le nombre exact et la stratégie de déploiement MEDARGO ne sont pas encore fixés à la date de rédaction de ce document, mais il est probable que des largages soient prévus dans le sud Levantin. Nous déploierons donc en complément de MEDARGO mais en nous focalisant sur le sud du sous-bassin levantin, les 10 profileurs PROVORs obtenus en 2004 et 2005 en réponse aux appels d'offre GMMC 2005. Les profils de température/salinité obtenus par des profileurs autonomes sont essentiels pour les programmes d'océanographie opérationnelle en Méditerranée (MERCATOR et MFSTEP/MEDARGO) dans une région actuellement sans aucune donnée opérationnelle. En effet, la dissémination de ces données en temps presque réel et leur assimilation dans des modèles numériques permettent d'améliorer les prévisions. De plus, la mise en oeuvre de PROVORs dans le cadre d'EGYPT permettra de les déployer de façon ciblée dans le Courant Egyptien et/ou dans les tourbillons qu'il engendre, contribuant ainsi aux objectifs scientifiques de EGYPT.

Les données de PROVORs seront d'autant plus précieuses qu'elles assureront la continuité avec des données NAVOCEANO dont les profileurs arrivent en fin de vie et rempliront les vides laissés dans la base NAVOCEANO. La base de données issue des profileurs sera donc constituée des données US Navy (données distribuées à CORIOLIS), des données MEDARGO et de celle des PROVORs demandés ici. La validation des données des PROVORs est garantie par le fait qu'elle sera effectuée par Pierre Poulain (OGS), responsable MEDARGO.

Enfin, il y a deux lignes VOS/XBT de MFSTEP qui passent dans cette région (Turquie-Alexandrie et Chypre-Alexandrie) : les profils et les trajectoires des PROVORs passant au plus près pourront être confrontés aux structures mises en évidence par les radiales XBTs, les 2 jeux de données se compléteront.

2.1.6. Les campagnes EGYPT-1 et EGYPT-2 (en avril 2006 et à mi-2008) (LOB, OGS)

La zone d'étude privilégiée est schématisée sur la figure 8. Les objectifs d'EGYPT-1 en 2006 sont:

- La mise en place du réseau de six mouillages,
- Le largage des bouées dérivantes et de profileurs PROVOR (5),
- La réalisation de sections (CTD et XBT) à travers le courant de AW et dans des tourbillons libyo-égyptiens.

Une campagne pour la récupération des mouillages et de l'hydrologie (EGYPT-2) sera demandée pour 2008.

NB : La programmation d'EGYPT-1 en 2006 et les incertitudes qui pèsent sur les financements à l'échelle pluriannuelle nous ont amenés à modifier notre stratégie par rapport à la demande précédente à la commission OPCB. D'une part il y aura une étude hydrologique dès EGYPT-1, et d'autre part EGYPT-2 n'est plus envisagée comme une campagne majeure avec des objectifs pluridisciplinaires, mais sera consacrée à la récupération des mouillages (priorité) et à un complément d'hydrologie.

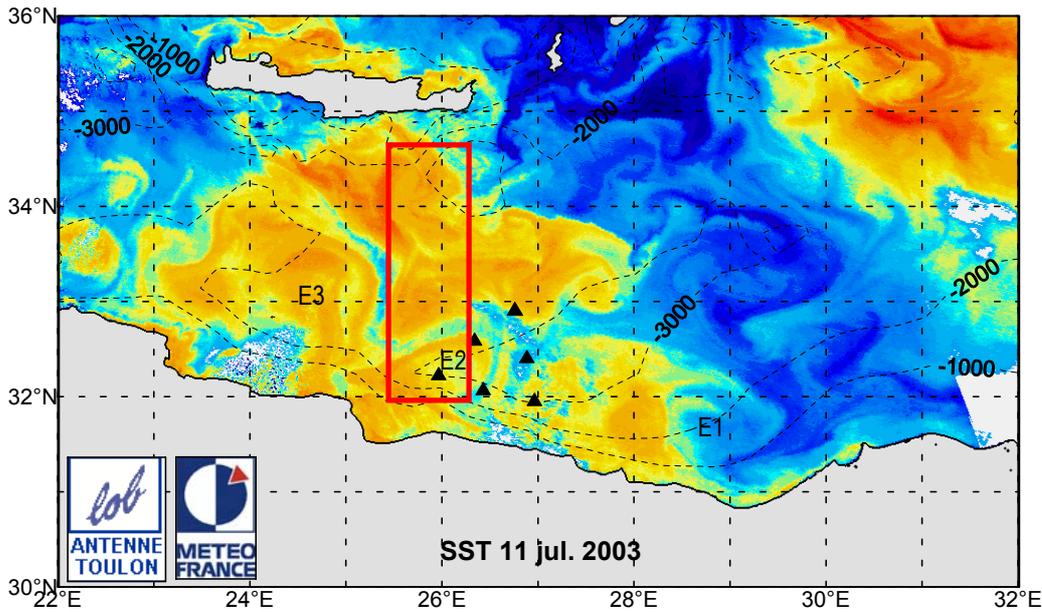


Figure 8 : Zone d'étude : sous-bassin levantin ouest. Triangles : positions théoriques des mouillages. Cadre rouge : l'une des zones pressenties pour le largage des bouées dérivantes et de PROVOR. La fosse d'Hérodote correspond aux profondeurs > 3000 m.

2.1.6.1. Réseau de mouillages

L'objectif est de mettre en place 6 mouillages de sub-surface dans les eaux internationales, espacés de ~50km (diamètre d'un tourbillon libyo-égyptien : 100-200km). La position finale du réseau sera ajustée dans la direction est-ouest surtout, i.e. parallèlement à la pente continentale, en fonction des tourbillons présents lors du déploiement. Chaque mouillage sera équipé de 4-5 courantomètres pour optimiser la résolution verticale : ~100m pour la couche superficielle, ~250m pour la LIW, ~1000, ~2000 et ~3000m (fond).

Les tourbillons libyo-égyptiens sont généralement plus grands que leurs homologues algériens, ils se déplacent plus lentement et/ou peuvent rester immobiles plus longtemps (cf. fig. 5). Par conséquent, afin d'espérer échantillonner un nombre suffisant de tourbillons, il est souhaitable d'allonger la durée d'enregistrement à 2 ans. Ceci ne pose pas de problèmes majeurs d'autonomie ni de capacité (un pas de temps de 2 h, i.e. 2 fois le pas de temps que nous utilisons habituellement, permet encore de résoudre correctement l'inertie), ni de résistance à la corrosion, dont nous commençons à pouvoir limiter les effets. Même pour les instruments les plus proches de la surface (~100 m), le fouling ne posera aucun problème (zone oligotrophe, utilisation de courantomètres acoustiques RCM9-11, et d'antifouling).

Il est important de mettre en place dès que possible le réseau de courantométrie eulérienne. En effet, nous avons terminé en 2004 les opérations à la mer que nous avons entreprises en Méditerranée occidentale, et tous nos instruments sont disponibles. De plus ceux que doit mettre en œuvre notre collègue Espagnol J.Font (ICM/CISC/Barcelone) ont déjà été mobilisés en partie pour 2005 (précédente demande de campagne), et ils pourront difficilement le rester au-delà de 2008 (après EGYPT nous mettons en œuvre nos propres instruments dans les opérations qu'il coordonnera alors).

2.1.6.2. Bouées de surface et profileurs

Une partie des 16 bouées dérivantes acquises grâce au soutien du PATOM sera larguée selon une radiale perpendiculaire à la côte (cf fig. 7) avec un pas de ~10-15 km, afin de décrire tant la circulation le long de la pente que les tourbillons. Le reste sera largué au cours de transits

ou de radiales dans des tourbillons ou d'autres structures intéressantes déterminées d'après l'imagerie.

La stratégie de largage des 5 PROVORs accordés par le GMMC en 2005 n'est pas encore définitivement arrêtée (concertation avec MEDARGO qui aura à cette date déployé l'ensemble des ses profileurs), mais on envisage dans le ou les tourbillons Ierapetra présents dans la zone.

2.1.6.3. Hydrologie

L'objectif est d'obtenir des observations selon des radiales réalisées avec un pas d'espace de quelques milles (~10km), guidées par l'imagerie satellitaire, tant dans les tourbillons que dans la circulation le long de la pente (i.e. dans les eaux nationales égyptiennes). Nous utiliserons les transits pour acquérir des données d'ADCP de coque et de thermosalinomètre (TS), et, le cas échéant, faire des tirs d'XBT dans les tourbillons traversés. Dans cette zone il n'y a eu aucune étude suffisamment fine pour rendre compte des phénomènes, d'où l'importance de cette première étude. Les données d'hydrologie ont donc une importance essentielle dans le cadre d'EGYPT.

Elles sont également importantes dans un cadre plus large. En effet, les deux zones du bassin oriental que sont les sous-bassins égéen et adriatique ont la particularité de former des eaux denses qui, tout en ayant des caractéristiques hydrologiques très différentes, ont des densités relativement proches, pouvant conduire à une inversion dans la superposition de ces masses d'eau à l'échelle décennale (le « transient », Roether et al., 1996). Par ailleurs, Millot et al (2005) ont montré que l'eau qui sort à Gibraltar depuis une dizaine d'années provient essentiellement du bassin oriental, alors qu'elle provenait essentiellement du bassin occidental au cours des précédentes décennies (une sorte de transient à l'échelle de la Méditerranée donc). Enfin, toutes les masses d'eau en Méditerranée (CIESM group, 2002 ; Millot and the CIESM group, 2004) comme dans l'océan global (e.g. Levitus et al., 2000) subissent des tendances à long terme. La zone couverte par EGYPT est tellement peu explorée que toute donnée collectée là aura une très grande valeur à plus grande échelle.

2.2 Outils de modélisation

2.2.1. Modèles académiques

Canal de Sicile (LOCEAN)

Le modèle analytique de Herbaut *et al.* (1998) a été généralisé, par des arguments de symétrie, au cas d'un seuil entre deux bassins de densités différentes (Béranger *et al.*, 2003) et le calcul linéaire complet des solutions a également fait (Ponte, 2003 ; Mortier et al., 2005). Il permet de détailler comment le gradient topographique d'un seuil ou d'un ensemble de seuil contrôle la séparation en différentes veines du courant de surface sur chaque seuil. Ceci schématise bien le canal de Sicile qui sépare en fait un bassin occidental léger et un bassin oriental plus dense en surface. Ce modèle n'a pas encore été exploité dans le cadre d'une étude paramétrique permettant d'explorer facilement l'espace des paramètres, notamment les gradients de densité qui forcent la circulation. Il servira essentiellement à rationaliser la description du système de courant et de sa variabilité saisonnière et interannuelle obtenu à partir de l'analyse intégrée des données, comme nous l'avons déjà fait à partir des résultats de simulations numériques dans Molcard et al. (2003) et Béranger et al. (2004).

Sous-bassin Levantin

Cette deuxième partie porte sur le contrôle de l'instabilité du courant d'AW par la topographie de la pente continentale libyenne et égyptienne. Cette composante du projet EGYPT a fait l'objet en 2005 d'une pré-étude (voir compte-rendu d'activité) sur la table tournante de l'ENSTA, partiellement financée par l'IPSL. Sur la base des résultats préliminaires, nous avons décidé de développer plus largement cette étude qui a fait l'objet en mars 2006 d'une réponse à l'ANR « blanche » par K. Béranger et A. Stegner (proposition consultable sur le site www.ifremer.fr/lobtln). Ce projet interagit largement l'étude prévue sur la dynamique et les instabilités d'un courant de bord, mais EGYPT fournit un cadre expérimental adapté et surtout des données de référence.

