Quelques aspects de la circulation de la mer Méditerranée occidentale

Michel Crépon, Bach Lien Hua, Claude Millot, Lucien Wald

▶ **To cite this version:**

Michel Crépon, Bach Lien Hua, Claude Millot, Lucien Wald. Quelques aspects de la circulation de la mer Méditerranée occidentale. XVIIIe Journées de l'Hydraulique, Sep 1984, Marseille, France. pp.1-6. hal-00464360

HAL Id: hal-00464360
https://minesparis-psl.hal.science/hal-00464360

Submitted on 20 Apr 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IV.2.1 – IV.2.6

84-C-03

SOCIETE
HYDROTECHNIQUE
DE FRANCE

XVIII[e] Journées
de l'Hydraulique
Marseille, 11, 12 et 13 sept. 1984

L'Hydraulique et la maîtrise du littoral

QUESTION N° IV

RAPPORT N° 2

Quelques aspects de la circulation de la mer méditerranée occidentale

M. CREPON, B.-L. HUA

Laboratoire d'océanographie physique du Museum, Paris

C. MILLOT

Antenne du laboratoire d'océanographie du Museum, La Seyne

L. WALD

CTAMN, E.N.S. des Mines de Paris, Sophia Antipolis, Valbonne

RESUME

On décrit quelques phénomènes océaniques qui affectent la circulation générale et la dynamique locale de la mer méditerranée. On présente plusieurs modèles numériques qui permettent de les interpréter et de les reproduire.

ABSTRACT

This paper is concerned with phenomena affecting the general circulation and the local dynamics of the Mediterranean sea. Some numerical models are presented. They allow us to interpret the observations.

INTRODUCTION

La mer Méditerranée est un bassin de concentration. L'évaporation plus intense en Méditerranée que dans l'Océan Atlantique crée un déficit de masse de l'ordre de 1 m d'eau par an. Ce déficit est compensé par un courant d'eau atlantique allant de l'Ouest vers l'Est à travers le détroit de Gibraltar. Ce processus est un des moteurs de la circulation de la Méditerranée. Une partie de l'eau atlantique suit un circuit cyclonique dans le bassin Ouest, une autre partie va dans le bassin Est, via le détroit de Sicile (fig. 1)

Ce schéma très simple est en réalité beaucoup plus compliqué. En effet la mer Méditerranée a des caractéristiques hydrologiques qui sont très différentes en été et en hiver.

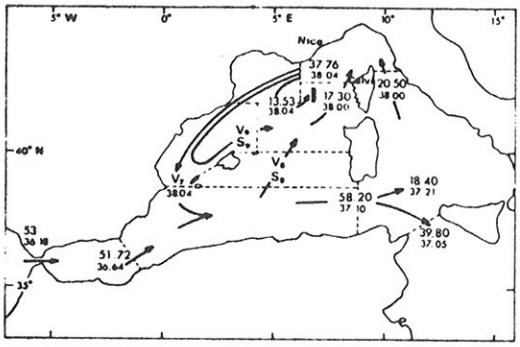

Fig 1 Schéma de la circulation superficielle en Mediterranée

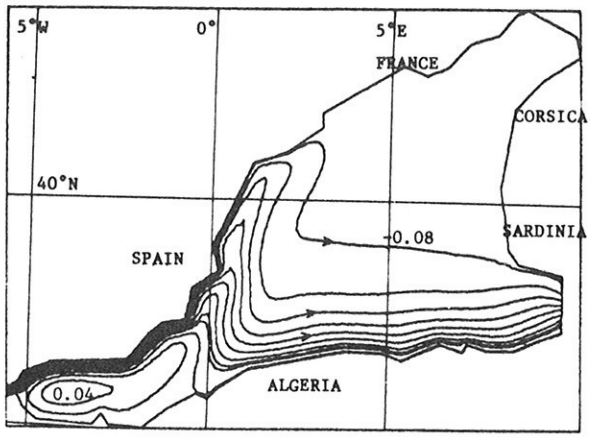

Fig 2 Lignes de courants du modele barotrope. Les flux aux detroits sont de 1.6 Sverdrup. La distance entre deux lignes de courants est de 0.16 Sverdrup.

