

CIRCULATION ET DYNAMIQUE DE LA MATIERE EN SUSPENSION AU LARGE DE KERKENNAH

Mouldi BRAHIM*, Chérif SAMMARI* et Slim GANA*

ملخص

إنّ السيلان العام للمياه في عرض سواحل جزيرة قرقنة ليس متواصلا ويقع بصفة منقطعة لكن نلاحظ بصفة جلية تأثير الأطلسي على مياه جنوب شرقي الجزيرة و يمتاز بسيلان دائري .

إن كميات التراسب على قاع البحر كان باثنا عشر غرام بالمتر المكعب في الساعة . وإن كمية النفايات التي سقطت على سطح البحر في دورة المدّ و الجزر كانت بمقدار الستين غرام بالمتر المكعب . و كانت الكميّة الجملية في كلّ عمود عمق الماء ما بين الخمس مائة و الثمان مائة بالمتر المكعب .

تهتمّ هاته النتائج : إنّ سطح باطن البحر كان من نوع ترابي و وحل ويحتوي على بقايا متنوّعة من القوقعيات .

RESUME

La circulation générale des masses d'eau au large de l'île de Kerkennah n'est pas permanente. Toutefois la signature du courant d'eau atlantique modifiée est nette et notamment à l'Est d'une zone caractérisée par une recirculation cyclonique. Le flux de sédimentation instantané est de l'ordre de $12 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. La quantité de matière déposée au fond au cours d'un cycle de marée est de l'ordre de 60 g.m^{-2} , alors que celle dans toute la colonne d'eau est de l'ordre de $500 \text{ à } 800 \text{ g.m}^{-2}$. La région d'étude est caractérisée par un fond détritique bioclastique de nature sablo-vascuse.

Mots clés: Circulation, variabilité, dynamique des particules, flux de sédimentation instantané.

ABSTRACT

The water masses global circulation off Kerkennah island is not continuous. However, the signature of the modified Atlantic Water current is clear, especially east of an area which is characterized by a cyclonic recirculation. The instantaneous sedimentation flux is about $12 \text{ g.m}^{-2}.\text{y}^{-1}$. The amount of material which is settled at the bottom during a tide cycle is about 60 g.m^{-2} , meanwhile in the whole water column it is about $500 \text{ to } 800 \text{ g.m}^{-2}$. The studied area is characterized by a detritic bioclastic bottom of slime and sand.

Keys words: Circulation, variability, particulates dynamic, instantaneous sediment flux

INTRODUCTION

Parmi les axes de recherche prioritaires de l'INSTOP figure la compréhension de la circulation le long des côtes tunisiennes ainsi que celle des phénomènes biologiques et sédimentologiques qui lui sont étroitement associés. En effet, la connaissance du devenir des éléments nutritifs et des sources polluantes et la quantification de l'impact sur l'environnement marin des activités industrielles restent tributaires d'une bonne appréhension des phénomènes hydrologiques et dynamiques ainsi que ceux relatifs à la dynamique des particules en suspension. Le travail ci-dessous concerne la circulation et la dynamique de la matière en suspension au large des Iles Kerkennah et constitue la première phase d'un programme global que l'INSTOP compte développer à l'échelle nationale. L'objectif étant la contribution à la mise en place d'une banque de données qui gérée par un Système d'Information Géographique (SIG) permettrait l'élaboration d'un outil fiable d'information sur le littoral. Cet outil trouve ses applications directes dans les problèmes d'aménagement et de gestion du littoral ainsi dans l'exploitation optimale des ressources naturelles.

Certains paramètres tels que la charge des particules en suspension dans la colonne d'eau, le flux de sédimentation instantané et le temps de résidence des particules, ainsi que les caractéristiques de la circulation sont encore méconnus dans la région située à l'Est des Iles Kerkennah. Il existe cependant quelques travaux antérieurs (Lucas et al., 1969; Poizat, 1970; Ben Othman, 1971; Brandhorst et al., 1977) que nous intégrerons dans un effort de synthèse bibliographique de l'état des connaissances de la région tant d'un point de vue dynamique que sédimentologique, et qui seront cités comme base de comparaison.

Par ailleurs, une campagne océanographique a été effectuée à bord du chalutier Hannoun, du 3 au 6 Juin 1994, pour tenter d'estimer les paramètres cités plus haut et d'éclaircir certains aspects de la dynamique et de la sédimentologie. Des échantillons d'eau, prélevés à l'aide d'une bouteille à renversement, et de sédiments, prélevés à l'aide d'une drague, ont été effectués au niveau des trois radiales qui convergent vers un point particulier (dit point ISIS). Nous avons pu évaluer le flux de sédimentation instantané et la quantité de la matière déposée au fond, et ce, au cours d'un cycle de marée et au point fixe ISIS (station eulérienne). Nous avons également suivi une bouée dérivante (station lagrangienne) pour tracer la circulation locale sur une période de marée et pour évaluer le transport horizontal de la matière en suspension. La nature et la granulométrie des sédiments marins ont été également analysées au niveau de 6 stations.

CHOIX DES STATIONS DE PRELEVEMENTS

Les points de prélèvements ont été choisis et intensifiés au voisinage du point de forage ISIS (34°34'96"N, 12°29'94"E) et sur une radiale allant des côtes de Kerkennah vers ce même point (tableau 1, figure1)

Station	Coordonnées des prélèvements hydrologiques	Coordonnées des prélèvements sédimentologiques
11	34°30' N, 11°03'E	pas de prélèvements
12	34°30'N, 11°07'E	""
13	34°35'N, 11°11'E	""
14	34°35'N, 11°22'E	""
15	34°35'N, 11°48'E	34°34'36"N, 11°53'77"E
St.3 (ISIS)	34°35'N, 12°36'E	34°34'96"N, 12°29'94"E
<i>4.1S</i>	34°41'N, 12°35'E	34°40'66"N, 12°33'54"E
St.5	34°39'N, 12°25'E	34°38'92"N, 12°25'342"E
St.6	34°28'N, 12°25'E	34°28'N, 12°25"E
St.7	34°28'N, 12°36'E	34°34'85"N, 12°35'77"E

Tableau. 1: Coordonnées des stations hydrologiques et sédimentologiques étudiées.

