

Contact: Isabelle TAUPIER-LETAGE
LOB/CNRS UMR 6535, Université de la Méditerranée
itaupier@ifremer.fr

1. Les opérations à la mer

Les opérations à la mer d'EGYPT s'étendent de fin 2005 à 2008, se terminant avec le relevage des mouillages au cours d'une campagne (EGYPT-X), qui sera demandée en janvier 2007 (N-1, car le « Suroît » sera demandé).

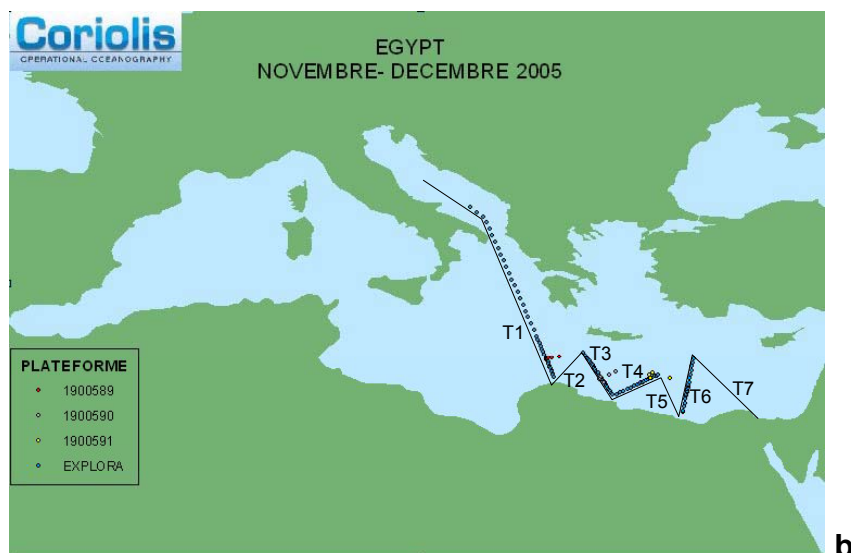
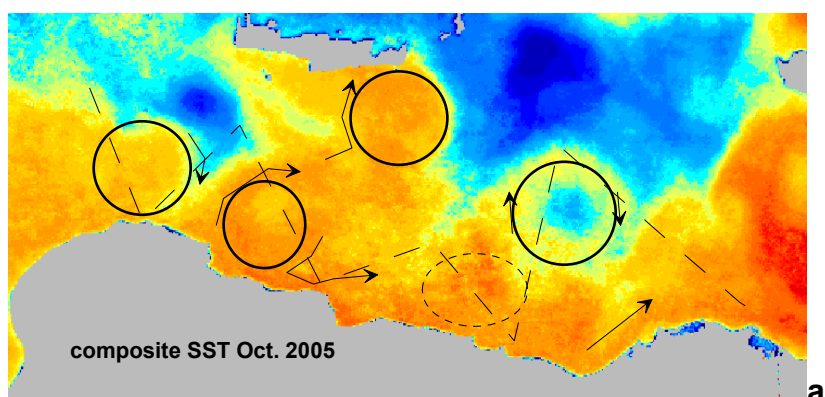
1. Elles ont déjà commencé, dans le cadre du programme conjoint EGITTO dirigé par P.M. Poulain (OGS/Trieste) : <http://poseidon.ogs.trieste.it/doga/sire/egitto/index.html> avec EGITTO-1, valorisation du transit de l' « OGS Explora » en novembre 2005 (cf section suivante).
2. Fin janvier 2006 le transit de l'Atlante de Toulon à Port Said a également été valorisé (EGYPT-0) de façon analogue (actions conjointes avec EGITTO, mise à l'eau de 2 PROVORs (EGYPT-MC), largage de ~10 bouées dérivantes, XBT...)
NB : En raison du mauvais temps persistant, le retard accumulé n'a pas permis de faire de la route supplémentaire par rapport au transit, et les bouées et les 2 PROVORs ont dû être largués relativement près de la pente continentale libyenne et égyptienne.
3. Du 8 au 26 avril 2006 a eu lieu la campagne EGYPT-1 (P-335) à bord du FS « Poseidon », de l'IFM GEOMAR/Kiel. L'un des objectifs était de mouiller les 7 lignes équipées de courantomètres et de sondes hydrologiques pour 2 ans. Un réseau de sections CTD (125 stations) respectant la moyenne échelle (pas d'échantillonnage ~10km) a également été réalisé. 19 bouées dérivantes et 5 PROVORs ont été largués.

NB : En raison de l'absence d'autorisation de travail dans la ZEE revendiquée par les Egyptiens, la zone des ~100 milles nous était interdite. Nous avons donc dû travailler surtout au large de la Libye. De même nous n'avons pas pu déployer nos mouillages dans la zone prévue (entre ~25°E- et 28°E), nous ne pourrions donc pas étudier l'influence de la fosse d'Hérodote sur la circulation et les trajectoires des tourbillons.
4. Nous valoriserons le transit du « Suroît » en mars 2007 par une radiale entre le SW de la Crête et le plateau libyen vers 22°E.
5. Enfin, grâce à Coriolis, par l'intervention de L. Petit de la Villéon, nous sommes avisés des transits vers Port-Said, et avons pu par 2 fois

demander à l'équipage d'effectuer des radiales XBT quasiment « sur mesure » (Beautemps-Beaupré notamment).