En été, on observe en surface une couche d'eau homogène d'une épaisseur de 20 à 60 mètres. Cette eau chaude et peu salée (température de l'ordre 25°, salinité de 38°10 %) est séparée des eaux sous jacentes par une thermocline bien marquée. En hiver sous l'effet du Mistral, de l'évaporation, l'eau de surface se refroidit, augmente de densité. Elle se convertit en eau profonde via différents processus d'instabilité (instabilité barocline par exemple - GASCARD - 1978). Par endroit, la densité devient quasi homogène sur toute la colonne d'eau.

Cette convection verticale très intense qui se produit essentiellement dans la partie Nord de la Méditerranée Occidentale, augmente la masse de l'eau profonde qui s'écoule alors vers l'Océan Atlantique dans la partie inférieure du détroit de Gibraltar. D'autre part elle intensifie la circulation superficielle cyclonique que l'on trouve dans la partie Nord du bassin puisqu'elle constitue un puits d'eau atlantique (BETHOUX - 1979).

La circulation de la Méditerranée dépend aussi des vents. Ceux-ci agissent à la fois sur la circulation générale et sur la circulation locale où ils donnent lieu à des phénomènes intenses qui ont été bien observés ces dernières années par télédétection à partir des capteurs infra-rouge des satellites NOAA et HCMM.

1) CIRCULATION GENERALE DE LA MEDITERRANEE

Un modèle numérique de la circulation générale de la Méditerranée Occidentale a été réalisé par le laboratoire d'Océanographie Physique (LOP) du Muséum et l'Institut National de la Recherche en informatique et automatique (INRIA) (LOTH and CREPON - 1984).

On suppose que l'écoulement est forcé par un flux entrant à travers le détroit de Gibraltar et sortant par le canal de Sardaigne et qu'il peut être décrit par les équations quasi-géostrophiques. La variabilité verticale due à la stratification est représentée par une décomposition en mode normaux verticaux. La discrétisation spatiale est réalisée par une méthode aux éléments finis, qui permet d'approcher d'une façon rigoureuse la forme tourmentée des côtes méditerranéennes. Ce modèle reproduit les tourbillons de la mer d'Alboran tel qu'il sont observés par satellites ou par mesures in-situ (fig.2). Le courant Ouest-Est à d'abord tendance à être collé le long des côtes d'Espagne avant de venir rejoindre la côte algérienne. Le tourbillon

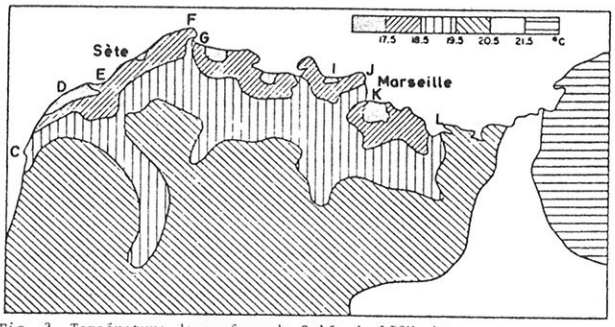

Fig. 3 Température de surface du Golfe du LION obtenue en moyennant huit images differentes prises par satellite un ou deux jours après le début d'un coup de vent. L'occurence des upwellings le long de la cote est significative statistiquement.

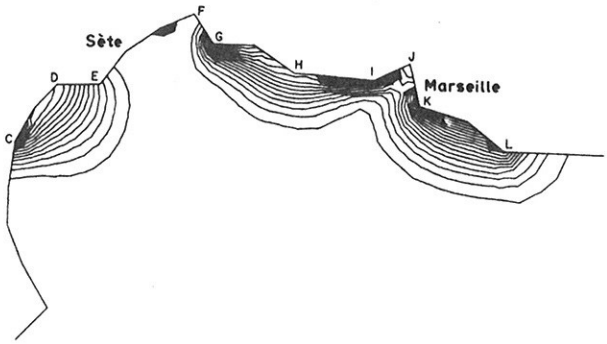

Fig. 5 Temperature de surface obtenue par le modèle numérique.

cyclonique de la partie Nord du bassin n'apparaît pas. Ceci est en partie du à ce que les processus de convection mentionnés ci-dessus et le vent ne sont pas inclus dans le modèle.

Un tel modèle est utile dans la recherche des processus qui gouvernent la circulation. Dans une version plus élaborée un tel modèle peut servir à préciser les conditions aux limites à introduire dans les modèles locaux.

2°) DYNAMIQUE DU GOLFE DU LION

Le Golfe du Lion est soumis toute l'année à des forts coups de vents de Nord-Ouest qui sont la Tramontane et le Mistral. Ces vents qui sont transitoires, créent au voisinage de la côte des remontées d'eaux froides que l'on appelle des upwellings. En été lorsque la stratification de la mer est bien marquée on assiste à des baisses de température de surface qui peuvent dépasser la dizaine de degré en quelques heures.