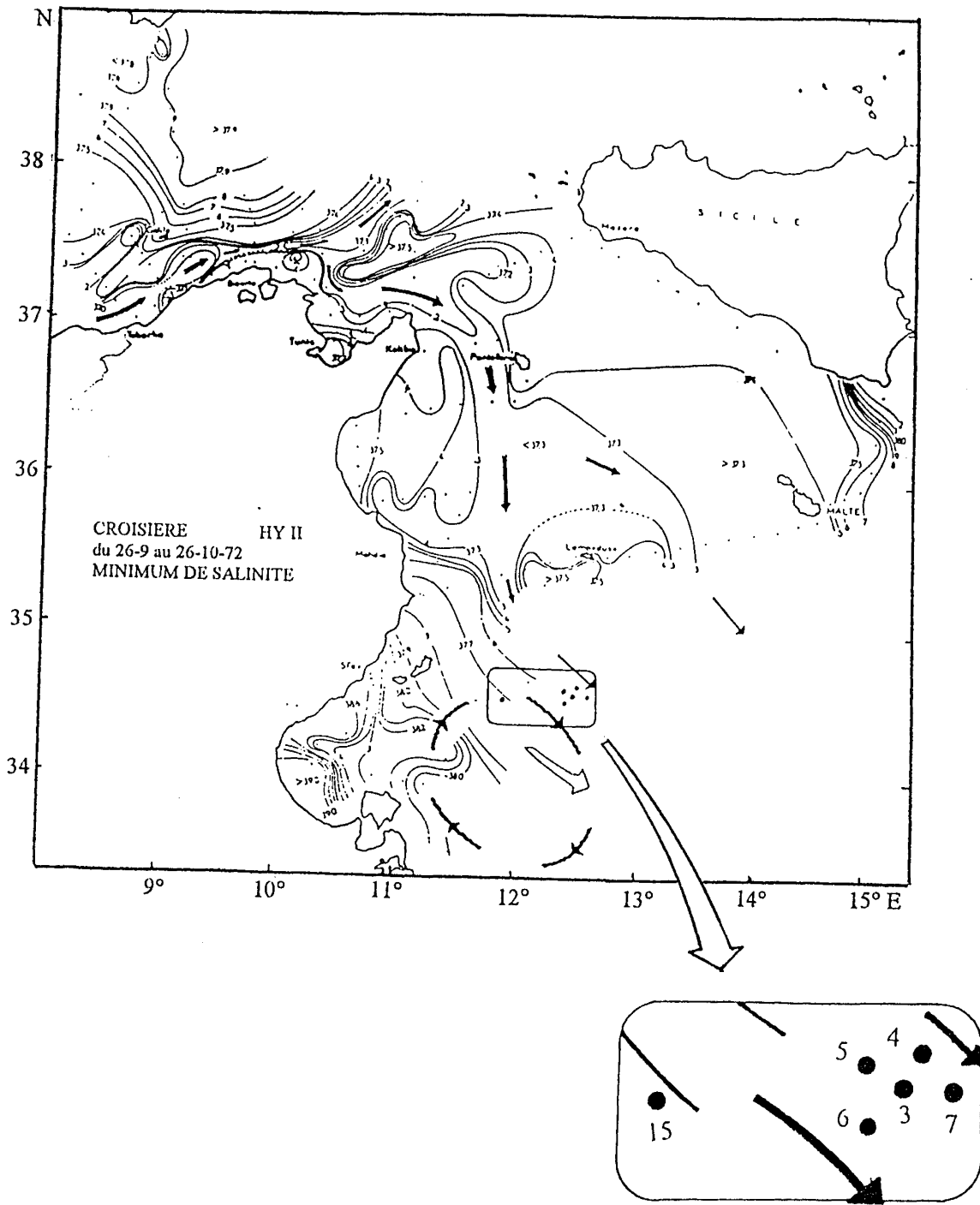


Figure 1: Localisation des stations des prélèvements hydrologiques et sédimentologiques au cours de la campagne *ISIS-1994*. Distribution horizontale de la salinité et schéma de la circulation générale au voisinage des côtes tunisiennes d'après Brandhorst (1977).

I. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE LA REGION

I.a - Hydrologie

Les figures 2 et 3 décrivent les conditions hydrologiques (température et salinité) à l'intérieur du triangle délimité par Gabès, Ras Capudia et le point de coordonnées (13°E - 34.1°N, voir figure 1). Dans cette région, la colonne d'eau présente une forte homogénéité en salinité ($37.2 < S < 37.3$ ‰) entre la surface et environ 50 mètres de profondeur. Au delà de cette immersion, la salinité présente un gradient vertical bien marqué. Ce gradient dénote de la présence d'une eau sous-jacente d'origine différente par rapport aux eaux de surface et qui par conséquent peut être sujette à une toute autre dynamique. L'existence de deux couches d'origines distinctes est confirmée par la section verticale de température qui fait apparaître une homogénéité de celle-ci ($14.5^{\circ}\text{C} < T < 15.5^{\circ}\text{C}$) aux profondeurs supérieures à 50 mètres, alors que dans les 50 premiers mètres la température présente une variation verticale de près de 5°C. Nous allons décrire l'incidence qu'a cette structure hydrologique bi-couche induite par la topographie de la région (plateau continental et talus vers l'Est) sur la dynamique de la région: le golfe de Gabès occupe une vaste région d'eau peu profonde, et se prête, de ce fait, à des effets de chauffage différentielle. En hiver, l'air ambiant, relativement froid, gagne suffisamment de chaleur au détriment de la colonne d'eau pour la rendre isothermale. Cette région peu profonde devient en contraste thermique avec les eaux des régions plus profondes situées à l'Est du plateau. Dans ces régions profondes, la chaleur perdue au profit de l'atmosphère par les couches de surface est remplacée par celle disponible dans les couches plus profondes. En revanche, cette source de chaleur n'est pas disponible dans les eaux du plateau continental - de faible profondeur - et l'eau reste froide. Ainsi, pour que ce phénomène puisse exister, l'épaisseur de l'eau peu profonde doit être plus faible que celle de la couche de mélange. Ce type de phénomène se produit aussi en été, lorsque le mélange dans la région d'eau peu profonde continue à être plus facile que dans les régions plus profondes. De nouveau, le critère limitatif est l'épaisseur de la couche de mélange. Dans le cas présent, en revanche, les conditions de renversement se produisent. Les eaux chaudes sont rencontrées sur toute la région peu profonde et forment un front avec les eaux des régions plus profondes avoisinantes. La localisation de ce front thermique correspond à un contour bathymétrique égal à la profondeur de la couche de mélange (40 à 50 mètres).

