

TRAITEMENTS DES SERIES CHRONOLOGIQUES DANS LE LITTORAL DE GABES

Mouldi BRAHIM, A ATOUI et C.SAMMARI

Institut National des Sciences et technologies de la Mer

Mouldi.brahim@instm.rnrt.tn

ملخص

معالجة السلاسل الزمنية في ساحل قابس : أظهر تحليل السلسلة الزمنية التي تم الحصول عليها في منطقة غنوش مدى المد والجزر الكبير (230 سم) ووجود التيارات المدية القوية إلى حد ما في حدود 15 سم. -1 والذي يتناوب اتجاهه بين الشمال الغربي والشمال الشرقي. بالإضافة إلى ذلك ، فإن التيارات ذات التردد المنخفض (الأمواج والرياح والضغط) هي في حدود 10 سم -1 خلال فترة التسجيل. التيارات بالقرب من القاع لها اتجاه الشمال / الجنوب و لها سرعة تقدر ب 15 صم في الثانية
الكلمات المفتاحية: السلاسل الزمنية ، السرعة ، الاتجاه ، التيار ، ساحل قابس

RESUME

L'analyse des séries temporelles obtenues dans la zone de Ghannouch a permis de montrer le marnage important (230cm) et la présence des courants de marée assez forte de l'ordre de 15 cm.s^{-1} et dont la direction s'alterne entre le Nord-ouest et l'Est-Nord-est. En outre, les courants de basse fréquence (houle, vent et pression) sont de l'ordre de 10 cm.s^{-1} lors de la période de l'enregistrement. Les courants de la dérive littorale près du fond, de l'ordre de 15 cm.s^{-1} , ont une direction Nord/Sud.

Mots Clés ; Séries chronologiques, vitesse, direction, courant, littoral de Gabès.

ABSTRACT

Time series processing in the Gabès Coastline : The analysis of the time series obtained in the Ghannouch area has shown the significant tidal range (230cm) and the presence of fairly strong tidal currents in the order of 15 cm.s^{-1} and whose direction alternates between Northwest and East-Northeast. In addition, the low frequency currents (swell, wind and pressure) are of the order in 10 cm.s^{-1} during the period of recording. The currents of the littoral drift near the bottom, of the order in 15 cm.s^{-1} have a North / South direction.

Keywords : Chronological series, speed, direction, current, coast of Gabès

INTRODUCTION

Les littoraux sont souvent soumis à une érosion importante pouvant atteindre, par endroits, plus de 20 m par an, ce qui met en péril une partie du patrimoine national que représente la frange littorale (Paskoff, 2004). La côte de la région de gabès n'échappe pas à la conjoncture mondiale de déséquilibre sur les plans sédimentaire et morphologique, puisqu'elle est soumise à une dégradation et à une perturbation de son budget sédimentaire (Miossec & Paskoff, 1979; Oueslati, 2004 ; Paskoff, 2004 ; Masmoudi et al, 2005). Ce déséquilibre sédimentaire est la résultante des effets naturels, tels que les paramètres hydrodynamiques (vents, houles et marée), la topographie sous-marine, l'augmentation du niveau de la mer, le couvert végétal sous-marin et des interventions multiples de l'homme, tels que l'urbanisation touristique et balnéaire près de la mer et le déficit des apports terrigènes des sédiments par les cours d'eaux exoréiques (Paskoff, 2004).

Nous nous proposons d'étudier la circulation (vitesse et direction des courants) des eaux dans le littoral de Gabès afin d'identifier et d'analyser les causes qui sont à l'origine de l'érosion de ces côtes et de

contribuer à la prise de décisions concernant sa protection et son aménagement. Parmi les paramètres

qui servent pour calibrer le modèle numérique du transport des sédiments figurent celles de l'hydrodynamique notamment les courants associés à la houle et à la marée. Dans ce cadre nous avons installé un ADCP dans la zone à étudier. Le présent travail, traite les séries chronologiques des niveaux d'eau et les vitesses des courants dans ce littoral.

Ces travaux sont déroulés dans le Laboratoire du Milieu Marin de l'INSTM. Ils s'intègrent dans un projet de recherche international et financé par MISTRALS-MERITE avec l'institut « Mediterranean Institut of Oceanologie »

PRESENTATION DE LA ZONE

Le golfe de Gabès fait partie de la côte orientale de la Tunisie. Il occupe la plus grande partie du littoral Est tunisien compris entre Sfax et l'île de Djerba. Il est limité au Nord par l'archipel et les hauts fonds des Kerkennah, à l'Ouest et au Sud par le continent, sa limite Est étant délimitée par la rupture de pentes du plateau continental aux environs de 200 m.