Etant donné ce fort signal en température, les upwellings peuvent être facilement étudiés à partir des images prises dans l'infrarouge thermique (gamme 10-12 μ) par les

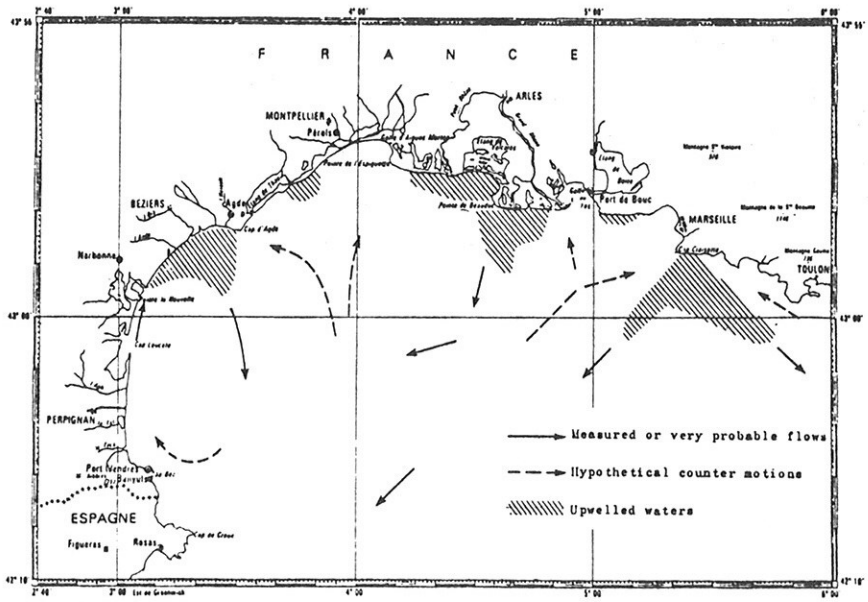

Fig. 4 Courants moyens déduits des observations

capteurs AVHRR embarqués à bord des satellites NOAA.

On constate alors qu'ils apparaissent quelques heures seulement après le début du Mistral ou de la Tramontane, qu'ils durent tant que le vent souffle et ne disparaissent que quelques jours après la cessation du vent.

Ces upwellings restent collés le long de la côte. Leur extension spatiale vers le large est de l'ordre de 10 à 20 km. Leur localisation est liée au dessin de la ligne de côte. Ils apparaissent de façon privilégiée le long des segments de côte rectilignes (MILLOT - 1978) (fig.3). On peut montrer théoriquement que les caps ou les baies marines, dans des situations privilégiés par rapport au vent, stoppent la croissance de ces upwellings, (CREPON and RICHEZ - 1982), ce qu'on observe sur la figure 3 et le modèle numérique (fig.5) (B.L. HUA and F. THOMASSET - 1983).

Des mesures in-situ à l'aide de courantomètres et de chaînes de thermistances ont été réalisées entre 1974 et 1978 en différents sites du Golfe du Lion par le laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum. Ces mesures sont délicates à interpréter car la forme compliquée des côtes et les variations spatiales du vent que l'on connait mal ont des actions qu'il est difficile de réduire à des schémas simples. Une description de cette circulation est donnée par MILLOT (1978) (Fig. 4). Le modèle numérique décrit ci-dessous la reproduit qualitativement.

Un modèle numérique du Golfe du Lion a été réalisé par le L.O.P. et l'INRIA (B.L. HUA and F. THOMASSET - 1983). Les équations schématisant l'écoulement sont les équations de Saint Venant dans une formulation à 2 couches pour tenir compte de la stratification. La discrétisation spatiale est réalisée par une méthode aux éléments finis. Le modèle est forcé par le vent. Les upwellings apparaissent bien là où ils sont observés dans la nature