I.b - Dynamique

i - Circulation générale

Notre aire d'étude est située à environ 200 miles nautiques au Sud-Est du détroit Tuniso-sicilien, au travers duquel s'écoule la veine d'eau d'origine atlantique (**Mediterranean Atlantic Water**), relativement peu salée (37,2-37,3 ‰). Cette veine, intéressant les 200 premiers mètres, contourne le Cap Bon et s'oriente vers le Sud. Au nord de l'île de Lampedusa ce courant atlantique se scinde en deux branches: la première se dirige vers le Sud-Est en laissant l'île à l'Ouest alors que la seconde s'oriente vers le Sud (figure 1). Le flux de la MAW, à travers le détroit Tuniso-sicilien, présentant une variabilité saisonnière bien marquée [Manzella et al., 1988], l'intensité de cette branche est, en conséquence, sujette à des fluctuations qui à leur tour vont directement affecter la circulation au large du golfe de Gabès. En effet, il existe dans cette région une circulation locale cyclonique permanente [Ovchinnikov, 1966; Lacombe et Tchernia, 1972] qui va céder une partie, plus ou moins importante, de ses eaux à la sous-branche du courant atlantique. Il est, néanmoins,

difficile de quantifier précisément les courants compte tenu du manque de mesures *in-situ* adéquates

ii - Marée

La quantification des paramètres associés aux marées (amplitude, phase) dépend de la géomorphologie du bassin et reste tributaire de mesures directes recueillies à l'aide de marégraphes. Les marégraphes portuaires en fonctionnement le long des côtes tunisiennes sont localisés aux ports de La Goulette, Sfax et Gabès. Un marégraphe bénéficiant d'une nouvelle technologie a été récemment installé (Septembre 1994) au niveau de Ras-Taïeb (Pointe du Cap-Bon) dans le cadre d'un programme de coopération entre l'INSTOP et le Woods Hole Institute of Oceanography (USA). Des modèles numériques de marée, calés sur des observations *in-situ*, notamment celles recueillies aux ports précédemment cités, permettent d'extrapoler objectivement les amplitudes et les phases dans la région d'étude. Ainsi, d'après les travaux de Molines (1992), nous pouvons y estimer l'amplitude de la marée dominante M2 (composante lunaire semi-diurne, de période 12h42mn) à 14 cm et la phase à 90° (figure 5). Le golfe de Gabès, siège d'une résonance de l'onde M2, les courants de marée peuvent y atteindre 30 cm.s⁻¹ près de la ôte et environ 10 cm.s⁻¹ au large. Selon les résultats de Vincent (1992), l'hodographe associé à la marée M2 à proximité du site, est une ellipse dont le demi grand-axe, indiquant la direction principale du courant, à une orientation Sud-Est/Nord-Ouest.

iii - Courants engendrés par les vents

§ Les vents

L'établissement des roses de vent (Tounsi, 1993), basé sur une série de 20 ans d'observations au cours de la journée (6, 12 et 18h), et représentant la direction du vent en fonction de sa force, indépendamment de sa durée d'action montrent l'existence de deux tendances générales dans le golfe de Gabès. Elles sont plus nettes à Gabès qu'à Sfax.

A Sfax, au cours de la saison hivernale, le vent dominant est d'Ouest, variant du Sud-Ouest à Nord-Ouest pouvant atteindre 60 km.h⁻¹ par moment. Il est relativement peu fréquent dans les autres directions. En revanche, au cours de la saison estivale, le vent dominant est d'est, variant du sud-est à nord-est ne dépassant jamais 30 km.h⁻¹. Il est relativement peu fréquent dans les autres directions.

A Gabès, au cours de la saison hivernale, le vent dominant est d'Ouest, à Sud-Ouest, pouvant atteindre 30 à 60 km.h⁻¹ et relativement peu fréquent dans les autres directions. En revanche, au cours de la saison estivale, le vent dominant est d'Est à Nord-Est ne dépassant pas 8 m.s⁻¹. Il est relativement peu fréquent dans les autres directions.

En mer, par ailleurs, une analyse statistique des données de vents collectées sur une période de dix ans, dans la région du forage (Gleen et al., 1992), permet de mettre en évidence les caractéristiques climatiques suivantes:

Les vents dominants, durant les mois de janvier, février et mars, sont de secteurs ouest à nord-ouest (de l'ordre de 35 à 40% des occurrences). Les vitesses de ces vents sont, généralement, de l'ordre de 15 à 35 km.h⁻¹, alors que moins de 2% dépasse 40 km.h⁻¹. A titre indicatif, un vent de 20 km.h⁻¹ engendre un courant de surface de l'ordre de 17 km.j⁻¹. En période estivale la direction des vents dominants s'infléchit encore plus vers le Sud-Est (de secteur Nord-

Ouest), alors que les vitesses moyennes faiblissent (10 à 20 km.h⁻¹).

§ Courants engendrés par les vents

action la plus connue qu'exerce le vent sur un plan d'eau se manifeste par l'apparition et la propagation d'ondes (vagues) à la surface de celui-ci. Sauf à proximité immédiate de la côte où il y a déferlement, il n'y a pas de transport absolu de particules fluides par les vagues. Nous nous intéresserons plutôt ici à la circulation générée sous l'action du vent à l'échelle de quelques dizaines de kilomètres.

La théorie d'Ekman (voir Pedlosky, 1986) a bien clarifié l'effet du vent sur la circulation océanique. Sous l'action du vent, il y a apparition d'un courant dans une couche (d'Ekman) dont l'épaisseur est de l'ordre de quelques dizaines de mètres. En surface, la direction du courant forme un angle de 45° avec la direction du vent et l'on montre que la vitesse décroît, exponentiellement avec la profondeur, en tournant dans le sens rétrograde (sens des aiguilles d'une montre) lorsque l'on s'enfonce dans l'eau. En intégrant la vitesse verticalement entre la surface de la mer et la base de la couche (d'Ekman), on montre que le transport total est perpendiculaire au vent et est dirigé vers la droite (dans l'hémisphère Nord) pour un observateur qui regarde dans la direction où souffle le vent. Par ailleurs, la circulation induite par le vent dépend de sa durée et son intensité. En présence d'une côte, le problème est plus compliqué à cause de l'importance des effets de friction et des conditions à imposer aux parois.

Compte tenu de la direction des vents dominants, le transport intégré sur toute la colonne d'eau sera orienté vers le Sud/Sud-Ouest. A titre d'exemple, dans le cas d'un vent persistant de secteur ouest (respectivement nord-ouest) et de vitesse 25 km.h⁻¹, un effluent déversé dans la couche de surface (0-30 m) sera transporté vers le Sud-Est (respectivement vers le Sud) à une vitesse moyenne de l'ordre de 12 km.j⁻¹.