2.2.2. Modèles numériques : MED16, PSY2 (LOCEAN)

Pour des études scientifiques spécifiques, la Méditerranée a été « débranchée » du Prototype Atlantique – Méditerranée de MERCATOR, c'est le modèle MED16 (Béranger, 2003), ce qui rend les simulations longues plus faciles et peu coûteuses. Les simulations actuelles réalisées avec un forçage atmosphérique issu des analyses ECMWF des années 1998 à 2002 montrent un très bon comportement du modèle pour les processus les plus importants dans le contrôle de la circulation de surface. Celle-ci est en très bon accord avec notre schéma (fig. 2). Une simulation en « partial steps » montre des améliorations très nettes : circulation cyclonique profonde dans le sous-bassin algérien correctement développée, tourbillons contrôlés par la topographie plus cohérents, etc. Une nouvelle simulation est en cours de développement : forçage issu d'un downscaling sur la période de 1987 à nos jours de ERA40 et des analyses ECMWF à partir de 2000, réalisé avec MM5 (Thèse de Tamara Salameh au LMD sous la direction de P. Drobinski), intégration des développements et paramétrisations qui ont été validés ces dernières années (postdoc de K. Béranger, thèse de Bahjat Alhammoud et de Alexandra Bozec). Cette simulation devrait être plus adaptée à l'étude de la circulation générale dans le bassin orientale, notamment en raison de la résolution plus élevée du forçage par le vent qui doit permettre une meilleure représentation des tourbillons qui, comme celui de Ierapetra, Pelops ou le cyclone de Crête, sont largement dépendants du vent.

En plus des simulations MED16, nous disposons également des résultats des analyses de PSY2 et de celles du projet MFSTEP avec un échantillonnage journalier qui sont rapatriés automatiquement chaque semaine au LOCEAN. Ces données servent et serviront à :

- actuellement, au choix des points de largage de bouées de surface (campagne EGYPT-1) et des profileurs, en complément de la télédétection infrarouge et de l'hydrologie,
- préciser le contexte de grande échelle pour l'exploitation des données hydrologiques et lagrangiennes,
- valider MED16 et PSY2, quantitativement sur l'hydrologie et 'qualitativement' sur les trajectoires lagrangiennes,
- évaluer la valeur explicative des modèles analytiques.

2.2.3. Modèle régional (INSTM)

Pour ses études scientifiques spécifiques dans le canal de Sicile et le Golfe de Gabès, l'INSTM a développé un modèle emboîté (basé sur le code POM) du canal de Sicile de résolution $1/24^{\text{ème}}$ de degré qui peut être forcé par un GCM ou par les analyses issues de MFSTEP. Ce modèle inclut un module lagrangien qui permet de simuler les trajectoires de bouées de surface. Dans sa version forcée par MFSTEP, ce modèle régional sera plus spécifiquement utilisé pour étudier les trajectoires de bouées de surface dans le canal de Sicile et la variabilité de l'ATC (Atlantic Tunisian Current). Ce travail fait l'objet de la thèse de Ayda Gharbi encadrée par Ali Harzallah.

2.3. Analyse/interprétation des données et modélisation

2.3.1. Intégration des données in situ (trajectoires, hydrologie) et par télédétection (OGS, LOB, INSTM)

Les données de télédétection ont une importance fondamentale car elles fournissent une vue synoptique de la circulation avec la bonne résolution spatiale et temporelle. Bien que nous disposions d'une bonne compétence dans l'analyse intégrée de ce genre de données, nous ne pouvons préciser le niveau d'intégration que nous atteindrions dans cette analyse pendant le projet. En effet, ce niveau est notamment fonction du travail de sélection qui doit être fait, pour l'instant manuellement, sur les images thermiques qui seront archivées (4 images par jour !). L'essentiel de ce travail de sélection devant être fait dans le cadre de la thèse que C. Sammari encadrerait (cf. infra). Les différents jeux de données seront assemblés et validés par le LOB, l'OGS et l'INSTM pour une diffusion rapide auprès des autres partenaires. Ces données sont diffusées par ailleurs via CORIOLIS en temps réel à l'exception de l'hydrologie des campagnes. Cela concerne : les données lagrangiennes y compris les profils CTD des profileurs, l'hydrologie dans le canal de Sicile et celle de la campagne EGYPT-1, les données XBT des transits valorisés, les données du thermosalinomètre sur le ferry « Méditerranée » du projet TRANSMED.

2.3.2. Analyses combinées données/modèles (LOB, OGS, INTSM, LOCEAN, LSEET)

Les données lagrangiennes de surface (bouées dérivantes) et de subsurface (profileurs des bases MEDARGO et NAVOCEAN) couplées aux radiales d'hydrologie prévues permettent d'envisager une validation beaucoup plus détaillée de la circulation de surface et de subsurface des modèles MED16 et PSY2 dans le bassin oriental, étude qui a été repoussée jusqu'à présent en raison de la quasi-inexistence de données de ce type dans ce bassin.

Plus précisément, les données lagrangiennes permettront une première appréciation quantitative des caractéristiques du courant côtier et de la typologie des instabilités et tourbillons rencontrés le long de la pente Libyo-Egyptienne. Les trajectoires lagrangiennes simulées dans MED16 (la simulation est faite on-line pour un grand nombre de points largués à intervalle régulier en surface et à la profondeur des profileurs) et si possible par MERCATOR dans PSY2, permettent en effet une bonne caractérisation au sens statistique :

- du courant côtier : position, intensité, méandres,
- de la formation des tourbillons : nombre, caractéristiques, localisation, ...,
- de la trajectoire des tourbillons : dispersion géographique, vitesse de déplacement, ...,

Les données de bouées et de profileurs (réelles !), en nombre plus réduit, ne permettront pas une caractérisation de ce type aussi détaillée, mais confrontation qualitative entre trajectoires réelles et simulées est particulièrement utile, comme cela a déjà été démontré en Méditerranée Occidentale (Testor, 2002 ; Testor *et al.*, 2005).

Une validation statistique pour les échelles de l'ordre de quelques jours de la « turbulence » est également possible avec peu de données, même si le champ moyen ne peut être résolu correctement (Molcard *et al.*, 2002b). Le calcul des autocorrélations procure des informations sur les échelles de temps (temps de décorrélation) et sur le « spin » lié à la vorticité (Veneziani *et al.*, 2004) qui peuvent être directement compar es avec les valeurs correspondantes calcul es à partir des trajectoires simul es par le modèle. De même, les processus de dispersion peuvent être compar es. Il est possible aussi de faire une validation de la prédiction du modèle, en comparant les trajectoires réelles et simul es en faisant des réinitialisations régulières. La statistique peut ainsi donner des informations théoriques sur la « prédictibilité » du modèle (Griffa *et al.*, 2004).

Une première validation de l'hydrologie du modèle sera faite par une simple collocalisation spatiale et temporelle des profils de la base de données (CTD et profileurs) dans les modèles (MED16 et PSY2) sur l'ensemble des sous-bassins Ionien et Levantin. Un simple 'binage' se révèle très utile pour ce genre de comparaison.

Cette base devrait être suffisante pour permettre une approche statistique de l'hydrologie du bassin oriental de la Méditerranée similaire à celle entreprise à partir du jeu de données MATER pour le bassin occidental avec 20 profileurs (Skarsoulis et al., 2004). Disposant du jeu de données validées (P. Poulain), nous procéderons à une validation statistique par comparaison des fonctions de covariance spatiale des anomalies de température et de salinité (par rapport à un état moyen défini par ces données et les bases hydrologiques), calculées à partir des données d'une part et du modèle d'autre part. Cette approche exploite efficacement la distribution sensiblement régulière des profileurs dans l'espace, mais surtout dans le temps, ce que ne permettent pas les données hydrologiques classiques. Il est notamment possible de séparer proprement les différentes échelles de temps. On peut ainsi comparer plus sélectivement les gammes de variabilité des données et du modèle.

2.3.3. Synthèses, interprétations (LOB, OGS, INTSM, LOCEAN, LSEET)

Il s'agit ici de synthétiser l'ensemble des résultats obtenus et de tenter de répondre au plan conceptuel aux différentes questions posées (voir 1.1). Au fur et à mesure de l'avancement des tâches individuelles (création des jeux de données et simulations et les différentes analyses envisagées), cette composante va concerner de façon accrue les différentes composantes et équipes du projet.

Elle se poursuivra bien évidemment après la fin du projet actuel (2004-2007) en raison d'une part bien sûr de l'arrivée en 2008 des données du réseau de courantomètres déployé pendant EGYPT-1, et d'autre part du début, en septembre 2007, de deux thèses nous l'espérons, une au LOB plus centrée sur l'analyse des données de terrain, l'autre à l'ENSTA sur les expériences sur table tournante. D'ici à 2007, nous espérons raisonnablement pouvoir terminer et publier le travail entrepris sur la variabilité saisonnière et interannuelle du système de courants du canal de Sicile (voir 2.2.1.)

2.4. Les collaborations

Les collaborations listées ci-dessous concernent les travaux envisagés dans le cadre du projet EGYPT.

LOB (Toulon, France). I. Taupier-Letage et C. Millot ont surtout travaillé, depuis 1985, à partir de données (*in situ* et par télédétection) qu'ils ont collectées tant dans le sous-bassin algérien (où les phénomènes sont comparables à ceux qui se développent dans le sous-bassin levantin ; opérations MEDIPROD-5 / WMCE, THETIS-2, ALGIERS-96 et 98, ELISA) que dans les canaux de Sardaigne et de Sicile (opérations SALTO, PRIMO-1, GEOSTAR-2). Leur participation à SALTO a permis un transfert efficace de technologie et de savoir-faire vers l'INSTM, surtout dans la mise en œuvre de mouillages. Deux projets en cours pourraient être en partie harmonisés avec EGYPT-P. D'une part I. Taupier-Letage anime une initiative de la CIESM visant à équiper d'un ensemble de capteurs météo et d'un thermosalinomètre entièrement automatisé le car-ferry Méditerranée de la SNCM, qui dessert la ligne Marseille – Tunis environ 4 fois par mois (projet TRANSMED). La phase pilote vient d'être interrompue (mi-février 2005) car le système (SeaKeepers) ne fonctionnait pas de façon

satisfaisante. Des modifications ont été demandées, et une version améliorée sera installée au cours d'une traversée début mars 2005. Ces données (particulièrement celles du Canal de Sardaigne et des abords de Tunis) seront analysées en parallèle avec les données de télédétection, dans un premier temps pour validation. A terme, d'autres lignes seront équipées dans l'ensemble de la Méditerranée. D'autre part, C. Millot met actuellement en place, toujours avec l'aide de la CIESM, un réseau international opérationnel pour le suivi à long terme des variabilités hydrologiques en Méditerranée (CIESM, 2002). Chaque station du réseau est constituée d'une CTD autonome fixée sur un mouillage court. Une douzaine de stations sont d'ores et déjà opérationnelles et une intense collaboration se développe avec les pays du Sud (stations mises en œuvre à partir du Maroc, de la Tunisie - avec l'INSTM -, bientôt sans doute de l'Égypte). A noter qu'à part ces deux projets concernant l'ensemble de la Méditerranée et la poursuite de l'analyse des données acquises dans le bassin occidental (thèse en cours, stages), le LOB-Toulon va désormais se consacrer à l'étude du bassin oriental et compte beaucoup sur les collaborations initiées avec l'AUDO et le NIOF.