2. Résultats

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 (EGYPT-MC), 2 APEX (MEDARGO), 15 drifters (EGITTO) et tiré une centaine d'XBT (MFSTEP et LOB), selon des radiales déterminées d'après l'analyse de l'imagerie IR (et des sorties des modèles MFSTEP et Mercator/PSY2V2). La première analyse de la situation est illustrée par la figure 1 :



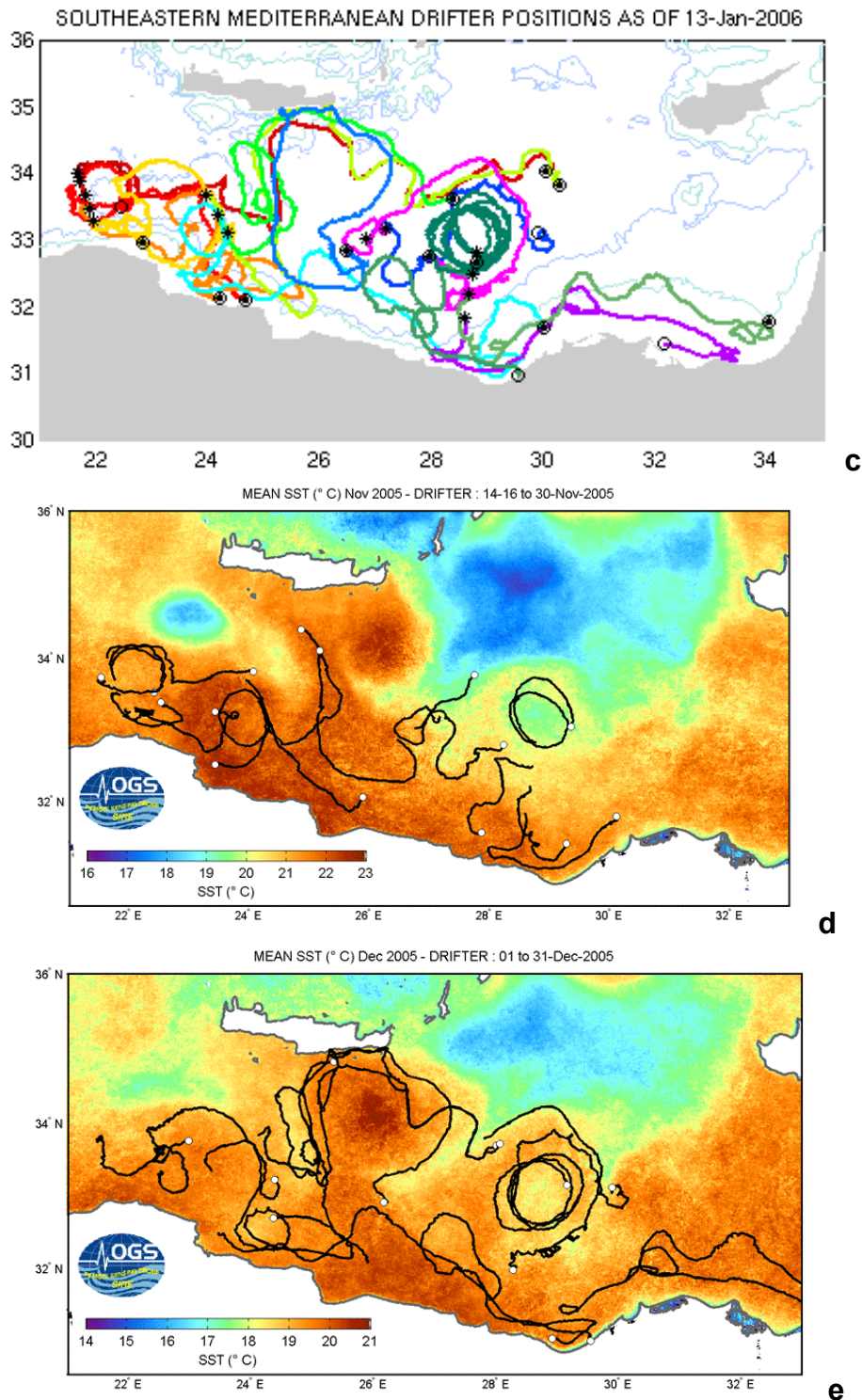


Figure 1 : Observations et analyse de la situation pendant EGITTO-1

L'analyse de l'image IR (Fig. 1a) faisait apparaître 3 tourbillons le long de la pente continentale (celui en pointillés sur 28°E est confirmé depuis), le tourbillon lerapetra (induit par les vents Etésiens) au SE de la Crète, et un autre au large entre 27 et 29°E. Sur la figure 1b les transects XBT qui ont donc été réalisés sont schématisés par les pointillés. Les trajectoires des bouées (Fig. 1c ; étoile : position de largage ; rond : position mi- janvier 2006 ; from OGS EGITTO web site ; Fig. 1d-e ; trajectoires des bouées en novembre et décembre 2005 superposées à l'image

SST composite correspondante ; from P. Poulain/OGS-SIRE) montrent des boucles correspondant aux tourbillons, certaines fermées et même répétées. A la côte les points de rebroussement (e.g. trajectoires 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 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 l'apetra 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, ce qui devrait être le cas avec un Mid-Mediterranean Jet (MMJ). Les données d'ADCP et du thermosalinomètre sont en cours de traitement pour valider cette analyse visuelle. Les premiers résultats sont inclus dans le rapport de campagne, accessible sur <http://poseidon.ogs.trieste.it/doga/sire/pdf/cruisereportEGITTO1.pdf>).

Nous bénéficions de l'assistance du GMMC, qui nous transmettait sur demande des zooms spécifiques. C'est ainsi que pour EGITTO-1 nous avons reçu les dernières prévisions des sorties de PAM PSY2 V2.