Rappelons toutefois que dans le milieu marin plusieurs phénomènes dynamiques peuvent coexister (courant de marée, courant d'Ekman engendré par le vent, circulation générale,...) et c'est la résultante (ou le processus dominant à un moment donné) qui doit être considéré pour évaluer le transport des particules en suspension. Ainsi, pour appréhender complètement la circulation dans le Golfe de Gabès, il faudrait disposer simultanément de plusieurs mois d'observations marégraphiques (au moins 3 instruments), d'un ensemble de données hydrographiques recueillies au moins 2 fois par saison avec une résolution spatiale fine (de l'ordre du km ou moins) et d'une bonne couverture des paramètres météorologiques (vent, flux de chaleur et de matière en surface, ...).

II. SEDIMENTOLOGIE ET DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE

II - 1 - Généralité sur La matière en suspension dans l'eau de mer

Le transport et la sédimentation de la matière en suspension dans l'eau dépendent essentiellement des paramètres physiques du milieu et des particules à partir desquels sont calculés le flux de sédimentation et le temps de résidence dans l'eau ou bien la capacité d'échange entre les particules et l'eau environnante.

Les particules situées dans la couche superficielle des eaux océaniques sont formées d'éléments provenant de plusieurs origines:

- ceux qui viennent de l'atmosphère et qui ont traversé l'interface océan-atmosphère. Ils représentent un faible pourcentage par rapport à l'ensemble des particules dans cette couche (< 1%).

- ceux qui viennent des profondeurs à la faveur des "upwelling", comme les sels nutritifs, et qui contribuent à la formation du matériel vivant (>90%)

- ceux qui arrivent dans les déversements des fleuves (<10%) et qui sont essentiellement terrigènes.

La majeure partie des particules dans la couche océanique superficielle intervient dans le cycle biologique. Les particules sont assimilées, dégradées ou bien dissoutes. Cependant une petite fraction de ces particules n'est pas recyclée et échappe au compartiment de surface. Parmi ces particules, certaines parviennent dans les eaux profondes porteuses des caractéristiques d'origines, d'autres subissent des transformations au cours de leur écoulement vers le fond et parviennent avec des caractéristiques différentes de celles d'origines.

Au cours du temps ces particules provenant de la surface, évoluent d'abord rapidement puis très lentement quand elles sont dans les eaux profondes. En se dissolvant et en se minéralisant elles enrichissent le milieu en matière organique dissoute et en sels nutritifs.

Enfin une petite fraction de ces particules atteint le fond des mers et participe à la sédimentation: elle est constituée soit de grandes particules qui sont arrivées très vite sur le fond (péloles fécales et agrégats), soit de petites particules qui ont atteint le fond après une très longue période et qui sont très peu dégradables. Ces dernières sont principalement des aluminosilicates, des argiles, des quartz, des débris de tests carbonatés, de l'opale et de la matière organique minéralisée.

Les particules qui arrivent au fond des mers sont la source majeure de nourriture pour les organismes benthiques et par conséquent, la composition et la densité de ces communautés dépendent principalement du flux de particules sur le fond.

Au cours de leur sédimentation à travers la colonne d'eau, les particules interagissent avec les divers constituants dissous de l'eau de mer. Ces particules gouvernent ainsi la répartition verticale de ces constituants. Par exemple, la distribution des éléments nutritifs est principalement contrôlée par la chute et la décomposition des particules biogéniques. De même les échanges entre les métaux traces et les radionucléides, d'une part, et les particules en transit, d'autre part, sont un facteur déterminant de la distribution de ces éléments (Turekian, 1977; Brewer et Hao, 1979; Balistrieri et al., 1981; Bacon, 1983; Nozaki, 1986).

En outre, ces processus d'échanges peuvent également gouverner le destin des polluants introduits dans les eaux de surface. En particulier, l'association des particules de grandes tailles et

de fortes densités avec ces polluants, accélère leur chute vers le fond (Schaule et Patterson, 1983; Buat Ménard, 1979).

Ces considérations montrent que l'étude des particules marines apporte des informations fondamentales pour la compréhension du cycle des éléments dans l'océan (Broeckler et Peng, 1982; Ben Brahim, 1988).

La connaissance de la cinétique des particules passe par celle, approfondie, de leur granulométrie puisque la vitesse de propagation verticale des particules est liée à leur taille ainsi qu'à leur masse volumique. Cette masse volumique n'est en fait ni bien mesurée, ni bien connue puisqu'elle dépend essentiellement de l'origine terrigène ou biogène des particules, de la proportion d'eau dans la structure de la particule. Les densités varient de particule à particule et aussi selon leur taille. Mc CAVE (1975) a évalué la décroissance de la densité lorsque la taille des particules augmente, cela étant dû au fait que les plus grosses particules sont principalement constituées de matière organique fortement hydratée pouvant contenir divers éléments fins en proportions variables.

Dans le cas présent et à défaut de mesures directes dans l'océan ouvert, nous estimons que la masse volumique des particules décroît selon une loi en puissance de leur taille (Brun Cottan, 1985; Ben Brahim, 1988).

II-2- Concentration de la matière en suspension au niveau ISIS

La concentration de la matière en suspension a été effectuée au laboratoire. Chaque échantillon a été filtré sur un filtre millipore de 0,45 µm. Le filtre a été séché à la température ambiante (environ 28°C) pendant 10 heures. Le filtre est pesé ensuite à l'aide d'une balance de précision à 0,1 mg. La teneur de l'eau en matière en suspension (mg.l⁻¹) est donnée par l'expression suivante:

$$\frac{M_1 - M_0}{V} * 1000$$

avec

M_0 = masse du filtre avant utilisation (mg/l)

M_1 = Masse du filtre après utilisation (mg/l)

V = Volume d'eau utilisé (ml)

Nous avons prélevé des échantillons en surface et en profondeur au niveau de chaque station. La concentration de la matière en suspension varie en moyenne de 16 à 17 mg.l⁻¹ au niveau de toutes les stations (tableau 2). Elle diminue légèrement en profondeur. Cette diminution est surtout significative au niveau des stations 4 et 5. Elle est de l'ordre de 1 mg.l⁻¹. Cependant, au niveau de la station 7, la concentration de la matière en suspension est plus importante en profondeur (80 m) qu'en surface; ces valeurs relativement élevées pourraient s'expliquer par la remise en suspension des sédiments par les courants profonds (figure 1).