LOCEAN (Paris, France). Le LOCEAN a coordonné (1994-1996) le projet européen SALTO (programme AVICENNE / DGXII) portant sur l'hydrologie, la circulation et la modélisation de la région comprise entre la Sardaigne, la Sicile et la Tunisie. La modélisation de la circulation dans le canal de Sicile a été initiée avec ce projet, puis s'est poursuivie par une collaboration avec l'IOF (La Spezia) lorsque L. Gervasio en 'postdoc' au LOCEAN et A. Molcard (maintenant 'Assistant Scientist' au RSMAS / Miami) ont rejoint cet Institut. Le LOCEAN (K. Béranger) a développé la maquette MED16 dans le cadre d'un 'réseau bleu' MERCATOR. Cette maquette est extraite du Prototype Atlantique - Méditerranée (PAM) et sert à la validation des choix de modélisation de PAM, et à des nombreuses études sur la circulation et le fonctionnement de l'écosystème en Méditerranée. K. Béranger a également participé à la validation des analyses / prévisions de PSY2 (2ème Prototype Système, qui fonctionne en 'temps réel' depuis fin nov. 2002) sur la Méditerranée.

LSEET (Toulon, France). Anne Molcard a participé aux travaux sur le canal de Sicile, conjoints du LODYC et de la Stazione Oceanografica de La Spezia quand elle y était en postdoc. Elle y a par ailleurs travaillé sur les données de profilers et leur assimilation dans des modèles de circulation. Elle a maintenant rejoint le LSEET comme MC de l'Université de Toulon et du Var.

INSTM (Carthage, Tunisie). L'équipe active à l'INSTM est essentiellement composée de 3 chercheurs (C. Sammari, A. Harzallah, M. Boukthir) ayant obtenu une thèse au COM / LOB, au LMD ou au LEGI. Les scientifiques formant l'équipe ont acquis des expériences complémentaires en modélisation numérique et en techniques avancées d'analyse de données telles que l'assimilation de données et les méthodes inverses, en traitement d'images satellitaires, ainsi qu'une bonne expérience du travail à la mer grâce à leur participation à de nombreuses campagnes françaises ou internationales et bien sûr tunisiennes. Cette équipe doit assurer un 'service' en océanographie côtière pour des applications environnementales (anthropisation croissante du Golfe de Gabès). Elle tient à maintenir une activité de recherche fondamentale au travers de collaborations avec le LOCEAN, le LMD, le LOB et le LEGI. Le support du IDAO constituerait ainsi un soutien important auprès de ses administrations de tutelle.

AUDO et NIOF (Alexandrie, Égypte). Les deux principaux organismes d'océanographie égyptiens, le Département d'Océanographie de l'Université d'Alexandrie (coordinateur A. El Gindy) et l'Institut National d'Océanographie et des Pêches (coordinateur M. El Said) récemment visités par le LOB et la CIESM (oct. 2003), se sont montrés très intéressés par nos

projets. Ces projets devraient, par ailleurs, pouvoir bénéficier d'un soutien de la région PACA. Outre la possibilité d'utiliser les deux bateaux du NIOF pour déployer les bouées dérivantes vers la frontière libyenne et faire (à discuter) des radiales-CTD, cette collaboration nous offre la possibilité de travailler dans les eaux égyptiennes (ce que très peu d'équipes ont pu faire jusqu'à présent). Parallèlement nous essayons de mettre en place l'accueil d'étudiants et/ou de techniciens égyptiens pour les former à la télédétection (outils, analyses), à l'analyse de données *in situ* (courantométrie, hydrologie) et aux techniques de mouillages (réalisation, mise en œuvre).

OGS (Trieste, Italie). P.-M. Poulain est un spécialiste des mesures lagrangiennes dont il a constitué une base lorsqu'il était au SACLANT (La Spezia, Italie) dans les années 1994 à 1997. Il a rejoint l'OGS depuis peu et il y dirige le groupe de télédétection. Il assure également la coordination de MEDARGOS, volet Méditerranéen du projet ARGO, et le déploiement des 5 profileurs obtenus dans le cadre d'EGYPT-MC. P-M Poulain a obtenu un financement ONR pour un programme complémentaire de déploiement d'une quarantaine de bouées à partir de la Tunisie et du sous-bassin levantin. Il contribuera également avec l'imagerie satellitaire thermique.

IFM (Hambourg, Allemagne). D. Quadfasel a participé à de nombreuses études concernant les détroits et impliquant une importante composante campagnes à la mer : détroit de Fram, canal Irlande - Écosse, détroit de Timor, détroit de Messine. L'IFM a également une activité dans cette région sur le plan de la modélisation (A. Rubino).

High Institute of Marine Research (Lattaquié, Syrie). Notre ex-étudiante Najwa HAMAD rentrera en Syrie au cours de l'été 2005, pour prendre son poste de professeur dans son institut. Nous préparons sa collaboration en essayant de mettre en place des programmes de coopération. N. Hamad a acquis un savoir faire dans l'utilisation de l'imagerie thermique équivalent au nôtre, et elle pourra être autonome à son retour, moyennant la transmission des images. Elle pourra ainsi contribuer pleinement aux objectifs d' EGYPT.

Même si nos collègues de l'ICM (Barcelone, Espagne) ne sont pas impliqués dans cette demande, la collaboration que le LOB a depuis longtemps avec eux (J. Font) dans le bassin occidental (bouées dérivantes et hydrologie des opérations ALGIERS-96 et ALGIERS-98, mise en œuvre en commun d'instruments et d'accastillage pour les mouillages des opérations PRIMO-0, PRIMO-1 dans le canal de Sardaigne, ELISA) va se poursuivre dans le bassin oriental. Nous avons d'ores et déjà convenu que pratiquement tous les courantomètres et l'équipement pour mouillages disponibles à l'ICM seront mis en œuvre avec les nôtres lors de EGYPT-1 (pendant ELISA nous avons ainsi mis en œuvre ensemble près de 40 courantomètres sur 9 mouillages pendant 1 an !).

Le LOB, l'OGS, l'INSTM et le LOCEAN participent au projet d'océanographie opérationnelle MFSTEP – coordonné avec MERCATOR via l'initiative Mediterranean Operational Oceanography Network – et nous avons de ce fait accès à l'ensemble des produits (temps réel et temps différé) assemblés par CORIOLIS, notamment les données de profileurs MEDARGO et NAVOCEAN.

On peut enfin rappeler la collaboration du SATMOS / CNRS / Météo-France (CMS-Lannion) qui nous permet d'obtenir (depuis mi-oct. 2001) les images thermiques NOAA / AVHRR de toutes les orbites écoutées au CMS couvrant la Méditerranée en temps quasi réel à la résolution de ~1km (le CMS est malheureusement en limite d'acquisition pour la partie sud-est du bassin oriental). Deux autres sources devront donc être utilisées : ACRI

(GMES/Coastwatch, qui écoute beaucoup d'orbites mais restitue souvent des températures de surface inutilisables), et l'OGS (moins d'orbites écoutées, mais produits adéquats).

3. Calendrier

	2004	2005	2006	2007	2008- ...
Surveillance hydrologique	██████████	██████████	██████████		
Bouées de surface		██████████	██████████		
Imagerie altimétrie		██████████	██████████	██████████	██████████
Profileurs			██████████		
EGYPT-1			■		
EGYPT-2					■
Modèle analytique Sicile	██████████		██████████		
MED16	██████████	██████████	██████████	██████████	
Modèle régional Sicile		██████████	██████████	██████████	
Intégration données			██████████	██████████	██████████
Analyses données/modèle				██████████	██████████
Synthèse, interprétation					██████████

Ce calendrier doit être lu à la lumière du fait que les données de courantologie eulérienne ne seront disponibles qu'en mi-2008 et que les analyses données/modèles et les différentes synthèses réalisées seront faites dans un premier temps sans ces données.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques du responsable et de l'équipe, en particulier sur le sujet de la demande (trois dernières années).

- Alhammoud B., K. Béranger, L. Mortier, M. Crépon, and I. Dekeyser , 2003. Surface circulation of the Levantine Basin: comparison of model results with observations, Progress in Oceanography, accepted.
- Béranger K., L. Mortier, M. Crépon, 2003. Seasonal variability of transports through the Gibraltar, Sicily and Corsica straits from a high resolution Mediterranean model, Progress in Oceanography, accepted.
- Béranger K., L. Mortier, L. Gervasio, G.P. Gasparini, M. Astraldi, M. Crépon, 2003b. The surface circulation dynamics of the Sicily strait: a comprehensive study from the observations to the models, the role of the topography, Deep Sea Research II, accepted.
- Boukthir, M., Barnier, B., 2000. Seasonal and inter-annual variations in the surface freshwater flux in the Mediterranean Sea from the ECMWF re-analysis project. Journal of Marine Systems 24, 343-354.
- Candela J. , Mazzola S. , Sammari C. , Limeburner R. , Lozano C. J. , Patti B. , Bonnano A. The "mad sea" phenomenon in the Strait of Sicily, J. Phys. Oceanogr., 1999 , vol. 29 , no 9 , pp. 2210 – 2231
- CIESM, 2002. Tracking long-term hydrological change in the Mediterranean Sea. CIESM Workshop Series, n°16, 134 pages, Monaco.
www.ciesm.org/publications/Monaco02.pdf
- Echevin V., L. Mortier & M. Crépon, 2002. Interaction of a coastal current with a gulf: application to the shelf circulation of the Gulf of Lions in the Mediterranean Sea. J. Phys. Oceanogr., accepted.
- Font J., C. Millot, J. Salas, A. Julia, and O. Chic, 1998. The drift of Modified Atlantic Water from the Alboran Sea to the eastern Mediterranean. Sci. Mar., 62, 3, 211-216.
- Fuda, J.L., Millot, C., Taupier-Letage, I., Send, U., Bocognano, J.M., 2000. XBT monitoring of a meridian section across the western Mediterranean Sea. Deep-Sea Research I 47, 2191-2218.
- Gervasio L., L. Mortier and M. Crépon, 2002. The Sicily Strait dynamics: A sensitivity study with a high resolution numerical model. The 2nd Meeting on the Physical Oceanography of Sea Straits, Villefranche, 15th-19th April 2002.
- Hamad N., C. Millot and I. Taupier-Letage, 2002. The surface circulation in the eastern basin of the Mediterranean Sea: new elements. Proceedings of the Ankara Conference, October 2002, in press.
- Hamad N., C. Millot and I. Taupier-Letage, 2005. The surface circulation in the eastern basin of the Mediterranean Sea as inferred from infrared images. Progress in Oceanogr., in press.
- Herbaut C., F. Codron and M. Crépon, 1998. Separation of a coastal current at a strait level: Case of the Strait of Sicily. J. Phys. Oceanogr, 28, 1346-1362. 1998.
- Janicot S. , Harzallah A. , Fontaine B. , Moron V., 1998. West African monsoon dynamics and Eastern Equatorial Atlantic and Pacific SST anomalies (1970-88), J. clim., 1998 , vol. 11 , no 8 , pp. 1874 - 1882
- Le Vourch, J., Millot, C., Castagné, N., Le Borgne, P., & Olry, J.P. (1992). Atlas of thermal fronts of the Mediterranean Sea derived from satellite imagery. *Mémoires de l'institut Océanographique, Monaco*, 16.