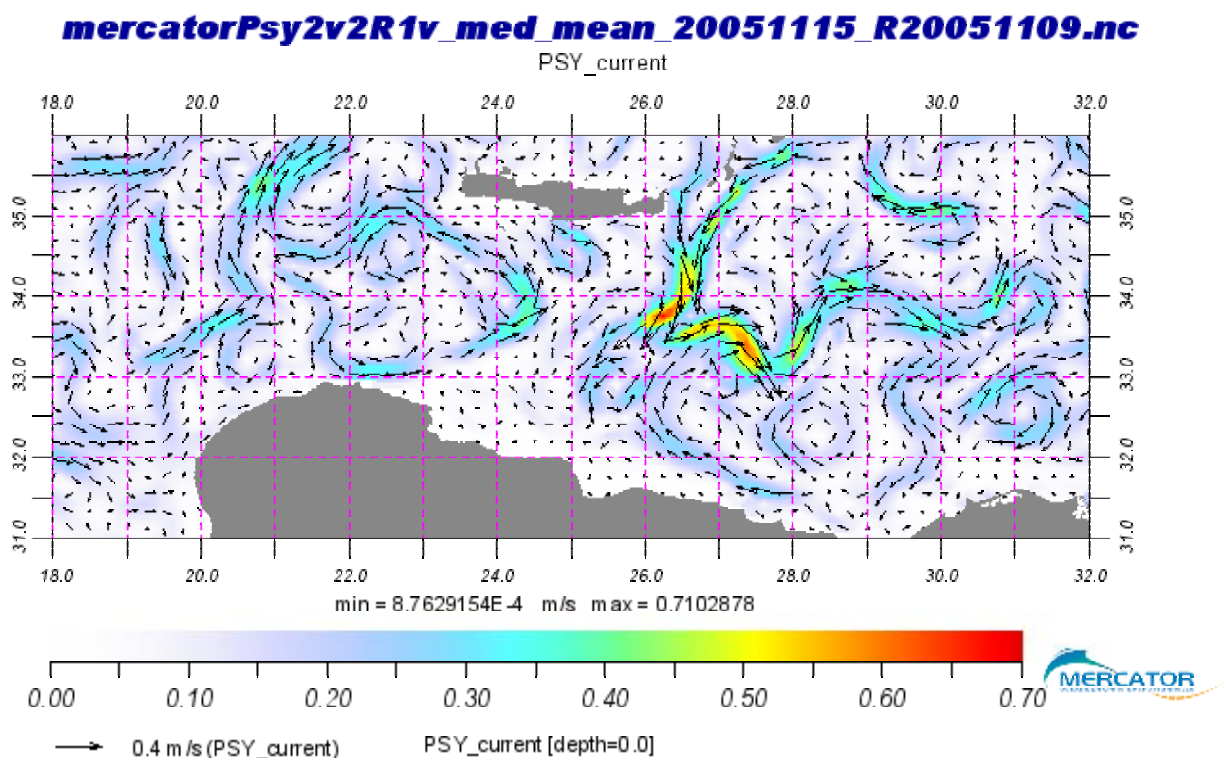
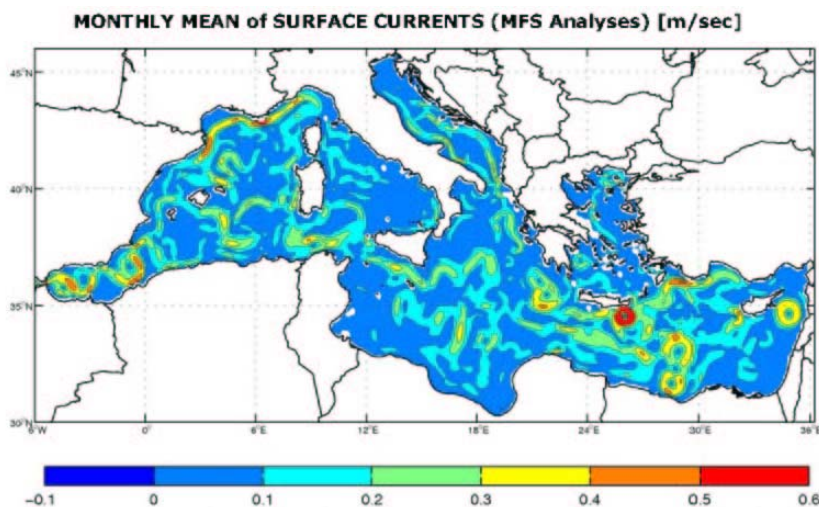


Figure 2 : Prévisions du courant de surface pour le 15 novembre 2005 (D. Palin, Mercator).

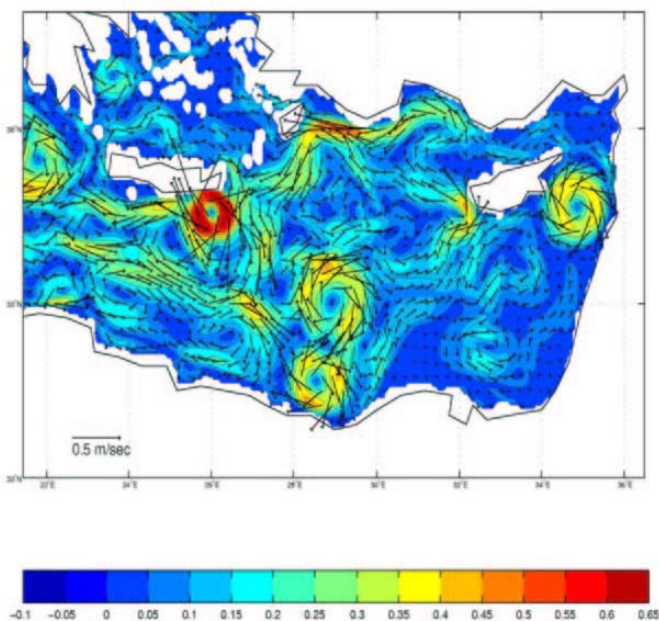
Cette analyse est à comparer avec celle de MFSTEP, parue dans le bulletin de novembre 2005

([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. 3) :



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.