II-2-1-Station Eulérienne

Pour calculer la charge de la matière en suspension dans toute la colonne d'eau, nous avons prélevé des échantillons en un point fixe et à différentes profondeurs (0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 et 60 m). La concentration de la matière en suspension observée est généralement élevée puisqu'elle est comprise entre 13 et 14 mg.l⁻¹ dans toute la colonne d'eau (à titre de comparaison, la valeur typique de la concentration de la matière en suspension dans l'Atlantique Nord-Est varie entre 1 et 2 mg.l⁻¹, Ben Brahim, 1988). Cependant, une concentration de 11 mg.l⁻¹ est observée entre 20 et 30 mètres; soit une nette diminution de 3 mg.l⁻¹ de cette concentration. En même temps, des analyses pour la chlorophylle-a sur les mêmes échantillons ont été effectuées dans le laboratoire de l'INSTOP (Mastouri, communication personnelle). La concentration de la chlorophylle a est plus importante en surface et elle chute aussi entre 20 et 30 mètres (tableau 3). Ces deux observations confirment la diminution de la matière vivante entre 20 et 30 mètres.

En surface, la concentration la plus élevée est indicatrice d'une vie intense des particules organiques mélangées avec celles provenant de l'atmosphère (ou éventuellement des rivières). Nous avons représenté au tableau 3 la concentration en chlorophylle-a et celle en masse. Les résultats montrent une bonne corrélation entre ces deux concentrations. Ainsi, nous pouvons affirmer qu'au cours de notre mission la couche de surface était caractérisée par la présence de matière organique fraîche.

La quantité intégrée sur toute la colonne d'eau (80 m) de la matière en suspension est de l'ordre de 500 à 800 g.m⁻², valeurs élevées par rapport à celles rencontrées dans l'océan ouvert. Ces fortes valeurs trouvent leur explication dans une activité halieutique intense dans cette région.

Station	Date	Heure	Prof. (m)	Temp. (°C)	Salinité (%)	M.E.S (mg/l)
11s	3-6-94	10h56'	0	24,5	37,5	16,9
12s	3-6-94	11h21'	0	23,22	37	16,3
12f			21	23,22	37	15,9
13s	3-6-94	12h27'	0	24,28	37,4	17,2
14s	3-6-94	13h35'	0	22,30	37	16,8
14f			29	21,00	36,5	
15s	3-6-94	16h13'	0	23,00	37	16,1
15f			42	20,00	36,3	15,3
St.3s	4-6-94	17h00	0	23,23	37	16,4
St.3f			60	20,00	36	16,1
St.4s	4-6-94	18h45'	0	23,00	37	16,8
St.4f			70	19,25	36	15,0
St.5s	4-6-94	22h45'	0	23,00	37	17,3
St.5f			55	20,21	36	16,8
St.6s	5-6-94	0h30'	0	23,00	37	17,3
St.6f			65	20,21	36	16,8
St.7s	5-6-94	22h35'	0	23,00	37	16,6
St.7f			80	19,21	35,80	16,9

Tableau 2: La concentration de la matière en suspension au niveau des stations de prélèvement.

II-2-2- Station Lagrangienne

Une autre manière d'appréhender la circulation océanique consiste à suivre la trajectoire d'une bouée dérivante (station lagrangienne). C'est ce que nous avons fait au cours de la campagne océanographique. Et même si ce suivi n'a pas couvert une période suffisamment longue (au moins 3 jours) nous avons pu observer un changement significatif de la direction de la bouée qui au bout de 7 heures de dérive est passée de la direction Sud à Sud Ouest et a longé l'isobathe 110m pendant les dernières 5 heures, temps au bout duquel la bouée a été prise dans la circulation locale cyclonique permanente. Le suivi de cette bouée pendant 12 heures, nous a permis d'évaluer l'évolution horizontale de la matière en suspension en surface. Ainsi, nous avons constaté que la matière en suspension était de l'ordre de 11 mg.l^{-1} pendant les premiers sept heures. Ensuite, elle a augmenté pour atteindre 16 mg.l^{-1} . Cette augmentation coïncide avec un changement de direction de la bouée qui passe de Sud-Est à-Sud Ouest. Nous en déduisons donc le passage au bout de 7 heures à une masse d'eau hydrologiquement différente.

Station	heure	Prof. (m)	Temp. (°C)	Salinité (‰)	Charge (mg/l)	Chlorophylle-a (mg/m^3)
F1S1	11h30'	0	25,15	37,3	14,1	0,29
F1S13	11h35'	5	24,23	37,2	14,1	0,38
F1S14	11h40'	10	24,23	37,2	14	0,58
F1S15	11h45'	20	22,21	37	11,1	0,29
F1S16	11h55'	30	22	37	13,9	0,19
F1S17	12h00'	40	21,22	36,5	14	0,19
F1S18	12h10'	50	21,15	36,5	13,5	0,01
F1S12	12h12	60	19,79	36	10,6	0,01

Tableau 3: Concentration de la matière en suspension et de la Chlorophylle-*a* dans la colonne d'eau au niveau du point ISIS.

II-3-Le flux de sédimentation au niveau du site ISIS

Le calcul du flux de sédimentation instantané au niveau du point fixe (F1: $34^{\circ}30'N$, $12^{\circ}30'E$) a été fait en considérant une vitesse moyenne de chute des particules près du fond de l'ordre de 27 m.j^{-1} , valeur correspondant à des particules dont la taille moyenne est de l'ordre de $60 \mu\text{m}$ et à une densité relative de 0,23 (Brun-Cottan et Ben Brahim, 1985; Ben Brahim, 1988). Compte tenu des approximations faites, l'erreur sur l'estimation du flux instantané peut atteindre 50%.

Des prélèvements de la matières en suspension ont été effectués toutes les heures au niveau d'un point fixe et ce pendant un cycle de marée (tableau 4). Les valeurs mesurés du flux de sédimentation instantané sont comprises entre $1,2$ et $1,6 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$. La valeur de ce flux intégré sur un cycle de marée est de l'ordre de 16 mg.cm^{-2} . Si nous intégrons ce flux pendant toute l'année, nous obtenons une valeur de l'ordre de $11 \text{ g.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$, valeur approximative compte tenu de la résolution temporelle.