- Millot, C., 1987. Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta* 10, 143-149.
- Millot C., 1991. Mesoscale and seasonal variabilities of the circulation in the western Mediterranean. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 15, 179-214.
- Millot, C., 1992. Are there major differences between the largest Mediterranean Seas? A preliminary investigation. *Bull. Inst. Oceanogr. Monaco*, 3-25.
- Millot, C., 1999. Circulation in the western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems* 20, 423-442.
- Millot C. and I. Taupier-Letage, 2003. Additional evidence of LIW entrainment across the Algerian Basin by mesoscale eddies and not by a permanent westward-flowing vein. *Progress in Oceanography*, accepted.
- Hamad N., C. Millot and I. Taupier-Letage, 2005. The surface circulation in the eastern basin of the Mediterranean Sea as inferred from infrared images. *Progress in Oceanogr.*, in press
- Millot C. and I. Taupier-Letage, 2005b. Circulation in the Mediterranean Sea. *Handbook of Environmental Chemistry*. , Vol. 1 (The Natural Environment and the Biological Cycles), Invited. http://www.ifremer.fr/lobtln/OTHER/Millot_Taupier_handbook.pdf
- Molcard A., L. Gervasio, A. Griffa, G.P. Gasparini, L. Mortier, T.Ozgekmen, 2002. Numerical investigation of the Sicily Channel dynamics: density currents and water mass advection, *Journal of Marine Systems*, 36 (3-4), 219-238.
- Obaton D., C. Millot, G. Chabert D'Hières and I. Taupier-Letage, 2000. The Algerian Current: comparisons between in situ and laboratory measurements. *Deep-Sea Res.*, I 47, 2159-2190.
- Ponte A., 04/2003-06/2003. Théorie linéaire de la circulation dans un détroit large. Application au Détroit de Sicile. Stage d'option, Ecole Polytechnique.
- Poulain, P.M. , 1998. Lagrangian measurement of surface circulation in the Adriatic and Ionian seas between November 1994 and March 1997. The 35th CIEMS Congress, Dubrovnick, 190-191.
- Puillat I., I.Taupier-Letage and C. Millot. Algerian eddies lifetimes can near 3 years, 2002. *Journal of Marine Syst.*, 31, 4, 245-259.
- Ruiz S., J. Font, M.Emelianov, J. Isern-Fontanet, C. Millot and I. Taupier-Letage, 2002. Deep structure of an open sea eddy in the Algerian Basin. *J. Mar. Sys.*, 33-34, 179-195.
- Salas J., C. Millot, J. Font and E. García-Ladona, 2002. Analysis of mesoscale phenomena in the Algerian Basin observed with drifting buoys and infrared images. *Deep-Sea Res.*, 49, 2, 245-266.
- Sammari, C., Millot, C., Taupier-Letage, I., Stefani, A., Brahim, M., 1999. Hydrological characteristics in the Tunisia-Sardinia-Sicily area during spring 1995. *Deep-Sea Research I* 46, 1671-1703.
- Sammari C. and C. Millot, 2000. Hydrological variability in the Channel of Sicily. In « The Eastern Mediterranean climatic transient : its origin, evolution and impact on the ecosystem », *CIESM Workshop Series n°10*, 65-69.
- Sammari, C., Millot, C., Prieur L., 1995. Aspects of the seasonal and mesoscale variabilities of the northern current in the western Mediterranean Sea inferred from the PROLIG-2 and PROS-6 experiments, *Deep-Sea Res.*, Part I, 42, no 6 , 893-917.

Autres références citées dans le texte :

- Lacombe, H., Tchernia, P., 1972. Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. *Mediterranean Sea*, D. Stanley ed., Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, 25-36.

- Lermusiaux, P.F.J., Robinson, A.R., 2001. Features of dominant mesoscale variability, circulation patterns and dynamics in the Strait of Sicily. *Deep-Sea Research I* 48, 1953-1997.
- Lilly, J. M., P. B. Rhines, F. Schott, K. Lavender, J. Lazier, U. Send, and E. d Asaro, 2003: Observations of the Labrador Sea eddy field. *Progress in Oceanography*, Vol. 59, Pergamon, 75-176
- Nielsen, J.N. (1912). Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters. *Rep. Dan. Oceanogr. Exp. Medit.*, 1, 77-192.
- Onken, R., Sellschopp, M., 1998. Seasonal variability of flow instabilities in the Sicily Strait. *Journal of Geophysical Research* 103, C11, 24799-24820.- Pierini, S., Rubino, A., 2001. Modelling the Oceanic Circulation in the Area of the Strait of Sicily: The Remotely Forced Dynamics. *Journal of Physical Oceanography* 31(6), 1397-1412.
- Robinson, A.R., & Golnaraghi, M. (1993). Circulation and dynamics of the Eastern Mediterranean Sea; Quasi-Synoptic data-driven simulations. *Deep Sea Res.*, 40 (6), 1207-1246.
- Skarsoulis E., Send U., Piperakis G. & P. Testor : Acoustic thermometry of the western Mediterranean Basin, *J. Acous. Soc. Amer.*, accepted.
- Spall, Michael A., R. S. Pickart, 2001. Where does dense water sink? A subpolar gyre example. *Journal of Physical Oceanography*, 31(3), 810-825.
- Spall, M. A., 2004. Boundary currents and water mass transformation in marginal seas. *Journal of Physical Oceanography*. 34, 1197-1213
- Spall, Michael A., 2003. On the thermohaline circulation in flat bottom marginal seas. *Journal of Marine Research*, 61, 1-25
- Veneziani M., A. Griffa, A.M. Reynolds and A.J. Mariano, 2004. Oceanic turbulence and stochastic models from subsurface Lagrangian data for the North-West Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, in press
- Zatsepin A. G., A. I. Ginzburg, A. G. Kostianoy, V. V. Kremenetskiy, V. G. Krivosheya, S. V. Stanichny and P.-M. Poulain (2003) Observations of Black Sea mesoscale eddies and associated horizontal mixing, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, C8, 3246, doi:10.1029/2002JC001390.

COMPTE-RENDU D'ACTIVITE 2004-2005

S'il s'agit de la continuation d'un projet ayant déjà été sélectionné par un programme INSU, veuillez indiquer dans cette partie de façon succincte les résultats obtenus et les articles soumis ou déjà publiés.

Travaux réalisés en 2004

- Recherche de compléments de financement pour l'observation lagrangienne avec une demande au GMMC de 5 PROVORs, demande acceptée à l'été 2004 et une demande à l'ONR par nos collègues italiens de l'OGS acceptée début 2005.
- Poursuite des travaux de thèse de Bahjat Alhammoud avec la réalisation de simulations forcées par ERA40 ou de sensibilité au frottement de fond et au profil vertical de viscosité/diffusivité horizontales.
- Poursuite des travaux sur le canal de Sicile en continuation du projet SALTO initié en 2003 avec la réalisation de 5 radiales au large du Cap Bon.

Travaux réalisés en 2005 et début 2006

Canal de Sicile

- Réalisation de 4 radiales au large du Cap Bon (mai, juin, juillet, novembre). La programmation du N/O Hannibal, réservé en priorité à des opérations de pêche scientifique, a été plus contrainte que prévue, ce qui explique que seules 4 radiales sur les 6 prévues aient été réalisées sans toujours pouvoir choisir les dates.
- Déploiement de 5 bouées dérivantes en septembre (à partir d'un ferry) et novembre 2005 à partir du N/O Hannibal.

Bassin Ionien et Levantin

- Déploiement de 15 bouées de surface, de 5 profileurs (3 PROVORs et 2 APEX) et tir d'une centaine d'XBT lors du transit valorisé du N/O Explora de l'OGS en novembre 2005 avec mise en ligne en temps réel des données sur le site de l'OGS (<http://poseidon.ogs.trieste.it/doga/sire/egitto>) et de CORIOLIS (voir ci-dessous la stratégie de largage pendant ce transit désigné EGITTO-1).
- Déploiement de 10 bouées de surface, de 2 profileurs PROVORs et tir d'XBT lors du transit valorisé du N/O Atalante en janvier 2006, avec mise en ligne en temps réel des données sur le site de l'OGS.
- Préparation des mouillages et campagne EGYPT-1, actuellement en cours à bord du navire allemand FS Poseidon (Messine, 08/04/06 - Héraklion 26/04/06, accords d'échange de temps bateau). Les objectifs étaient de mettre en place un réseau de 7 mouillages équipés de courantomètres et de sondes hydrologiques et de faire des sections d'hydrologie tenant compte de la situation à moyenne échelle devant l'Egypte. L'Égypte revendiquant une ZEE, l'Allemagne a déposé dans les 6 mois précédant la campagne une demande d'autorisation de travail dans la zone des 12-50 milles. Le refus de cette autorisation a été notifié la veille du départ, et l'autorisation de travailler dans la zone 50-200 milles était assortie de conditions non réalistes et non acceptables. La décision a donc été prise de travailler devant la Libye, et d'y déployer également le réseau de mouillages (relevage prévu en 2008). Les objectifs et la stratégie restent identiques, à l'exception du rôle de la bathymétrie dans le guidage et piégeage des tourbillons par la fosse d'Hérodote, qui ne pourra pas être abordé.
- Poursuite et soutenance en décembre 2005 de la thèse de Bahjat Alhammoud avec notamment la mise en évidence de deux régimes de circulation du Mid-Mediterranean Jet

dans le sous-bassin levantin qui semblent bien corrélés à la présence/absence du tourbillon de Ierapetra au Nord ou de l'ensemble de tourbillons de Mersa-Matruh au sud. Ces résultats demandent à être approfondis au plan qualitatif à partir des simulations réalisées avec MED16 et validés de façon qualitative à partir de cartes SST, de l'altimétrie et du réseau XBT de MFSTEP.

- Début de la thèse de Ayda Gharbi, avec la mise en place d'un module lagrangien dans le modèle régional. Des simulations tests ont été faites et ont montré des résultats très encourageants par comparaison aux trajectoires des bouées mise à l'eau en septembre 2005 sur la radiale au large du Cap Bon.

Une réunion des 3 principales équipes intervenant avec des financements nationaux dans le bassin oriental s'est tenue à Tunis en septembre 2005, afin d'harmoniser et d'optimiser les travaux : LOCEAN et LOB/France (programme EGYPT), INSTM/Tunisie (programme SALTO), OGS/Italie (programme EGITTO). Le principe d'un « consortium » informel (car aucune source de financement international n'est adaptée) a été acquis et la recherche de son élargissement à d'autres collègues étrangers. Les termes d'échanges de données et de leadership de thèmes scientifiques élaborés ont été mieux définis. Le principe d'une réunion annuelle a été retenu afin de faire le point des travaux, des analyses et des publications en cours. La prochaine réunion est prévue à l'automne 2006 en Tunisie, à la fin de la phase d'observation, et permettra de préparer le colloque de la CIESM en avril 2007.

Transit valorisé EGITTO-1

Les premières observations in situ ont été obtenues au cours d'EGITTO-1, valorisation du transit de l' « OGS Explora » en novembre 2005. Nous avons déployé 3 PROVORs, 2 APEX, 15 drifters et tiré une centaine d'XBT, selon des radiales déterminées d'après l'analyse de l'imagerie IR et des prévisions issues des modèles MFSTEP et Mercator/PSY2V2. La première analyse de la situation est illustrée par la figure 8 ci-dessous.