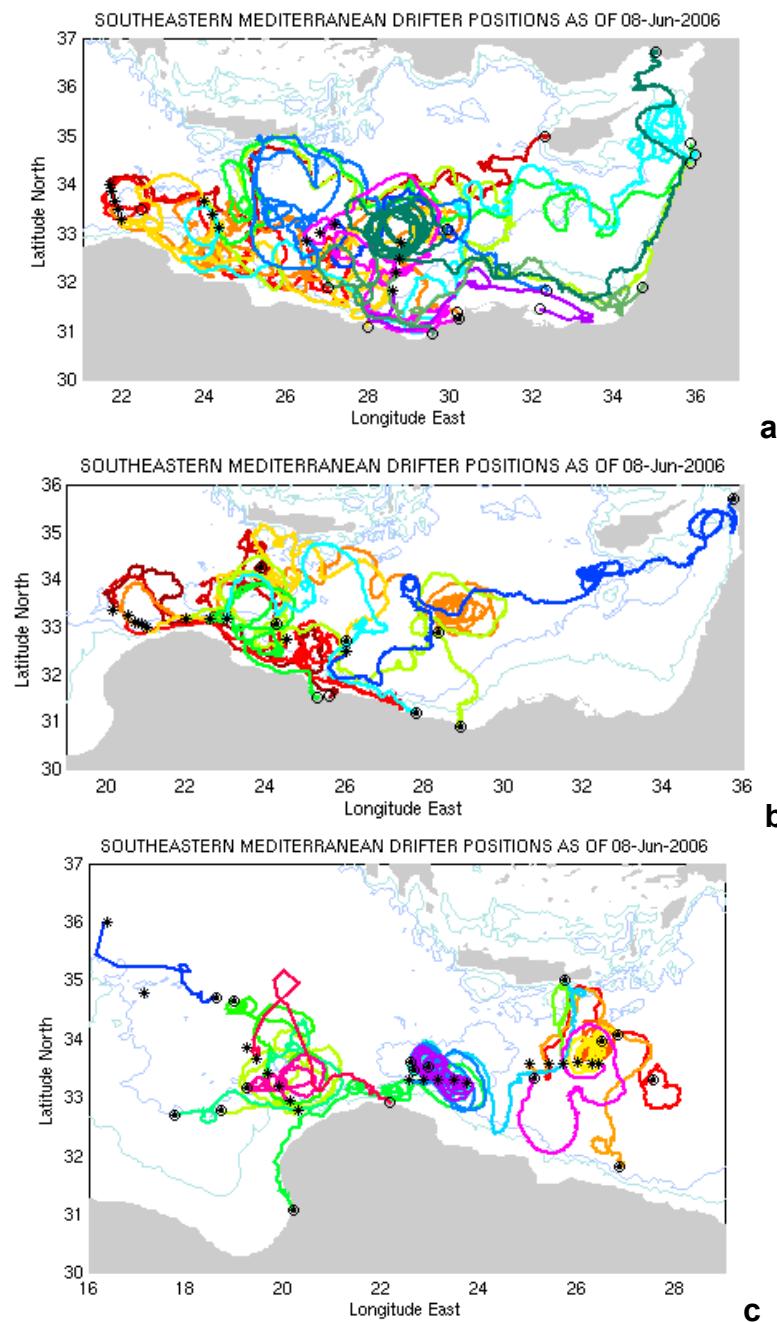
A very strong and large anticyclonic gyre is present between Cyprus and the Lebanese coasts.

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 3 : Analyse de MFS pour novembre 2005

Alors que le modèle reproduit plutôt bien les structures de moyenne échelle que sont les tourbillons libyo-égyptiens (mieux que PAM 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.

Notre analyse de la situation est confirmée par les trajectoires des bouées qui ont été larguées successivement de novembre 2005 à Avril 2006 (Fig.4). L'image résultant de l'ensemble des largages dans le Canal de Sicile et le bassin oriental (Fig. 4d) montre l'importance de la circulation le long des pentes libyenne et égyptienne, ainsi que celle de la moyenne échelle. Il faut toutefois utiliser ces tracés provisoires avec prudence, car un nombre anormalement élevé de bouées ont fini par perdre leur drogue. Par conséquent la majorité des trajectoires à l'est de $\sim 30^{\circ}\text{E}$ n'est plus valide (ex. trajectoire bleue sur Fig. 4b). L'information sur la présence/absence de la drogue est accessible sur <http://poseidon.ogs.trieste.it/doga/sire/egitto/>.



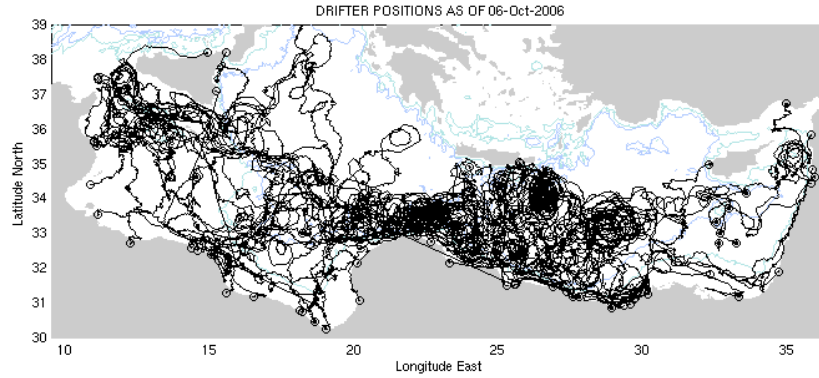


Figure 4: Trajectoires des bouées dérivantes des programmes EGITTO et EGYPT larguées : a) en novembre 2005 (EGITTO-1); b) en Février 2006 (EGYPT-0) ; c) en Avril 2006 (EGYPT-1). d) : ensemble des trajectoires des bouées larguées dans le Canal de Sicile et le bassin oriental.

Certaines portions de trajectoires des profileurs CTD ARGO (PROVORs) sont aussi affectées par la moyenne échelle (dans l'rapetra, notamment, Fig.5). On remarque enfin des portions de trajectoires le long des pentes libyenne et égyptienne.

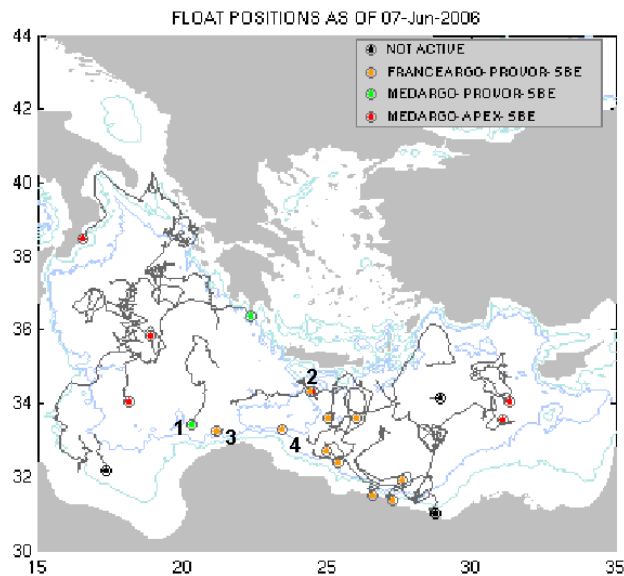


Figure 5: Trajectoires des profileurs ARGO dans le bassin oriental (ceux d'EGYPT sont identifié en orange). Fig. from MFSTEP/MEDARGO web site

Les valeurs de salinité de surface mesurées par le profileur 1 (MEDARGO 1900629) ayant dérivé principalement vers le sud entre 20-21°E (Fig.5 - 6) diminuent en allant vers la pente libyenne (Fig.7 et 8).