Station	Heure	Prof. (m)	Temp. eau (°C)	Salinité (‰)	M.E.S (mg/l)	Flux (mg/cm ² /h)
F1S1	1h20'	60	19,21	36	14	1,55
F1S2	2h20'	60	19,21	36	13,3	1,51
F1S3	3h20'	60	19,21	36	14,2	1,61
F1S4	4h20'	60	19,21	36	10,7	1,22
F1S5	5h20'	60	19,21	36	10	1,14
F1S6	6h20'	60	19,21	36	10,1	1,15
F1S7	7h20'	60	18,97	36	10,5	1,19
F1S8	8h20'	60	18,97	36	10,3	1,17
F1S9	9h20'	60	18,98	36	10,7	1,22
F1S10	10h20'	60	19,12	36	10,8	1,23
F1S11	11h20'	60	19,12	36	10,6	1,2
F1S12	12h20'	60	19,12	36	13,5	1,53

Tableau 4: Flux de sédimentation instantané au niveau du point ISIS

II-4-Calcul du temps de résidence de la matière en suspension au voisinage d'ISIS

Le temps de résidence pour les espèces minérales et chimiques des particules en suspension est un des plus importants paramètres en géochimie marine (Martin *et al.*, 1985).

Nous pouvons considérer une couche euphotique soumise à une pluie de particules identiques alimentée par un flux constant en surface. Dans le cas où la vitesse de production des particules dans la zone superficielle reste invariante, nous pouvons calculer le temps de résidence moyen T comme suit:

$$T = \frac{C}{Q} * h$$

où C , Q et h désignent respectivement la concentration en matières en suspension, le flux de sédimentation et la hauteur de la colonne d'eau.

Dans la région d'étude et au niveau du point fixe (F1), le temps de résidence des plus petites particules en suspension (de diamètre moyen égale à 60 μm) est de l'ordre de 60 heures. Les grosses particules auront des vitesses de chute très élevées et par conséquent leur temps de résidence dans l'eau est très faible.

II - 5 - Les sédiments au voisinage du site ISIS

II-5-1 Généralités

A côté des matières dissoutes, les eaux superficielles contiennent plus particulièrement des particules en suspension. Ces particules dont la taille varie des dimensions des colloïdes à quelques centaines de μm sont constituées d'éléments minéraux et organiques en provenance des sols ou des résidus d'activité humaine.

Ces particules sont susceptibles d'absorber une grande variété de substances y compris celles qui sont toxiques ainsi que des éléments microbiens. Ces matières en suspension à caractère amorphe ou cristallin peuvent être composées d'argiles, d'hydroxides de fer ou d'alumine, de quartz, de carbonates, de grès, etc., ainsi que de matières organiques plus ou moins dégradées d'origine animale ou végétale. Tous ces éléments particuliers en provenance du lessivage ou de l'érosion des sols sont transportés par l'eau jusqu'à ce qu'ils se déposent par sédimentation.

Il est bien connu que la concentration de nombre de polluants est plus élevée dans les sédiments marins que dans l'eau elle-même. Suivant les conditions hydrologiques et dynamiques du milieu, ces sédiments, qui ont pu servir de vecteur au transport des composés toxiques, peuvent libérer, plus ou moins rapidement, ces polluants dans l'environnement et contribuer ainsi à des phénomènes de contamination de sites distants.

Les matières humiques (acide fulvique et humique) qui enrobent très souvent les éléments minéraux constituent un moyen supplémentaire d'aider à la fixation et à l'absorption des polluants en constituant des complexes dont la capacité d'échange est importante.

Nous nous contentons dans la présente étude, d'analyser la granulométrie et d'en déduire la nature des sédiments récoltés au niveau des six stations de prélèvements de la région d'étude.

II-5-2- Nature et granulométrie des sédiments au voisinage d'ISIS

L'analyse des sédiments a été effectuée au laboratoire de l'INSTOP. L'échantillon est séché à 105°C. Il est ensuite tamisé. Une série de tamiseurs superposés de type 4188 et de diamètres différents (2, 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05 et < 0.05 mm) est lié à un moteur de type 03 502. La totalité de l'échantillon est passée par petites quantités sur le tamis de 2 mm. Le tamisage s'effectue pendant 30 minutes avec une amplitude de 5. Le sédiment recueilli dans chaque tamiseur est pesé avec une précision de 0.01 g. La granulométrie et la nature des sédiments sont déduites par le pourcentage recueilli sur l'ensemble des tamiseurs.

L'examen des six échantillons a montré que la zone est caractérisée par un fond détritique bioclaste. De nombreux tests de foraminifères benthiques constituent l'essentiel de la fraction grossière. Y sont également associés des algues, des algues calcaires et de nombreux débris coquilliers de divers mollusques, de mélobesiées et de bryozoaires.

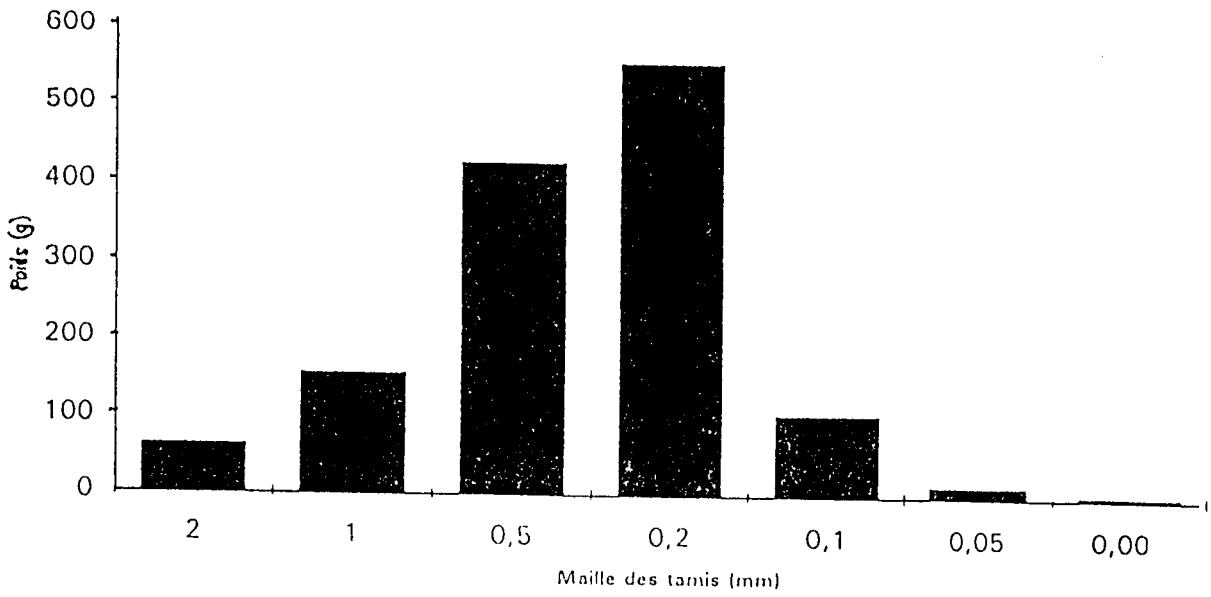
Au voisinage de notre aire d'étude, le fond est de nature sableuse et accuse un passage à de la vase au niveau des stations 3 et 15. La station 7, présente un fond tout à fait différent avec des débris de faux corail, des bryozoaires et des tests organiques (tableau 5).