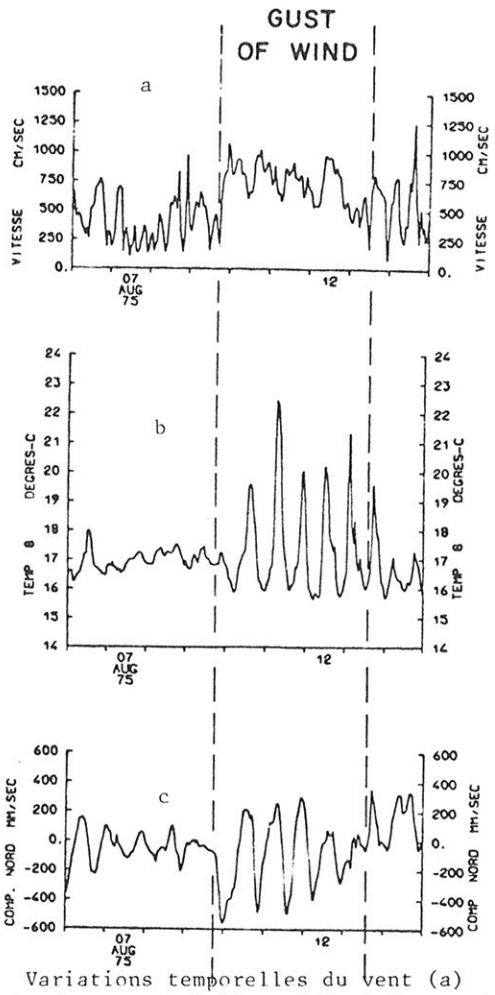

Fig 6 Variations temporelles du vent (a) du module du courant à 20 m. (b) et du cap (c)

(Fig.5). L'introduction d'un processus de mélange entre le 1er et la 2ème couche dû au brassage du vent améliore sensiblement les résultats.

La cadence relativement rapide de l'échantillonnage des mesures de courants et des chaînes de thermistance (de l'ordre de 10 mn) a permis d'étudier les fluctuations de courtes périodes des températures et des courants. On remarque une prédominance des oscillations à la période de Coriolis $2\pi/f$ ($f = 2\omega \sin\varphi$, ou ω est la vitesse angulaire de rotation de la terre, φ la latitude du lieu) (Fig.6) (MILLOT and CREPON - 1981). Les courants de surface pris en différents points sont cohérents et en phase pour des fréquences inférieures de celle de Coriolis. Ceci conforte l'hypothèse du déplacement en dalle de la

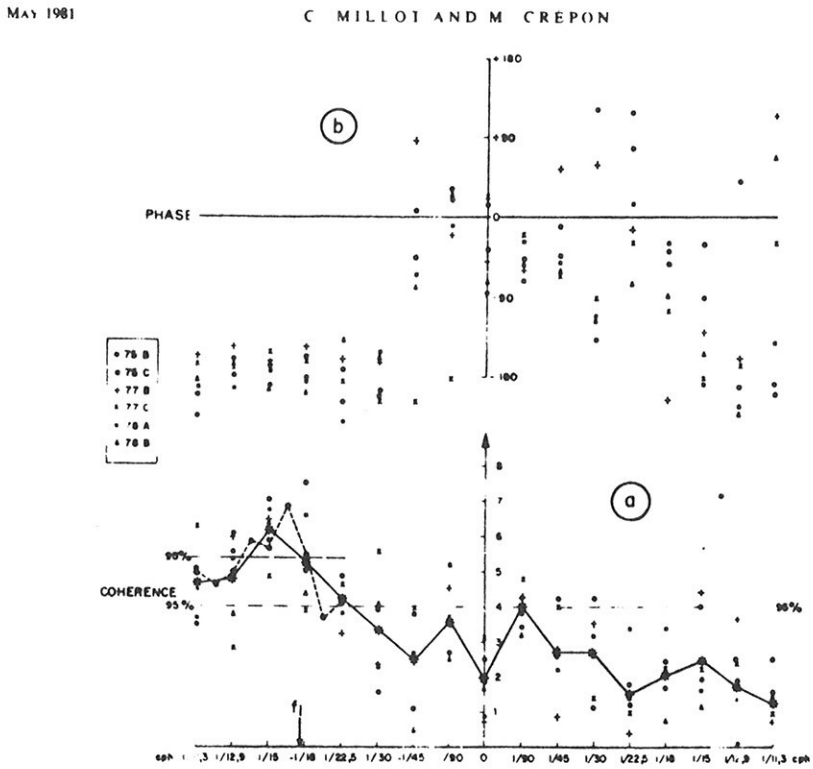

Fig. 7 Cohérence entre le courant de surface et le courant de fond à differents mouillages.

couche de surface qui glisse sans frottement sur la couche inférieure dans cette gamme de fréquence. D'autre part en un même point le courant dans la couche de surface et celui de la couche profonde sont en opposition de phase pour des fréquences supérieures à celle de Coriolis (Fig.7). Ceci confirme la validité de la schématisation de la dynamique du Golfe du Lion en été par un fluide bi-couche. Enfin les oscillations de température et des courants pour des fréquences supérieures à Coriolis peuvent être interprétées comme des ondes internes d'inertie engendrées à la côte par les coups de vent.