PROVOR FLOAT: 50772 - POSITIONS AS OF 04-Jun-2006

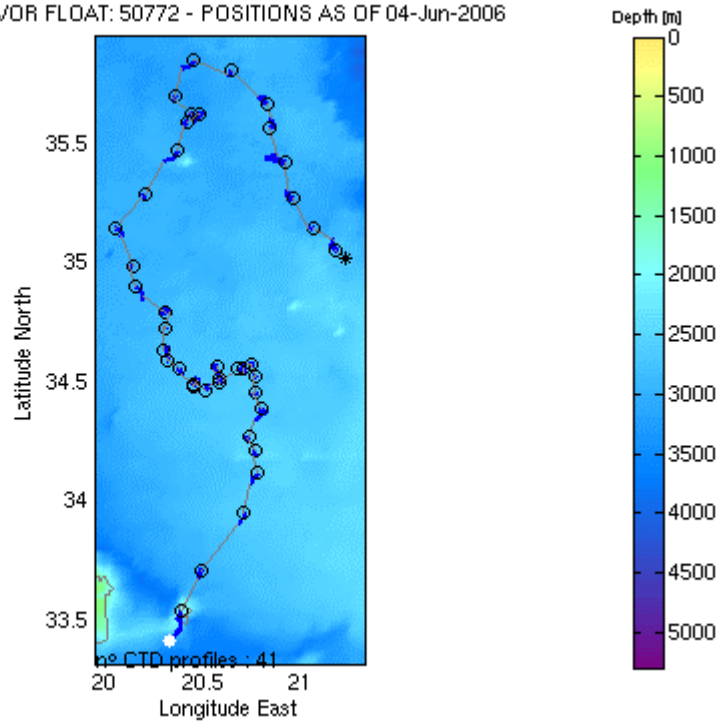


Figure 6 : Détail de la trajectoire longitudinale du profileur 1 (1900629). Étoile noire: position de largage ; étoile blanche: position actuelle ; cercle : position d'un profil avec dérive de surface. Fig. from MFSTEP/MEDARGO web site.

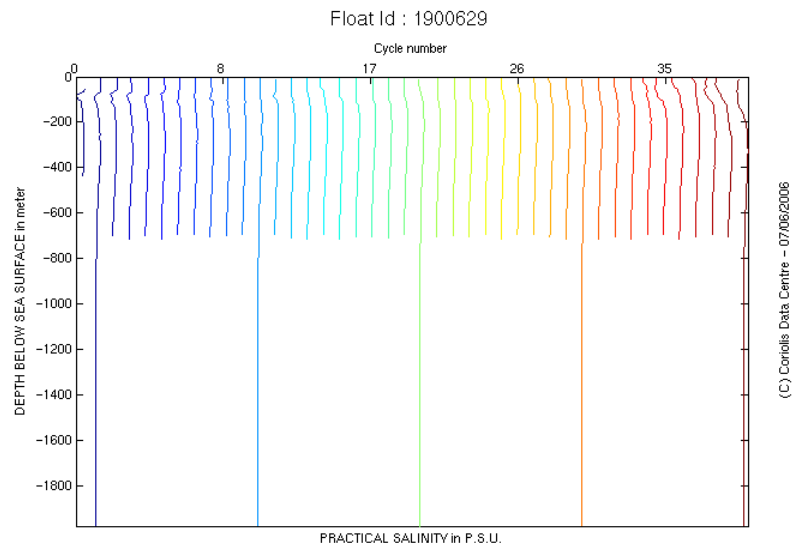


Figure 7 : Evolution des profils de salinité du profileur 1 (1900629), du 16/11/2005 (bleu foncé, bleus = partie nord de la trajectoire) au 04/06/2006 (marron).

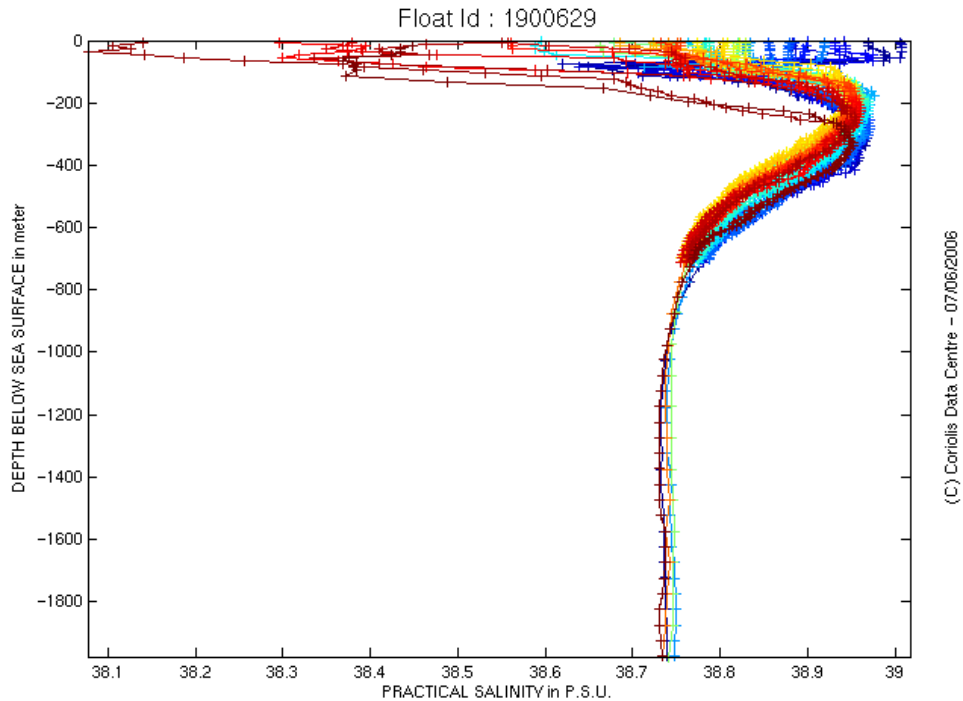


Figure 8 : Profils de salinité superposés du profileur 1 (1900629).