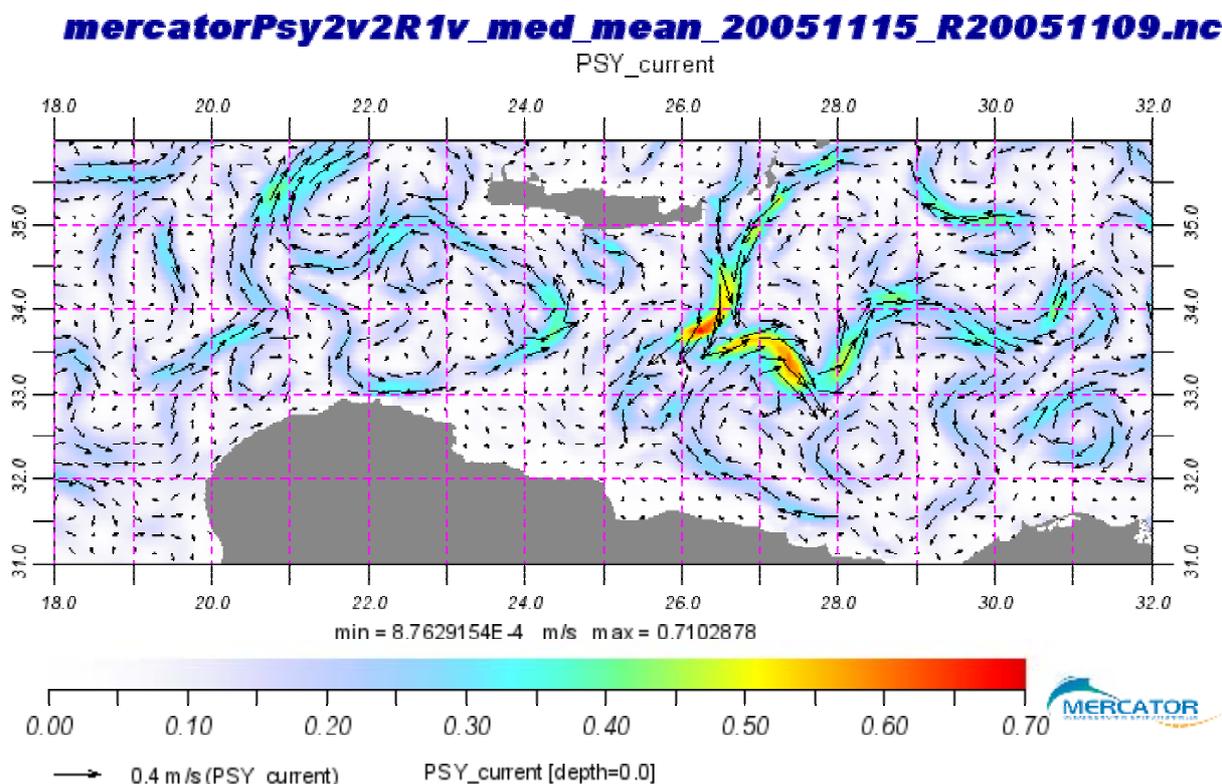


Figure 8 : Prévisions du courant de surface pour le 15 novembre 2005 (D. Palin, Mercator).

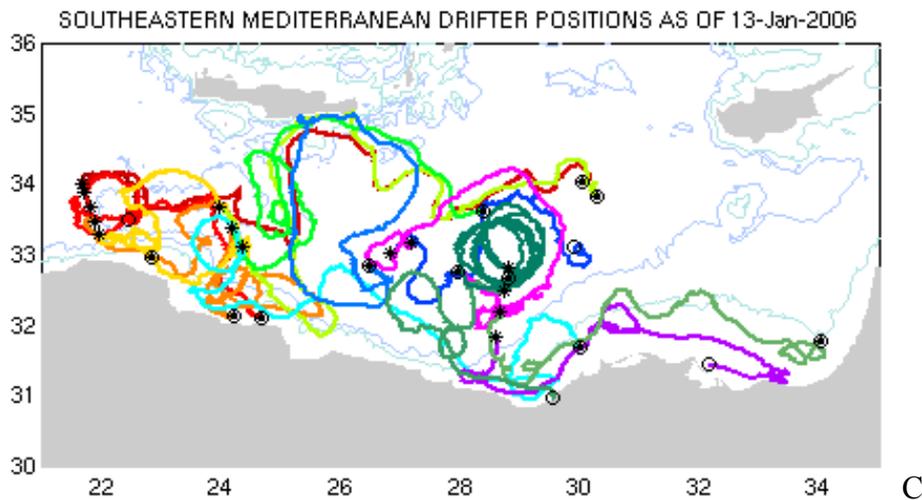
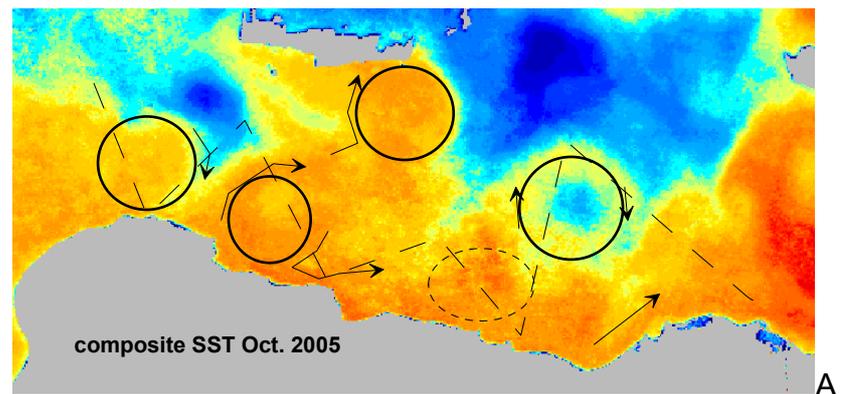


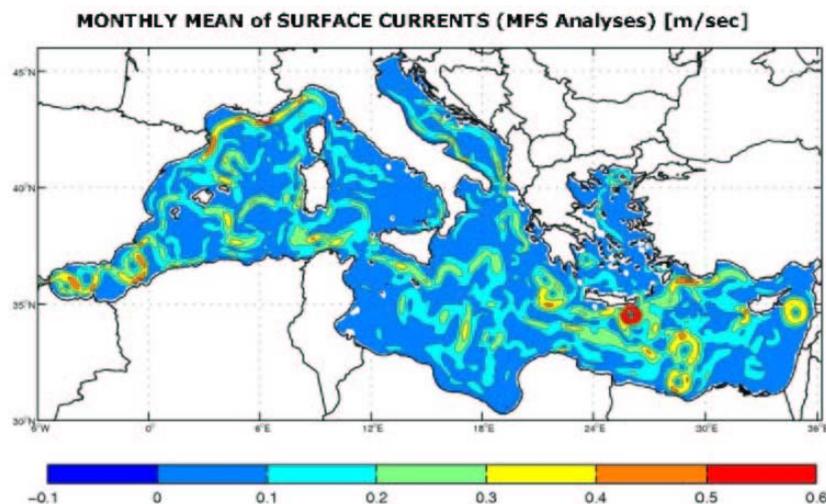
Figure 9 : Observations et analyse de la situation pendant EGITTO-1

L'analyse de l'image IR (Fig. 9a) fait apparaître 3 tourbillons le long de la pente continentale (celui en pointillés sur 28°E est confirmé depuis), le tourbillon Ierapetra (induit par les Etésiens) au SE de la Crète, et un autre au large entre 27 et 29°E. Sur la figure 9b les transects XBT sont schématisés par les pointillés. Les trajectoires des bouées (Fig. 9c ; étoile : position de largage ; rond : position actuelle ; from P. Poulain/ EGITTO) montrent des boucles correspondant aux tourbillons, certaines fermées et même répétées. A la côte les points de

rebroussement (e.g. trajectoire cyan, vers $\sim 23^\circ\text{E}$, et violette vers 28°E) indiquent le bord SE des tourbillons. Comme cela avait été observé dans le sous-bassin algérien, les tourbillons proches peuvent agir comme une roue à aube (Taupier-Letage et Millot, 1988 ; Millot, 1992 ; Taupier-Letage et al. 2003) : c'est ici le cas par exemple avec la trajectoire brune de la bouée larguée vers $34^\circ\text{N}-22^\circ\text{E}$, qui est successivement passée sur les bords nord des 2 tourbillons les plus à l'ouest, puis qui a été entraînée vers 25°E vers le nord par Ierapetra qu'elle a contourné, pour atteindre ensuite le bord nord du tourbillon situé au large vers 29°E . Autrement dit, ces phénomènes de moyenne échelle que sont les tourbillons libyo-égyptiens jouent un rôle fondamental pour la (perturbation de la) circulation de AW. La majorité des trajectoires orientées zonalement se trouve dans une bande côtière, alors qu'au large les trajectoires orientées longitudinalement prévalent. Rien ne montre ni même n'évoque un jet direct puissant qui traverserait le bassin en son centre. Les données d'ADCP et du thermosalinomètre sont en cours de traitement pour valider cette analyse visuelle.

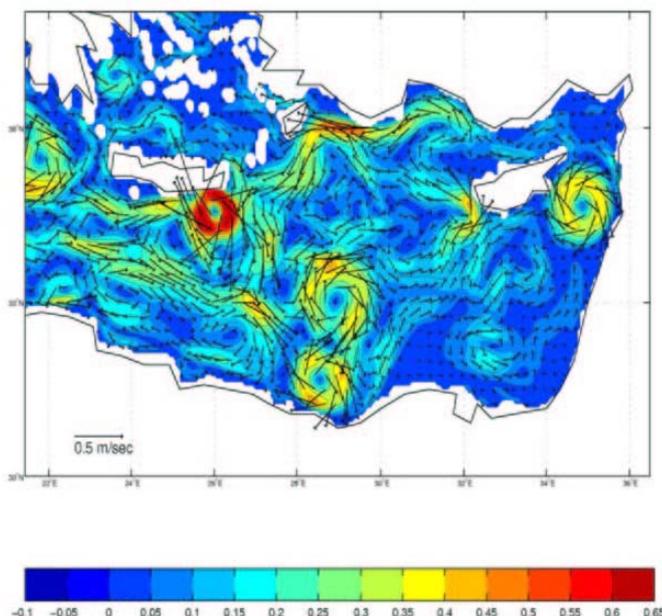
Cette analyse est à comparer avec celle de MFSTEP, parue dans le bulletin de novembre 2005

([http:// www.bo.ingv.it/mfstep/WP8/Doc/ MFSTEP_bulletin_112005.pdf](http://www.bo.ingv.it/mfstep/WP8/Doc/MFSTEP_bulletin_112005.pdf)) (Fig. 10) :



The figure above represents the **magnitude of the surface currents** calculated from MFS analyses.

As we can see the amplitude is largest in the Alboran Sea, North Western Mediterranean and in the Levantine where many gyres and meanders of high intensity are visible.



We decided to focus our attention on the **Levantine Sea**.

The Atlantic Ionian stream entering in the Cretan Sea is in the middle of the basin forming a well defined Mid Mediterranean Jet.

South of this, there is a well formed Mersea Matruh Gyre system that presents two anticyclonic centers.

The Mid Med Jet deviates northward of Cyprus leaving a region of weaker circulation in the South eastern Levantine basin.

A very strong and large anticyclonic gyre is present between Cyprus and the Lebanese coasts.

Finally, the Asia Minor Current flows westward along the Turkish coasts and forms a very high intensity Iera Petra Gyre where the velocity fields reach values of amplitude of about 0.7 m/sec.

Figure 10 : analyse de MFS for november 2005

Alors que le modèle reproduit plutôt bien les structures de moyenne échelle que sont les tourbillons libyo-égyptiens (mieux que PSY2V2 a priori), l'analyse met en avant un MMJ. Il est évident que de l'AW récente est advectée sur les bords ouest des tourbillons vers le nord/le large ... mais il est tout aussi évident (ne serait-ce que par les trajectoires des bouées) que l'advection de l'AW récente continue vers le sud sur leurs bords est. Ce « MMJ » correspond donc clairement aux bords nord des tourbillons.

Thèses, publications, communications

- Alhammoud B., 2005. Circulation générale océanique et variabilité à méso-échelle en Méditerranée Orientale : approche numérique, Thèse de l'Université de la Méditerranée soutenue le 2 décembre 2005 à Marseille.