3º) AUTRES PHENOMENES

Les images données par les satellites dans l'infra-rouge thermique permettent d'observer de nombreux autres phénomènes océaniques et parfois d'en préciser les mécanismes.

Tout un suivi du courant Liguro-provençal a pu être ainsi fait. Ce courant qui coule de l'Est vers l'Ouest est collé contre les côtes de France. Sa largeur est de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres et sa vitesse peut atteindre $1 m.s^{-1}$. En hiver, on observe des oscillation dont la longueur d'onde est de l'ordre de 40 km, la vitesse de 18 $cm.s^{-1}$ et la période de 2.5 jours (Fig.8). Ces ondes peuvent être interprétées comme un phénomène d'instabilité barocline et un simple modèle analytique en rends compte (CREPON M. et al. - 1982).

Le long des côtes algériennes de grands tourbillons anticycloniques se développent jusqu'à atteindre un diamètre de l'ordre de la centaine de km. Ces tourbillons semblent jouer un rôle important dans la circulation générale de la Méditerranée.

4º) CONCLUSION

La compréhension de la circulation de la Méditerranée est loin d'être complète. Beaucoup d'efforts tant sur le plan de l'observation in situ et spatiale, que sur le plan de la modélisation restent à faire. La Méditerranée

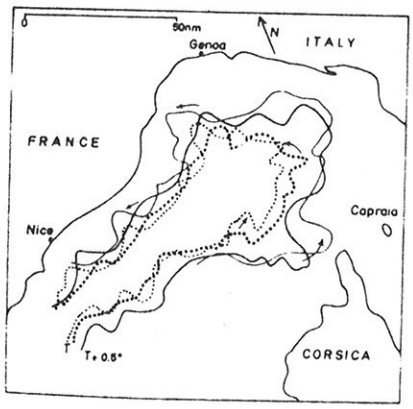

Fig 8 Meandres de deux isothermes T (pointillé) et T+0.5 C (continu) le 3(trait épais) et le 4 (trait fin) decembre 1980.

offre cependant l'avantage d'être soumise aux mêmes phénomènes dynamiques que les océans mais avec des échelles d'espace et de temps restreintes. Leur étude est donc facilité. D'autre part étant un bassin fermé où les marées sont faibles, la Méditerranée est un lieu priviligié pour étudier la réponse de la mer aux effets météorologiques. La Méditerranée constitue donc un champ d'expérience qui permet, via la compréhension des processus dynamiques d'accéder à la détermination de la circulation de l'océan mondial.

BIBLIOGRAPHIE

BETHOUX J.P. - 1979. Budgets of the Mediterranean sea. Their dependance on the local climate and ou the characteristics of the Atlantic waters. Oceanologica Acta. Vol. 2, n°3, pp. 151-163.

CREPON M., L. WALD, and J.M. MONGET - 1982. Low-frequency waves in the Ligurian sea during December 1977. J.G.R., vol.87, n°61, pp. 595-600.

CREPON M. and C. RICHEZ - 1982. Transcient upwelling generated by two-dimensional Atmospheric forcing and variability in the coastline. J.P.O., vol. 12 n°12, pp. 1437-1457.

GASCARD J.C. - 1978. Mediterranean deep water formation baroclinic instability and ocean Eddies. Oceanologica Acta, vol. 1, n°3, pp. 315-330.

HUA B.L. and F. THOMASSET - 1983. A numerical study of the effects of coastline geometry on wind induced upwelling in the Gulf of Lions - J.P.O. vol. 13, n° 4, pp. 678-694.

LOTH L. and M. CREPON - 1984. A quasi geostrophic model of the circulation of the Mediterranean sea - in Hydrodynamics of the ocean - Elsevier - J.C. NIHOUL - Editor (in press)

MILLOT C. - 1979. Wind induced upwellings in the Gulf of Lions. Oceanologica Acta - vol. 2, n°3, pp. 261-274.

MILLOT C. and M. CREPON - 1981. Inertial oscillations on the continental shelf of the Golf of Lions. Observations and theory. J.P.O.- vol. 11, n°5, pp. 639-657.