En surface dans le centre du bassin la salinité est supérieure à 38.8 (jusqu'à ~39), pour atteindre des valeurs inférieures à 38.5 dans la partie sud (jusqu'à ~38.1). Ces observations sont confirmées par les faibles salinités de surface des 2 profileurs EGYPT devant la Libye vers 21 et 24°E (profileurs 3 et 4, Fig.7-9), et par celles du profileur qui a une trajectoire le long de ~34°N entre ~21°E et 25°E (profileur 2, Fig. 7-10), qui elles restent élevées.

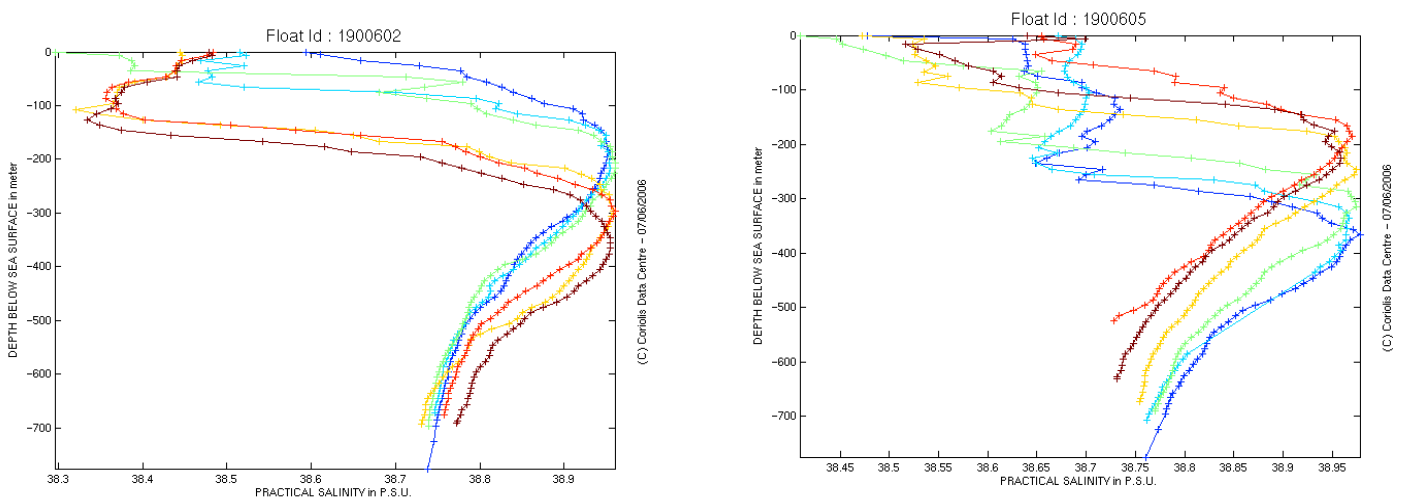


Figure 9 : Profils de salinité superposés des profileurs 3 (gauche) et 4 (droite).

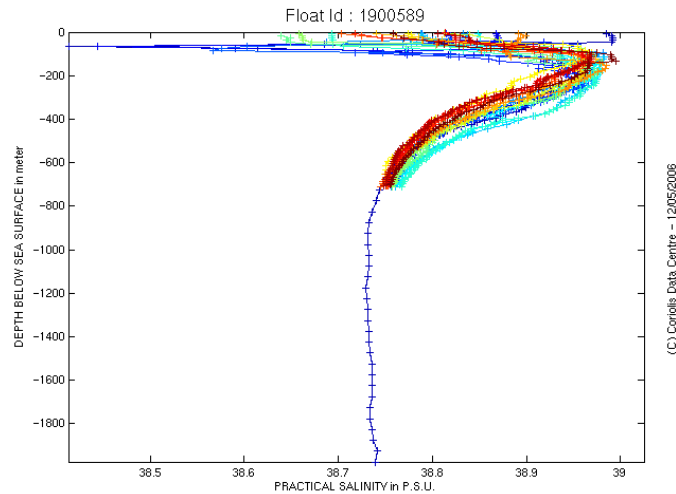


Figure 10 : Profils de salinité superposés du profileur 2 (1900589).

Les premiers résultats de la campagne EGYPT-1 en avril 2006 confirment l'impact des tourbillons sur la circulation de AW dans le sous-bassin Levantin. Les images satellitaires thermiques étaient en effet reçues en temps quasi-réel à bord afin de déterminer la stratégie d'échantillonnage optimale. C'est ainsi que nous avons pu localiser (Fig.11) un tourbillon libyen (I5) et le traverser par une section CTD à haute résolution (Fig.12), ainsi que lerapetra (IE, Fig.13), dont la signature sur les modèles n'apparaissait pas significative.