- Alhammoud B., K. Béranger, L. Mortier, M. Crépon, and I. Dekeyser , 2005. Surface circulation of the Levantine Basin: comparison of model results with observations, *Progress in Oceanography*, Vol. 66(2-4), pp 299-320.
- Alhammoud B., K. Béranger, L. Mortier and M., Crépon, 2006. Impact of mesoscale eddies on sub basin-scale circulation in the Eastern Mediterranean sea, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 00501, 2006, EGU 2006 Vienna.
- Béjaoui, B., Ben Charrada, R., Mouss, M., Ben Hamadou, R., Harzallah, A. et A. Chapelle, 2005. Caractérisation hivernale de la lagune de Bizerte, *Bull. Inst. Nat. Sci. Tech. Mer*, 32, 2005.
- Gana, S., Ben Ismail, S., and Sammari, C., 2006. Monthly variability of water masses parameters and mixing in the western side of the strait of Sicily during 2003. *Geophysical Research Abstract*, Vol.8, 05878, 2006, EGU 2006 Vienna.
- Hamad, N., C. Millot and I. Taupier-Letage, 2005a. A new hypothesis about the surface circulation in the eastern basin of the Mediterranean Sea. *Progr. In Oceanogr.* , 66, 287-298.
- Hamad N., C. Millot and I. Taupier-Letage, 2005b. The surface circulation in the eastern basin of the Mediterranean Sea as inferred from infrared images. *Scientia Marina*, in press.
- Millot C. and I. Taupier-Letage, 2005. Circulation in the Mediterranean Sea. *The Handbook of Environmental Chemistry*, Volume 5 Part K, Alain Saliot volume Ed., Springer-Verlag, 29-66.
- Rougier, G., Millot, C., Chretien, E., Gervais, G.T., Fuda, J.L., and Sammari, C., 2004. Analysis of current and temperature data collected in the Channel of Sardinia during the SALTO MFSPP Experiments. *Geophys. Res. Abst*, Vol. 5, 01405, EGU 2004, Nice.
- Sammari, C., Koutitonsky, V.G., and Moussa, M., 2005. Sea level variability and tidal resonance in the Gulf of Gabes, *Continental Shelf Research*, 26, pp338-350
- Sammari, C., Koutitonsky, V.G., 2005. The Tides in the Gulf of Gabes, Tunisia: New Results, *Observing and Understanding Sea Level Variations*, Book of Abstracts edited by ESEAS, November, 2005.
- Testor P., U. Send, F. D'Ortenzio, T. Terre, G. Zappala, 2006. Meso- and Submesoscale-Scale circulations of Atlantic Water in the Ionian Sea, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 08485, 2006, EGU 6006, Vienna.

MOYENS DONT DISPOSE OU QUE DEMANDE LE PROPOSANT POUR LA RÉALISATION DU PROJET

1. PERSONNELS ET LABORATOIRES IMPLIQUÉS

(établir une liste nominative avec indication précise du rôle de chacun et du pourcentage de temps qu'il consacrerà au projet)

- Par expertise (rubrique à cocher éventuellement), on comprend la participation au titre d'une expertise scientifique particulière nécessaire à la bonne marche du projet et nécessitant un investissement en temps chercheur entre 5% et 10%.
- Regrouper les collaborations internationales en 2^e partie du tableau
- Pour les enseignants chercheurs préciser le % sur le temps total

NOM	LABORATOIRE	FONCTION	Participation au projet		% Participation à d'autres programmes (INSU, EUROPE)
			% participation	Expertise	
Isabelle TAUPIER-LETAGE	LOB, CR CNRS	PI EGYPT pour les observations, imagerie satellitaire	70%		Non disponible
Claude MILLOT	LOB, DR CNRS	analyse des observations de la campagne EGYPT-1	45%		Non disponible
Gilles ROUGIER	LOB, IE CNRS	traitement et analyse des observations de la campagne EGYPT-1	10%		
Anne PETRENKO	LOB/COM MC Univ.	Observation XBT, courant côtier		Expert	
Jean-Luc FUDA	COM, IE	traitement et analyse des observations de la campagne EGYPT-1	10%		
Michel CRÉPON	LOCEAN, DR CNRS	Modèle analytique		Expert	
Laurent MORTIER	LOCEAN, MC ENSTA	PI EGYPT pour la modélisation, modèle analytique	50%		50% (INSU COLARGOL et API Méditerranée, ANR LIVINGSTONE)

Pierre TESTOR	LOCEAN, CR CNRS	Analyse données profileurs	10%		90% (ANR LIVINSTONE et PROFIE)
Karine BERANGER	ENSTA, MC ENSTA	Modèle numérique, analyse MED16/PSY2	50%		10% (INSU API Méditerranée)
Anne MOLCARD	LSEET	Analyse données bouées surface et profileurs	20%		Non disponible
Bahjat ALHAMMOUD	Université d'Utrecht, Postdoc	Modèle numérique ; Analyse MED16	10 %		
Chérif SAMMARI	INSTM, MC1	Hydrologie, analyse données bouées de surface	25%		
Ali HARZALLAH	INSTM, équiv. CR	Modèle numérique régional, Analyse PSY2	25%		
Slim GANA	INSTM Équiv. CR	Altimétrie	25%		
Mouldi BRAHIM	INSTM, Equiv. IR	Hydrologie, analyse données bouées de surface	20%		
Sana BEN INSMAIL	INSTM Equiv. IR	Télédétection SST	50%		
Ayda GHARBI	INSTM, Thèse	Modélisation régionale	100 %		
Pierre POULAIN	OGS Trieste, Senior scientist	PI Projet conjoint EGITTO, bouées dérivantes et profileurs (PI MEDARGO)	20%		
Riccardo GELIN	OGS Trieste, Postdoc	Analyse données bouées de surface et profileurs	100%		
Gianpietro GASPARINI	CNR La Spezia, Senior scientist	Hydrologie		Expert	
Jordi FONT	ICM/CSIC Barcelona, Senior scientist	Hydrologie	15%		
Michael EMELIANOV	ICM/CSIC Barcelona, Research scientist	Hydrologie	15%		

Ahmed EL GINDY	AUDO, Prof	Collaboration franco-égyptienne		Expert	
Mohamed SAID	NIOF, Prof	Collaboration franco-égyptienne		Expert	
Najwa HAMAD	HIMR, Prof	Collaboration franco-syrienne Télédétection SST	15%		
Detlef QUADFASEL	IFM, Equiv. DR1	Analyse données altimétriques	10%		

2. EQUIPEMENT DISPONIBLE POUR LA REALISATION DU PROJET (préciser dans quel laboratoire)

- Les instruments nécessaires pour les mouillages et la réalisation de la campagne EGYPT-1 proviennent du LOB, du COM, de l'ICM/CSIC/Barcelona, et de la DT INSU.
- 16 bouées dérivantes ont été financées au LOB par le PATOM. 5 bouées dérivantes sont financées l'INSTM. Dans le cadre du programme EGITTO une cinquantaine de bouées dérivantes a été obtenue (Canal de Sicile et bassin oriental).
- Le GMMC a fourni 10 PROVORs et 4 caisses d'XBT.
- Le CMS de Lannion fournit les images thermiques dans le cadre du SATMOS.

3. MOYENS DEMANDES HORS APPEL D'OFFRE LEFE (indiquer ici les moyens demandés aux commissions scientifiques en charge de l'examen des demandes de campagnes à la mer, « Vols Avion », « Vols Ballon », les commissions de l'IDRIS pour le temps calcul, les demandes de soutien à la DT INSU, etc...). Pour les projets comportant une campagne en mer sur la flotte hauturière de l'Ifremer, les proposant doivent remplir l'annexe 2. Pour les autres demandes de moyens indiquer précisément la nature de la demande et la justifier (joindre éventuellement une annexe qui pour les vols avion peut-être le dossier de demande disponible sur www.saphir.fr).

Instrument Nationaux sollicités :

Afin de permettre une optimisation de la programmation des moyens navals, une demande provisoire de campagne (EGYPT-2) a été déposée en 2006 pour le Suroît en 2008, pour la récupération des mouillages. La demande définitive sera déposée en janvier 2007 (N-1 pour le Suroît). Nous avons également signalé la valorisation potentielle de transits dans la zone.

Demande IDRIS :

Des demandes à l'IDRIS ont été effectuées régulièrement et fin 2005 pour la réalisation des simulations avec le GCM MED16. Le temps calcul est demandé sur la machine vectorielle NEC.

4. LABELISATION DE BOURSES POST-DOCTORALES OU DOCTORALE :
sans objet

5. DEMANDE DE FINANCEMENTS DANS LE CADRE DE L'APPEL D'OFFRE LEFE

NB : pour les projets pluriannuels présenter un calendrier

5.1. FONCTIONNEMENT

A détailler et justifier poste par poste pour toute la durée du projet. Comprend aussi les coûts ARGOS à indiquer en nombre de jours d'émission.

- Consommable informatique/imagerie sat., sauvegarde données = 1 500 €
- Publications modèle-SALTO et lagrangien-EGYPT (planches couleurs /images) = 2 000 €
- Total fonctionnement = 3 500 €

5.2 MISSIONS :

A détailler et justifier poste par poste pour toute la durée du projet

- Réunion 2 jours Tunisie automne 2006 : 6 pers. * 600 € (Toulon, Paris, Barcelone, Trieste à Sousse) = 3 600 €
- Réunions LOCEAN/LOB à Paris : 1 /an => 2 * 2 pers. * 2j = 800 €
- Réunions LOCEAN/INSTM et OGS/INSTM : 3 * 1 pers * 5 jours = 2 400 € *
- Journées PATOM : 2 pers. * 2 j * 2 ans = 800 €
- CIESM Istanbul Avril 2007 : 4 pers. * 800 € (dont frais d'inscription) = 3 200 €
- Total missions = 10 800 €

* Auparavant, nos collègues tunisiens s'appuyaient sur des demandes CMCU (Min. Affaires étrangères) faites avec le LODYC, le LOB ou le LEGI pour financer les missions en France. Actuellement, la situation qui prévaut en Tunisie fait que les demandes, au demeurant extrêmement nombreuses en provenance des universités tunisiennes, ont systématiquement été classées non prioritaires. Nous nous sommes donc tournés vers un financement par les programmes de l'INSU.

5.3 ANALYSES : sans objet

5.4 ÉQUIPEMENT SPÉCIFIQUE : sans objet

5.5 EQUIPEMENT MI-LOURD : sans objet

5.6 TOTAL GÉNÉRAL DES CRÉDITS DEMANDÉS AU PROGRAMME LEFE :

- Fonctionnement = 3 500 €
- Missions = 10 800 €
- Total = 14 300 €

6. AUTRES FINANCEMENTS (attribués ou demandés hors de l'appel d'offre LEFE, y compris dans le cadre européen). A détailler et justifier pour toute la durée du projet.

- Prévision de demande en 2006 au GMMC (XBT à Coriolis, missions pour valorisations de transit) = 8000 €. Pour mémoire : financement GMMC obtenu en 2005 : 8000 € pour les mêmes activités.
- Région PACA pour la coopération internationale avec les pays riverains (sud) de la Méditerranée : une demande de 14000 € a été déposée en 2006 (participation des collègues Egyptiens et Syrien à la campagne EGYPT-1, notamment). Pour mémoire :

financement PACA obtenu en 2005 = 4000 €. La demande de PAI IMHOTEP (France - Egypte) déposée fin 2005 n'a pas abouti en raison d'un problème avec le dossier du côté Egyptien.

- L'OGS et l'INSTM ont leur propre financement national pour les activités de 2006 (coût ARGOS pour bouées, fonctionnement), mais pas pour des missions en 2006 ni après 2007. L'ICM/Barcelona n'a pas de financement dédié à EGYPT. C'est la raison de notre demande de support de mission pour P.M. Poulain et J. Font pour se rendre à Sousse, et pour nos collègues tunisiens pour se rendre à Paris et à Trieste.
- Pour mémoire : la campagne EGYPT-1 a bénéficié d'un soutien de campagne INSU.