Maille du tamis (mm)	Rétention du tamis (g)	Masse cumulée (g)	% de retenue	% cumulé
2	1232,21	1232,21	87,27	87,27
1	79,64	1311,85	5,64	92,91
0,5	48,06	1359,91	3,4	96,32
0,2	27,32	1387,23	1,93	98,25
0,1	11,13	1398,36	0,79	99,04
0,05	6,32	1404,68	0,45	99,49
0	7,23	1411,91	0,51	100

Tableau 5: Paramètres granulométriques des sédiments au niveau de la station 7.

Setils les résultats relatifs à la station 3 (34° 30' N, 12° 30' E) sont présentés dans ce document. La fraction granulométrique inférieure à 0,5 mm représente 51% de l'échantillon total. Celle supérieure à 0,5 mm représente 49% (Fig. 2). La figure 2 montre que la quasi-totalité de la granulométrie de l'échantillon est comprise entre 0,2 et 1 mm. Au niveau de la station ISIS, les fonds marins sont recouverts de sable vaseux. Cette étude confirme les travaux de Ben Othman (1971) et de Poizat (1970).

Classement granulométrique des sédiments (st 3.ISIS).



1

Pourcentage granulométrique (st.3, ISIS).

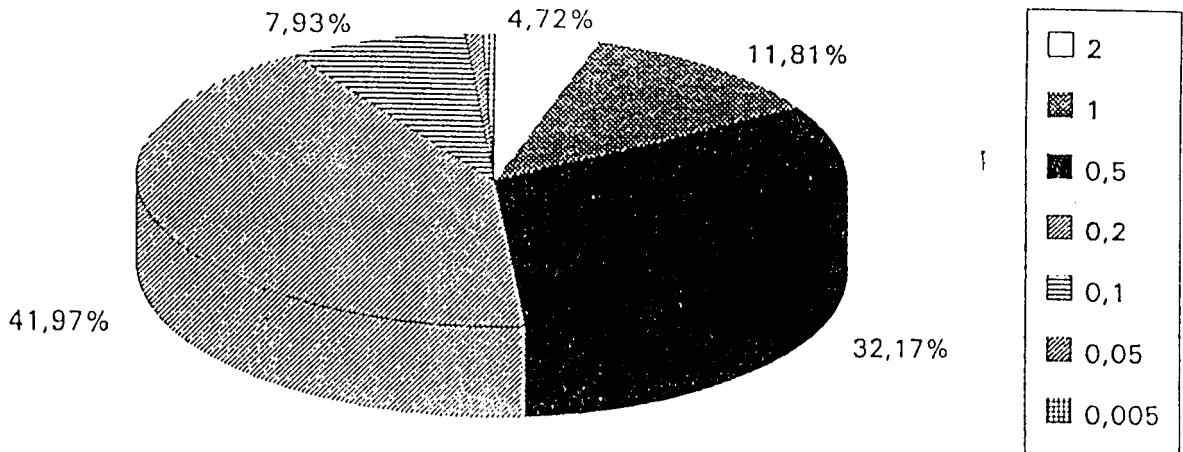


Figure 4: Classement granulométrique des sédiments au niveau du point de forage (station 3) ISIS 1994

CONCLUSION

Le golfe de Gabès est caractérisé par une topographie très particulière (vaste plateau continental peu profond et talus vers l'Est) qui favorise l'existence d'une structure hydrologique bicouche et d'un front thermique coïncidant géographiquement avec les isobaths. Compte-tenu de la variabilité du courant d'origine atlantique, il est possible de détecter de l'eau atlantique à l'est de notre région d'étude, comme en témoigne la diminution significative de la salinité au niveau de la station 7. Néanmoins, il ne semblerait pas exister une circulation générale permanente de grande échelle au large des Iles Kerkennah, mais plutôt une circulation cyclonique locale à l'échelle du Golfe de Gabès. Le suivi d'une bouée dérivante a montré une trajectoire compatible avec une circulation cyclonique et guidé par la topographie.

L'acquisition et l'exploitation des données *in-situ* collectés pendant la campagne du 3-6-1994 a permis de dégager également les autres conclusions suivantes:

Dans la colonne d'eau, la concentration moyenne de la matière en suspension vaut près 13 mg.l⁻¹, valeur relativement élevée si on la compare à celle caractérisant l'océan ouvert (1 à 2 mg.l⁻¹). Le flux de sédimentation instantané au niveau du point fixe est de l'ordre de 16 mg. cm⁻². marée⁻¹. et le temps de résidence des particules dans la colonne d'eau est de quelques jours.

La matière en suspension en surface et jusqu'à une profondeur de 20 à 30 m, niveau jusqu'où des valeurs assez élevées de la chlorophylle a sont observées, est d'origine organique. Au dessous de cette profondeur les particules en suspension sont plutôt d'origine détritique.

L'examen des six échantillons a montré que la zone est caractérisée par un fond détritique bioclaste. De nombreux tests de foraminifères benthiques constituent l'essentiel de la fraction grossière. Y sont également associés des algues, des algues calcaires et de nombreux débris coquilliers de divers mollusques, de mélobesiées et de bryozoaires.

Au voisinage de notre aire d'étude, le fond est de nature sableuse et accuse un passage à de la vase vers l'Est.

Cependant, pour appréhender complètement les caractéristiques hydrologiques, dynamiques et sédimentaires du Golfe de Gabès, il faudrait disposer simultanément de plusieurs mois d'observations marégraphiques (au moins 3 instruments), d'un ensemble de données hydrographiques recueillies au moins 2 fois par saison avec une résolution spatiale fine (de l'ordre du km ou moins), notamment pour évaluer correctement le flux de sédimentation, et d'une bonne couverture des paramètres météorologiques (vent, flux de chaleur et de matière en surface, ...).