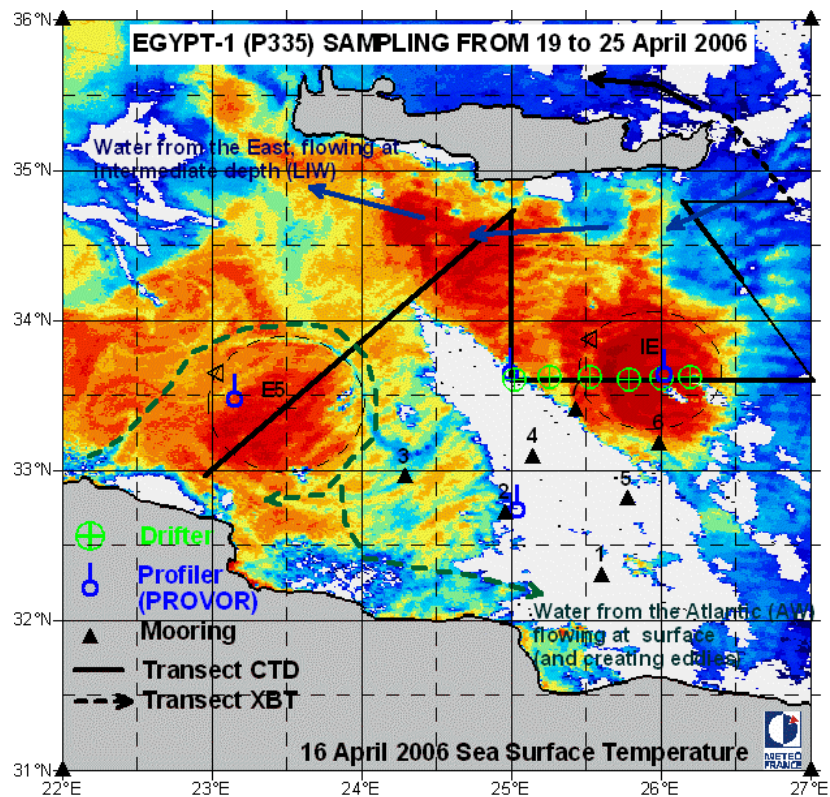


Figure 11a : Image thermique du 16 Avril 2006 (provenance SATMOS/CMS/MétéoFrance) et stratégie d'échantillonnage d'EGYPT-1.

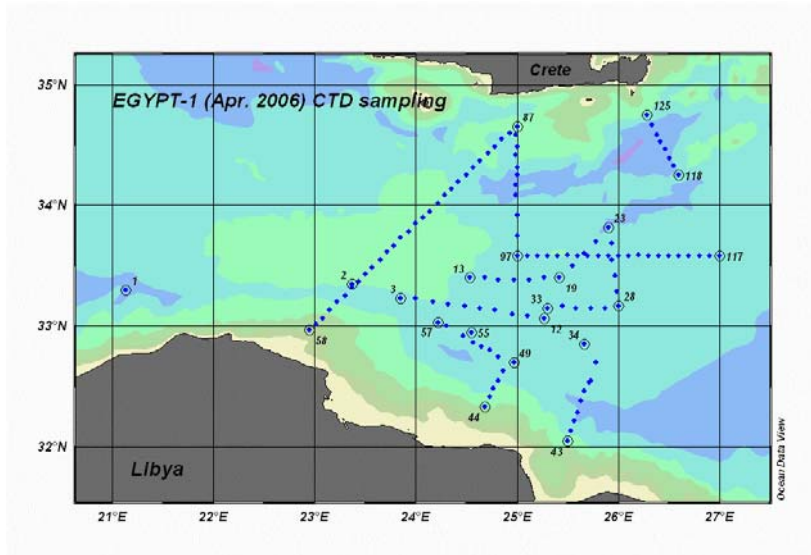


Figure 11b : réseau des stations CTD d'EGYPT-1

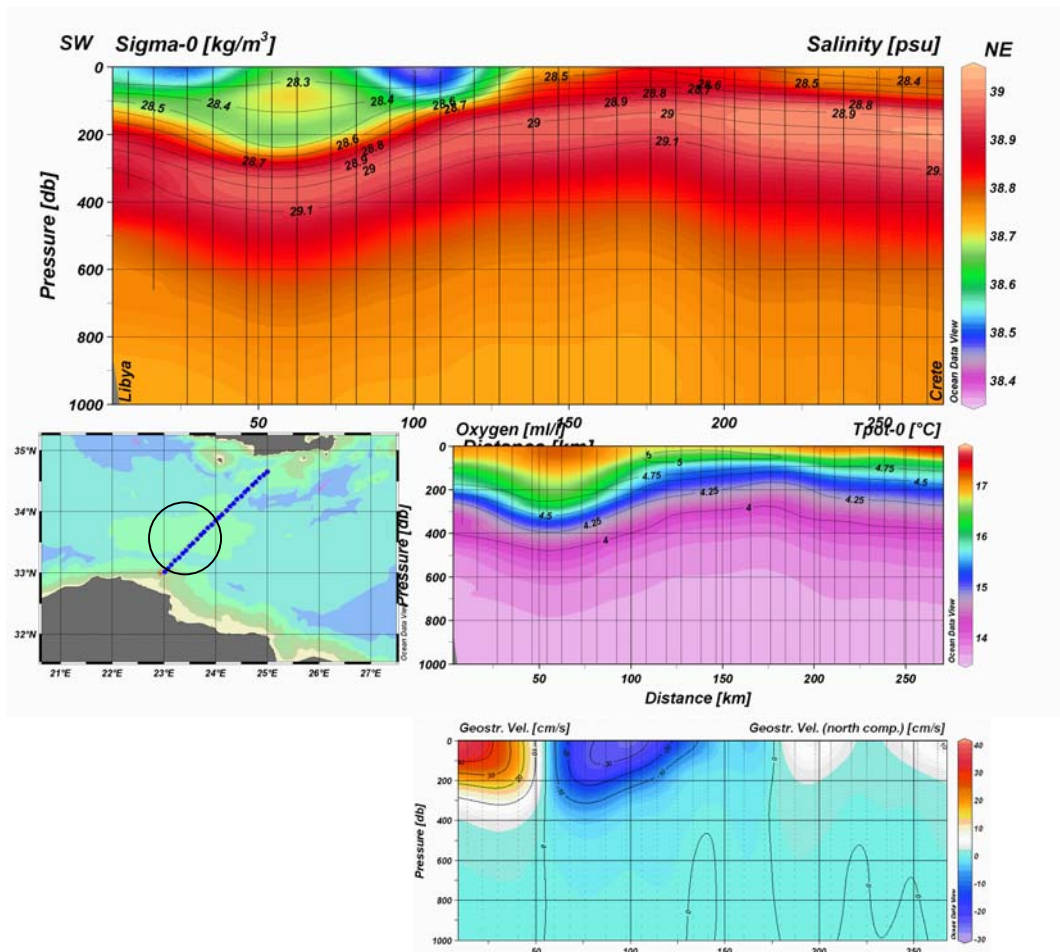


Figure 12 : Radiale CTD du plateau libyen à la Crète, traversant le tourbillon libyen E5) : haut : salinité (couleur) et densité potentielle (isolignes) ; milieu : température potentielle (couleur) et concentration en oxygène (isolignes) ; bas : composante Nord (couleur) et courant géostrophique (isolignes), référence 1000db.