RECAPITULATIF DE LA DEMANDE BUDGETAIRE

	Obtenu en 2004 PATOM	Obtenu en 2005 PATOM	Demande 2006
FINANCEMENTS DEMANDES AU PROGRAMME LEFE			
Fonctionnement	24 000 € (bouées)	20 300 € (campagne EGYPT-1)	3 500 €
Missions	/	1 200 €	10 800 €
Analyses			
Petit équipement			
Equipement mi- lourd			
Total demandé à LEFE	24 000 €	21 500 € <i>p.m. 51 400 € soutien de campagne INSU*</i>	14 300 €
AUTRES FINANCEMENTS DEMANDES OU OBTENUS (préciser)			
Projet européen			
ANR			
PNTS			
Région PACA	/	4 000 € en missions**	Demande faite 14 000 €
GMMC	4 400 € en missions (+ 5 Provors)	8 000 € en XBT (+ 5 Provors)	Demande prévue 8000 €
Total autres financements	4 400 €	12 000 €	22 000 €

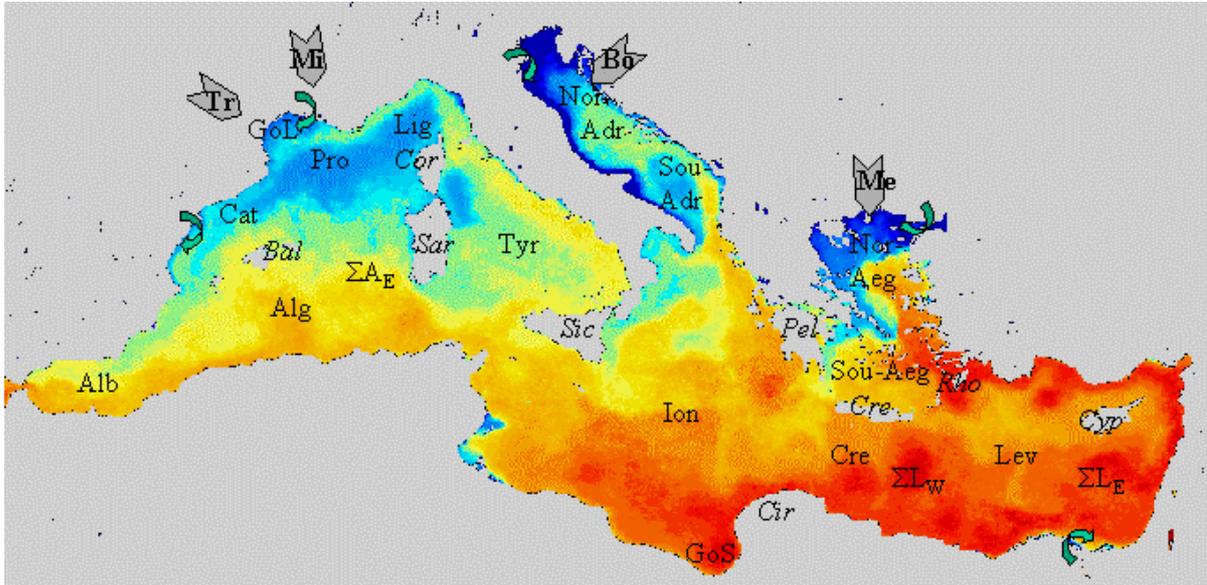
* Ce poste correspondait à l'achat de Parafil et de terminaisons pour assurer une sécurité maximum aux mouillages, qui doivent rester en place 2 ans.

** Le cofinancement de la Région nécessitait un financement équivalent (4k Euros) en missions

ANNEXE 1

Our Mediterranean Sea terminology

(superimposed on the image of the Sea Surface Temperature monthly composite of January 1998, from DLR). The counter-clockwise circuit of the Atlantic Water entering through the Strait of Gibraltar is illustrated by the continuity of the warmer (red colors) temperature alongslope.



The Mediterranean Sea is divided into the western and eastern basins.

Basins are divided into subbasins (following the AW circulation) :

Alb: Alboran; **Alg**: Algerian; **Tyr**: Tyrrhenian; **Ion**: Ionian; **Cre**: Cretan; **Lev**: Levantine; **Sou-Aeg**: South-Aegean; **Nor-Aeg**: Nor-Aegean; **Sou-Adr**: South-Adriatic; **Nor-Adr**: North-Adriatic; **Lig**: Ligurian; **Pro**: Provencal; **Cat**: Catalan.

Σ AE, Σ LW and Σ LE are areas where eddies tend to accumulate and interact, up to merging and/or decaying, in the east Algerian, west and east Levantine subbasins, respectively.

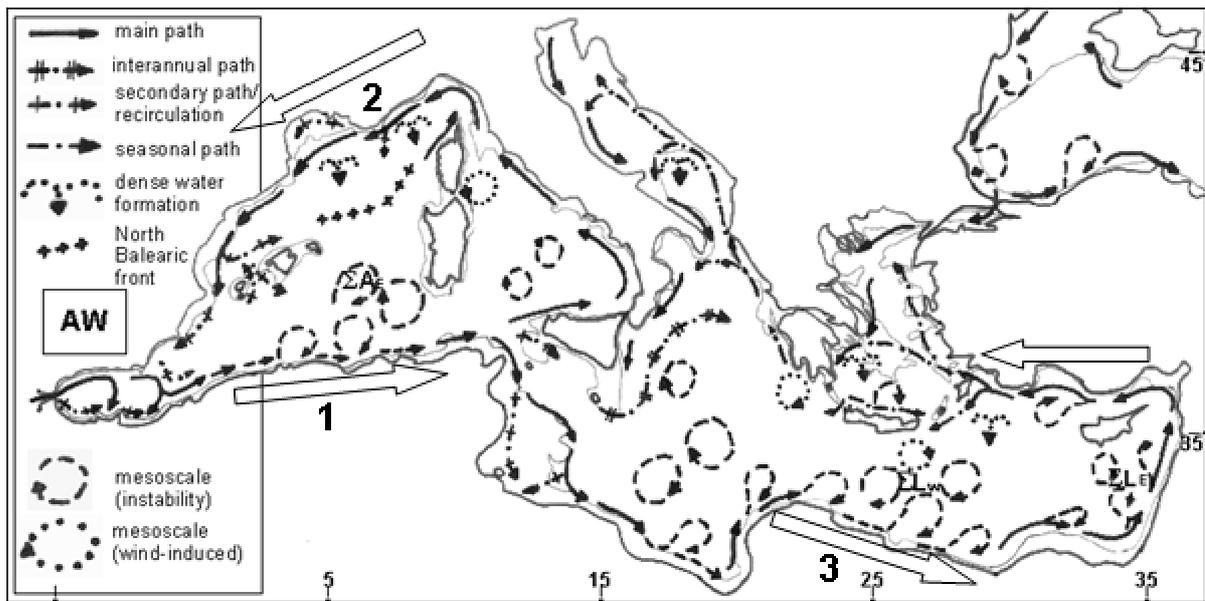
Bal: Balearic Islands; **Sar**: Sardinia; **Sic**: Sicily; **GoS**: Gulf of Syrte; **Cir**: Cirenaica; **Cre**: Crete; **Cyp**: Cyprus; **Rho**: Rhodes; **Pel**: Peloponnese; **Cor**: Corsica; **GoL**: Gulf of Lions.

The main wind systems are indicated with wide grey arrows: **Tr**: Tramontane; **Mi**: Mistral; **Bo**: Bora; **Me**: Meltem.

Curved green arrows represent the main river outflows.

Gyres and Eddies...: voir autres définitions sur www.ifremer.fr/lobtln/OTHER/Terminology.html

Surface circulation in the Mediterranean Sea (from Millot and Taupier-Letage, 2005)



1: Algerian current 2: Northern current 3: Libyo-egyptian current

ANNEXE 2

A2.1. Le canal de Sicile

Le canal de Sicile et ses abords immédiats sont évidemment une région-clé pour la circulation de AW. Néanmoins, à cause de la grande largeur du canal, d'une topographie complexe, de l'importance du plateau continental, de la forte variabilité des conditions météorologiques, tout autant que des difficultés pour échantillonner dans des eaux nationales étrangères, il n'a pas encore été possible de faire une étude détaillée de la partie tunisienne du canal (la plus importante de notre point de vue).

A grande échelle, le déficit en eau des bassins occidental et oriental de la Méditerranée est compensé par une entrée d'AW par le détroit de Gibraltar. Comme indiqué dans le travail pionnier de Nielsen (1912), nous pensons que AW s'écoule en Méditerranée le long de la pente continentale en décrivant assez systématiquement des circuits directs dans chaque bassin. A l'entrée du canal de Sicile notamment, une partie de AW s'écoule dans le bassin oriental mais une autre partie reste dans le sous-bassin tyrrhénien pour rejoindre ensuite le courant Nord (Millot, 1987, 1999), où elle alimente le phénomène de convection profonde au large du golfe du Lion. La séparation de AW qui en résulte est déjà nettement schématisée par Nielsen lui-même. Sur son schéma, la veine orientale apparaît d'abord collée à la côte tunisienne (comme sur la fig. 2). C'est aussi le principal trait qui ressort des travaux conduits par les participants à cette demande du point de vue de la modélisation numérique (fig. 3a d'après Béranger et al., 2002 ; voir aussi Molcard et al., 2002, et Pierini et Rubino, 2001). Néanmoins, les données in situ et par télédétection que nous avons collectées récemment ont révélé que la variabilité à moyenne échelle avait une importance déterminante sans permettre toutefois de la décrire précisément (Sammari et al., 1999). Ces différents éléments sont mis en évidence par les trajectoires de la fig. 4.

Ceci étant, la plupart des autres données et études récentes conduites dans le canal à partir de bouées dérivantes, de profils hydrologiques et de modèles (e. g. Poulain, pers. comm. ; Lermusiaux et al., 2001 ; ce dernier article fournit une revue assez complète des études antérieures), ont plutôt concerné la partie centrale et le côté sicilien du canal en n'échantillonnant que très aléatoirement le côté tunisien. L'image de la circulation dans cette région qui est actuellement la plus répandue (e.g. fig. 1) pourrait donc selon nous différer très sensiblement de la réalité. Il en est de même de la circulation au sud et à l'est du canal de Sicile car très peu de mesures couvrent le sud du sous-bassin ionien et plus particulièrement le plateau tuniso-libyen au large des golfes d'Hammamet et de Gabès.

La circulation sur le plateau tunisien au large de ces golfes est pourtant une zone d'intérêt environnemental très fort pour nos collègues tunisiens. La région entre la Tunisie et la Sicile est la plus riche de toute la Méditerranée en ressources halieutiques, et la pêche est une activité centrale de l'économie tunisienne. La très faible profondeur du plateau le rend particulièrement vulnérable aux apports polluants de toute nature. L'INSTM a d'ailleurs la charge de préciser l'environnement physique de cette région dominé par un fort signal de marée (1,5m dans le golfe de Gabès) et une circulation qui semble relativement particulière, comme le montraient déjà Lacombe et Tchernia (1972 ; à peu près tel que fig. 2). En effet, et comme dans le golfe du Lion où le phénomène est maintenant parfaitement admis, la partie de AW qui suivrait la côte tunisienne (pour mieux l'individualiser par rapport aux autres veines nous l'appelons TCC, Tunisian Coastal Current) se sépare d'abord de la partie de AW qui suit le bord du plateau (elle est appelée ATC, Atlantic Tunisian Current par Poulain, 1998) avant de la rejoindre là où le plateau se termine (à l'ouest de la Libye). Cette bifurcation de la circulation générale (entre TCC et ATC) à l'entrée du plateau et sa jonction

à la sortie méritent d'être précisées, tout comme doit l'être l'existence d'une veine qui suivrait les côtes sud-ouest de la Sicile pour donner l' AIS (cf. fig. 1).

La modélisation numérique a bien évidemment ouvert de nombreuses pistes et simulé des situations plus ou moins réalistes. Parmi les modèles dédiés à des études de processus, on peut citer principalement celui de Onken et Sellschopp (1998) qui étudie la variabilité saisonnière de l' AIS en s'appuyant sur le caractère barocliniquement instable du courant, et ceux qui étudient le forçage thermohalin 'lointain' du détroit (Pierini et Rubino, 2001 ; Molcard et al., 2002). Enfin, parmi les nombreux GCM, il faut noter que leur résolution horizontale (1/4 ou 1/8ème de degré) trop faible ne permet pas une représentation correcte de la circulation. Récemment, le GCM MED16 que nous avons développé au LOCEAN (cf. infra) (1/16ème cos(lat) de degré, soit presque le triple des modèles au 8ème) permet une modélisation de l'écoulement de surface (Béranger et al., 2002, 2003a,b ; Alhamoud et al., 2003) qui semble plus correcte !