Nota. Ce travail de synthèse bibliographique et de mesures *in-situ* a été effectué dans le cadre d'une étude d'impact sur l'environnement marin d'un forage pétrolier au large du golfe de Gabès (34°30' N, 12°30' E) que la société SAMEDAN of Tunisia, Inc a confiée à l'INSTOP.

BIBLIOGRAPHIE

- Bacon P.M. et R.F. Anderson**, 1982, Distribution of the Thorium isotope between dissolved and particulate forms in the deep sea, *Journal of Geophysical Research*, **87** : 2045-2056.
- Ben Brahim Mouldi**, 1988, Le transport et la sédimentation de la matière en suspension dans l'Atlantique Nord-Est et l'estuaire de la Seine, Thèse de l'Université Pière et Marie Curie, France, 200p.
- Ben Othman Sadok**, 1971, Observations hydrologiques. Dragages et chalutage dans le Sud-Est tunisien, *Bull. Ins. Nat. Sc.Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô*, **1.2**, n°2.
- Brandhorst W.**, 1974, Observations océanographiques dans les eaux tunisiennes réalisés par le projet de recherche et de développement de la pêche durant les années 1972; 73. *Bull.Pêche*, **1**: 4-85.
- Brandhorst W.**, 1977, Les conditions du milieu au large de la côte tunisienne. *Bull.Ins.Nat. Sc.Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô*, **4** (2-4) : 129-220.
- Buat Menard P. et Chesselet R.**, 1979, Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter, *Earth. Planet. Sci. Lett*, **42** : 399-411.
- Fugro. Mc Clelland Marine Geosciences**, 1993, Etude géotechnique au large de Kerkannah, Rapport n°0201-1989, 22 janvier 1993.
- Glenn, A. H. et associates**, snoitidnoc cihpargoaeco - lacigoloroetm, 1992 gnitceffa troppar aera. *Annales geophysicae*, **5B (1)** : 75-88
- Grancini G. F. et A. Michelato**, 1987, Current structure and variability in the strait of Sicily and adjacent area. *Annales Geophysicae*, **5B (1)** : 75-88.
- Knauss J.A.**, 1978, Introduction to physical oceanography. 220-242.
- Lacombe H. et P. Tchernia**, 1972, Caractères hydrologiques et circulation des eaux en méditerranée. In D.J. Stanley, *The Mediterranean Sea*. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, PA, 25-36
- Le Danoit Ed.**, 1925, Recherche sur les fonds chalutables des côtes de Tunisie (croisière du chalutier "TANCHE" en 1924). *Ann. Stn. Océanog.Salammbô*, **n°1**, 56p., 1carte depl., *Mém. off. Sci. Pêche Marit.*, **n°3**.
- Lucas G., Lang J. et Goddard C.**, 1969, Etude sédimentologique de quelques échantillons prélevés dans le golfe de Gabès. *Rec. Trav. Stn. Mar. Endoume*, **n°62**, Bull. n°46: 253-260.

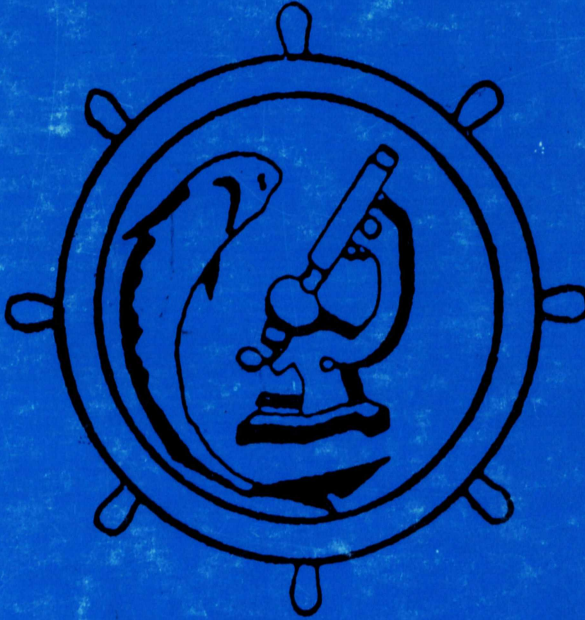
- Martin J.M., Mouchel, J.M. et Thomas,A.J.**, 1986, Time concepts in hydrodynamic systems with an application to ^7Be in the Gironde Estuary. *Mar. Chem.*, **18**: 369-392.
- Manzella G.M. R, G.P. Gasparini and M. Astraldi**, 1988, Water exchange between the eastern and western Mediterranean through the Strait of Sicily, *Deep Sea Research*, **35**, **6** : 1021-1035.
- Manzella G.M. R, T. S. Hopkins, P. J. Minnet and E. Nacini**, 1990, Atlantic water in the strait of Sicily. *Journal of Geophysical Research*, **95**, **C2** : 1569-1575.
- Molines J. M.**, 1991, Modelling the barotropic tides in the strait of Sicily and tunisian shelf, *Oceanologica Acta*, **14**, **3** : 241-252.
- Pedlosky J.**, 1979, Geophysical Fluid Dynamics. Springer-Verlag edt, 624pp.
- POEM group**, 1992, General circulation of the eastern Mediterranean. *Earth-Science Reviews*, **32** : 85-309. Elsevier Science Publishers B. V., Amesterdam.
- Poizat CL.**, 1970, Hydrodynamisme et sédimentation dans le Golfe de Gabès (Tunisie). *Téthys*, **t.2**, n°1: 267-296.
- Sanchez B. V., R. D. Ray and D. E. Cartwright**, 1992, A Proudman-function expansion of the M2 tide in the Mediterranean Sea from satellite altimetry and coastal gauges, *Oceanologica Acta*, **15**, **4**, 325-337.
- Shaule B.K. et Patterson C.C**, 1983, Perturbations of the natural lead profil in the Sargasso Sea by industrial lead. In: Trace elements in Sea water, Wong C.S., Boyle E.A., Bruland K., Burton D., Goldberg E.D., eds., *Plenum Press, N.Y.*, 487-503.
- Tounsi K.**,1993, Description du vent dans le Golfe de Gabès. *Rapp interne Institut National de la Météorologie*, Tunisie.
- Vincent P.**, 1992, Barotropic tide in the Mediterranean Sea from a finite element numerical model. Submitted to *Journal of Geophysical Research*.

الجمهورية التونسية

نشرة

المعهد القومي العلمي و الفني
للاقيانوس و الصيد بصلامبو

سلسلة جديدة - ج 21



1994