La section de salinité montre bien que la présence d'AW peu modifiée relativement loin au large (~34°N) est due à la présence du tourbillon I5. Il n'y a pas d'autre (veine de) AW plus au nord, ce qui devrait être le cas en présence d'un MMJ. Enfin, logiquement, I5 est associé à de l'AW relativement peu modifiée au sud, avec un courant portant à l'ouest. Son extension verticale excède 1000m.

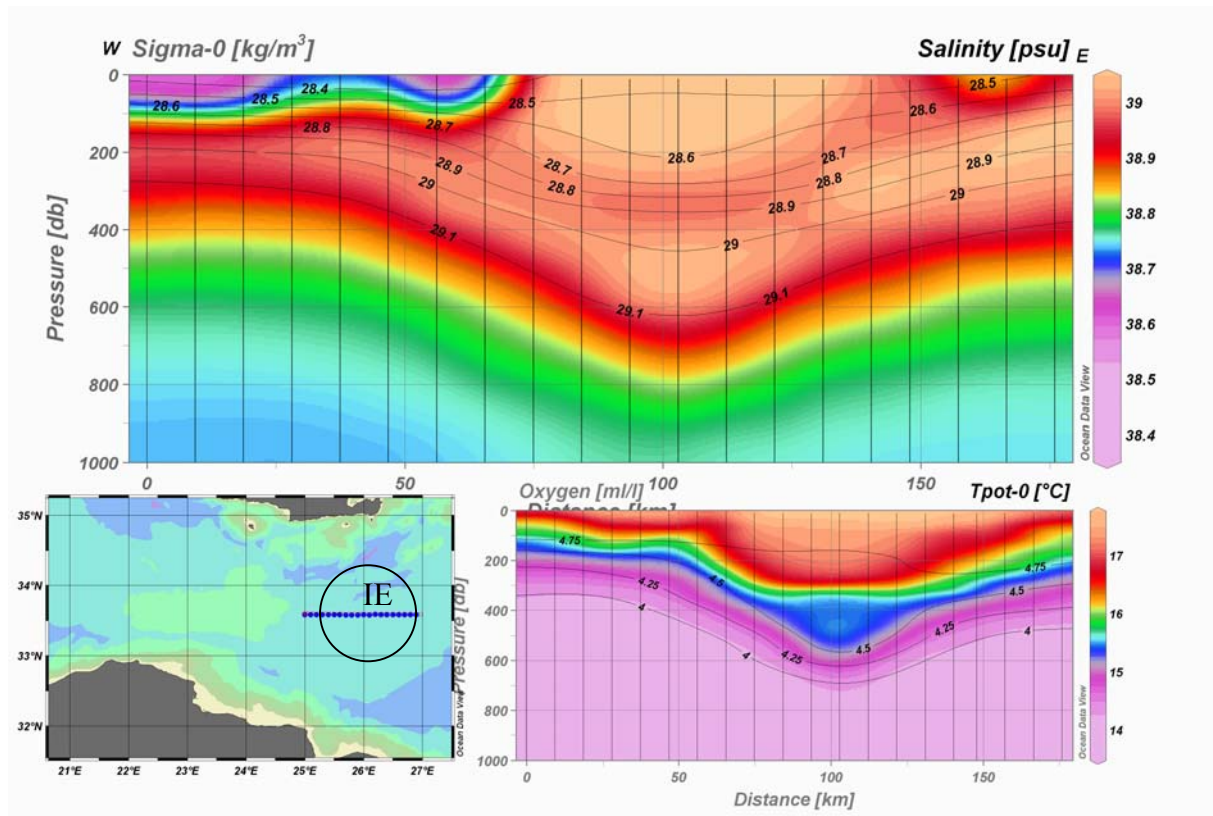


Figure 13 : Radiale CTD à travers le tourbillon de l'erapetra de l'été 2005. (id. légende Fig.12)

l'erapetra a encore une extension qui excède 1000m (isolignes encore déformées à ce niveau). On observe l'entraînement de la Levantine Intermediate Water (LIW) sur son bord est.

3. Conclusion

Les observations in situ et satellitaires confirment donc que la circulation de surface (Atlantic Water AW) se fait essentiellement le long de la pente continentale libyenne et égyptienne. Le courant est instable, et engendre des méandres et tourbillons de moyenne échelle qui sont détectés et suivis par l'imagerie satellitaire. Ces tourbillons (et leurs interactions) sont responsables de la dispersion de AW vers l'intérieur du bassin (ainsi que des eaux intermédiaires et profondes, comme observé lors de la campagne EGYPT-1 en avril 2006).

4. Références de l'équipe 2005

(Voir www.ifremer.fr/lobtln)

- Alhammoud, B., K. Béranger, L.Mortier, M.Crépon and I. Dekeyser, 2005. Surface circulation of the Levantine Basin: comparison of model results with observations. *Progr. in Oceanogr.*, 66, 299-320.
- Béranger K., L. Mortier and M. Crépon, Seasonal variability of water transport through the Straits of Gibraltar, Sicily and Corsica, derived from a high-resolution model of the Mediterranean circulation, *Progr. in Oceanogr.*, 66, Issues 2-4, 341-364.
- 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*, 70(3), 457-503..
- 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.
- Poulain P-M., I. Taupier-Letage, R. Gerin, R. Barbanti, D.Delponte and G. Notarstefano, 2006. Oceanographic cruise EGITTO-1. Cruise report, Rel. 29/2006- OGA/14, OGS Borgo Grotta Gigante, 40p.