En parallèle de cette modélisation numérique, nous avons également développé une approche théorique. Un premier modèle analytique linéaire en mode verticaux (Herbaut et al., 1998) a permis de détailler le mécanisme qui contrôle la séparation en 2 veines du courant de surface à l'entrée d'un plateau continental. Un deuxième modèle (Ponte, 2003 ; cf. fiche de suivi de SALTO-2) a généralisé ce résultat et détaille les processus de contrôle par la topographie du système de courants dans le canal de Sicile schématisé par un seuil entre deux bassins. Le rôle des ondes 'doubles de Kelvin' (qui sont en fait des ondes topographiques) barotrope et barocline y est déterminant. On montre en particulier comment le gradient topographique du seuil contrôle le débit des différentes veines. Le calcul numérique complet (avec OPA et MICOM dans la configuration du modèle analytique) confirme avec une très bonne précision la validité du modèle analytique.

Le schéma de circulation que l'on peut maintenant proposer en se basant sur les observations (fig. 2), et qui est en assez bon accord général avec la modélisation (fig. 3), est encore à approfondir sur plusieurs points importants :

- Peut-on confirmer l'existence des veines que seraient l' AIS, le ATC et le TCC ?
 - Quelle serait l'importance respective de ces trois veines, quels seraient leurs transports et leurs variabilités saisonnières?
 - Où auraient lieu préférentiellement les éventuelles bifurcations ATC-AIS puis ATC-TCC?
 - Peut-on préciser la circulation générale sur le plateau (TCC) et le long de son bord (ATC) mieux que ne l'ont fait la plupart des études antérieures (conduites plutôt du côté sicilien) ?
 - Quel serait le devenir de l'ATC et de l' AIS dans le sous-bassin ionien, ou plus précisément quelle serait la part de l' AIS qui rejoindrait l'ATC et le TCC pour s'écouler le long des côtes libyennes par rapport à celle qui se répandrait de manière turbulente dans la partie centrale de l'ionien ?
 - Comment les GCM reproduisent-ils ces différentes veines et quelle variabilité exhibent-ils?
- Le travail que nous proposons vise à approfondir, grâce à des données adaptées, ces questions qui ont reçu des premières réponses, essentiellement sur la base de modèles théoriques, lors de SALTO-2 (voir fiche de suivi).

A2.2. Le sous-bassin levantin

La figure 1 est très explicite quant aux idées admises jusqu'à présent sur la circulation dans ce sous-bassin avec un MMJ qui s'écoulerait en diagonale et formerait sur sa droite (dans la partie sud) des circuits dits permanents ou récurrents et appelés Mersa-Matruh ou Shikmona. La figure 2, quant à elle, veut d'abord représenter un écoulement moyen le long de la côte, ou plutôt le long de la partie supérieure de la pente continentale. Cet écoulement est relativement

instable et génère des tourbillons de moyenne échelle qui vont se détacher et, nous semble-t-il, se concentrer in fine dans les zones privilégiées mentionnées ci-dessus mais que nous avons dénommées LW et LE. En effet, notre analyse diffère des analyses précédentes non pas sur les zones particulières elles-mêmes (elles ressortent dans toute analyse de données) mais sur les processus qui les gouvernent. Notre dénomination a pour but de montrer que ces zones (à l'ouest/W et à l'est/E du sous-bassin levantin/L) sont formées par la coexistence (S) de structures de moyenne échelles issues pour certaines de la zone côtière au sud, qui arrivent dans la zone en étant guidées par la topographie (les isobathes profondes formant la dépression dite d'Herodotus pour W, peut-être l'angulation de la côte de l'Égypte au Moyen-Orient pour E), y interagissent jusqu'à parfois y fusionner et finalement y disparaissent. A noter que le tourbillon qui, d'après nous, est systématiquement formé tous les étés par les vents de nord au sud-est de la Crête (Ierapetra), peut se déplacer jusqu'aux côtes égyptiennes pour souvent se trouver dans la zone LW et interagir avec les tourbillons issus du processus d'instabilité (Hamad et al., 2002, 2003). L'étude que nous souhaitons conduire avec nos collègues égyptiens a pour but de tester la validité de notre analyse tout en montrant autant que possible les conséquences directes de la variabilité de la circulation pour tout ce qui concerne l'activité économique dans la région. Nous surveillons (imagerie satellitaire) en permanence la genèse et la propagation des tourbillons le long des côtes libyennes et égyptiennes et envisagerions d'attendre, si besoin était, qu'un tourbillon entre dans les eaux égyptiennes pour pouvoir correctement l'échantillonner avec des bouées. Ces bouées devraient dériver d'abord dans la circulation générale côtière avant d'être entraînées dans ce tourbillon, puis dans d'autres éventuellement, soulignant ainsi la forte variabilité de moyenne échelle et la non-existence d'un quelconque MMJ.

ANNEXE 3 :
Proposition à l'ONR
Currents in the southeastern Mediterranean Sea

P.I. : Pierre-Marie Poulain

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS)

Borgo Grotta Gigante, 42/c 34010 Sgonico (Trieste), Italy

Phone: +39 040 2140 322 Fax: +39 0402140266 E-mail: ppoulain@ogs.trieste.it

Scientific Objectives

The main goal on this project is to measure the surface currents in the southern areas of the Ionian and Levantine sub-basins of the Mediterranean Sea and to discriminate between the various circulation patterns published in the literature based on in-situ observations (CTD, XBT, AXBT and very few currentmeter time series), remote sensing data (SST, ocean color and sea surface topography) and models. It is proposed to use low-cost satellite-tracked drifters to measure the surface currents in the first meter of water. The monitoring of the circulation in the south of the western Mediterranean basin, with main focus on the eventual main eastward current trapped (or not) on the topographic slope, is planned for a full year in order to investigate any seasonal variability. The surface current observations will be interpreted in concert with the distribution of tracers (SST, ocean color, etc.) measured from satellites.

Relevant Background

The Mediterranean Sea can be viewed as an anti- (or negative) estuarine basin, in which Atlantic waters enter through the Strait of Gibraltar and move eastward in a near-surface layer (called Atlantic Water; AW) as far east as the Levantine sub-basin. There evaporation greatly exceeds precipitation and river runoffs. As a result, the salinity increases and convection occurs down to intermediate depths. The so-called Levantine Intermediate Water (LIW) is formed and flows typically westward in a sub-surface (200-300 m) layer where salinity is maximum, and finally exits at depth through Gibraltar, closing the overall thermohaline “conveyor belt” circulation.

Due principally to the lack of in-situ observations in the southern areas of the Ionian and Levantine sub-basins, there is a controversy on the main circulation patterns and in particular on the existence, location and characteristics of the main eastward-flowing currents that bring AW into the Levantine sub-basin. Another reason is that most people have not been confident enough in satellite-derived SST data. Political and logistical constraints are mostly responsible for the scarcity of in-situ observations in Libyan and Egyptian territorial waters. In-situ observations in the northern and central parts of the Ionian and Levantine sub-basins revealed major pathways of AW in the form of the Atlantic Ionian Stream in the Strait of Sicily, the Mid-Ionian jet in the Ionian (only present in the early 1990s) and the Mid-Mediterranean Jet in the Levantine sub-basin, separating anticyclonic vortices to the south (e.g., Mersa-Matruh and Shikmona) and cyclones to the the north (e.g., the West Cyprus and Rhodes gyres). In contrast, recent analyses of SST measured from satellites and numerical simulations, show that the eastward transport of AW is in the form of a quasi-continuous slope current (called the Libyo-Egyptian Current) that follows the coast from the Strait of Sicily to the southeastern corner of the Levantine sub-basin (actually all around the basin). This current is markedly unstable and it generates numerous instability features (anticyclonic vortices/eddies) similarly to the situation in the Western Mediterranean basin (Algerian Current). According to these recent analyses, the mid-basin jets previously described have

been confused with the northern limbs of the anticyclonic eddies that have not been completely sampled.

In conjunction with upcoming investigations proposed by French, Tunisian and Egyptian colleagues (including hydrographic surveys, moorings, surface drifters) we hereby propose a drifter experiment to elucidate the circulation patterns in the south of the Eastern Mediterranean basin.

Technical Details

A total of 40 CODE-type drifters are proposed to sample the circulation off the Tunisian, Libyan and Egyptian coasts for about a year (spring 2005 to winter 2006). Deployments will be conducted in groups of 5 drifters each season at two main locations: upstream off the Tunisian coast and close to the border between Libya and Egypt. The drifters will be tracked the Argos satellite system and will provide data on surface currents and SST.

Satellite images of SST (from the NOAA/AVHRR), chlorophyll concentrations and other bio-optical parameters (from SeaWiFS and MODIS) will be downloaded and/or processed at OGS using the Terascan receiving and processing system, the SeaDAS and WIM softwares.

Our description of the surface currents will be two-fold: 1) Descriptive: Individual or composite satellite images will be combined with drifter tracks to show the spatial characteristics and the temporal evolution of major circulation features; 2) Statistical: The drifter data will be used to compute Eulerian and Lagrangian statistics, such as maps of mean circulation and eddy variability, maps of energy levels and residence time scales, Lagrangian integral scales, diffusivity, etc..

Connections to Other Programs

This project will be tightly connected to the French programs EGYPT and EGYPT-1 planned for 2004-2007. These programs have objectives similar to ours and will include hydrographic surveys, observations from moorings and drifters, and remote sensing monitoring in the southern Ionian and Levantine sub-basins. Connections will be also made with the European MFSTEP and French MERCATOR forecasting systems. Together with the satellite images, their numerical simulations will help in planning the experiment (i.e., in deciding where to deploy the drifters) and in interpreting the results. Connection with NAVO is expected as some of the NAVO profiling floats might drift in the studied area. Since the PI is also the coordinator of the MFSTEP/MEDARGO project in which a total of 25 profiling floats will be deployed throughout the Mediterranean starting in fall 2004, a few of these floats can possibly be deployed along with the drifters. Thus, they could provide estimates of sub-surface currents and temperature-salinity profiles in the study area.

Navy Relevance

The description of the currents and water mass properties in the so-far poorly sampled southern Mediterranean in general, and in Tunisian, Libyan and Egyptian waters in particular, is without doubt of major importance for the U.S. Navy fleet operating in this politically critical part of the world. The drifter data, as well as the float data, will be available in near-real time and could be assimilated in Navy nowcast /forecast operational models.

Collaborations

Strong collaboration with French, Tunisian and Egyptian oceanographers through BOMOMO is a key element. The drifter deployments will be made as part of this approved project from

research vessels and ships-of-opportunity. The interpretation of the results will be made on joint data sets (for example combining the BOMOMO and our drifter data) and collaborative papers are foreseen. As stated above some collaboration is planned with NAVO and with MFSTEP/MEDARGO (profiling floats in the Levantine sub-basin). Possible collaboration with Libyan oceanographers will be sought in order to deploy or recover/redeploy drifters in Libyan waters.

Budget

The P.I. will dedicate 3 months of labor in each fiscal year (covered by institutional funds). 3 months of a senior technician in each fiscal year are requested. A graduate student or PostDoc will work fulltime on this project (2 years of salary requested). The budget includes the purchase of 40 drifters, shipping and publication charges, the Argos tracking for a maximum of 6 months (we expect a typical life of 3 months), some miscellaneous consumables and a personal computer to process and archive the data. Some ship time is also included (4 days) as we might have to contribute to the costs to use Egyptian ships. Travel funds are requested at the level of 1 trip between Europe and the U.S. per year and 2 European trips per year for two persons.