Ce littoral est influencé directement par des oueds et notamment les oueds : El Melah, Demna, Ettine, Gabès, Essouareg, et El Fard.

Les vents dominants sont du secteur Est et Est/Nord-Est pendant la période hivernale et printanière et du secteur Est pendant la période estivale.

Au large, la houle est de direction Sud-est à Nord, tandis qu'à la côte, la houle est direction Est/Nord-est.

Les courants généraux pour les eaux de surface, sont d'origine atlantique créés à travers le détroit de Gibraltar. Ces courants circulent de l'Ouest vers l'Est au large des côtes Nord de la Tunisie et du Nord vers le Sud au large de la côte Est. Il existe un courant général de direction Nord-Sud accompagné par un faible courant de retour de direction Sud-Nord.

La dynamique du golfe de Gabès est dominée par les courants de marée. Ces courants périodiques sont les plus significatifs et leur contribution dans le nettoyage des côtes et particulièrement des ports et des canaux est significative.

L'analyse des données courantométriques et hydrologiques récemment acquises dans le cadre du programme de recherche intitulé "*dynamique côtière et qualité du milieu marin*" confirment aisément la

prédominance des courants de marée qui peuvent atteindre 60 cm.s^{-1} (Sammari et al. 2006).

Ces données montrent aussi que la structure hydrologique du golfe est caractérisée par un système à deux couches vers les grandes profondeurs (> 70 mètres) et un système uni-couche vers les faibles profondeurs (< 60 mètres). C'est également vers les grandes profondeurs que la trace de l'eau d'origine atlantique est détectée (salinité < 37,8, voir coupes verticales de salinité et de température dans GIS Gabès).

Il est donc tout à fait plausible de penser que cette masse d'eau alimente une recirculation anticyclonique plus au moins intense selon la saison. Cette recirculation demeure faible comparée à celle induite par la marée notamment au niveau des eaux continentales du littoral de la région de Gabès.

MATERIELS ET METHODES

Pour étudier les modules et les directions des courants marins dans le littoral de Gabès, nous avons installé un ADCP (1500 KHz) à une profondeur de 11,3 mètres, à l'aide d'une bouée submergée à -5m, pour une période allant de 31/01/2018 à 13:00 h au 12/04/2018 à 11:00 h (figure 1).

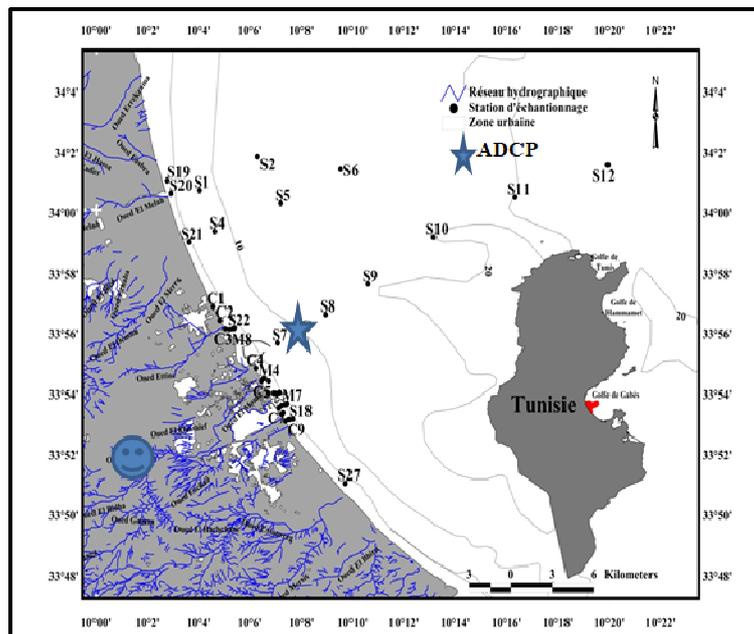


Figure 1 : Localisation de l'emplacement du courantomètre ADCP) dans le littoral de la région de Gabès

L'ADCP « Acoustic Doppler Current Profiler » ; est un Appareil basé sur l'effet Doppler capable d'enregistrer un profil des vitesses et directions du courant.

L'ADCP peut être utilisé sous forme d'appareillage fixe autonome (fixé au fond avec une cage ou sur une bouée) ou bien être embarqué à bord d'un navire.

L'ADCP évalue les composantes horizontales et verticales de la vitesse du courant sur un profil dont la portée et la résolution verticale dépendent de la configuration de l'appareil. L'utilisation de plusieurs ondes sonores, en général 3 faisceaux orientés différemment (inclinés, à 120°), permet par simple calcul trigonométrique, de calculer les vitesses horizontales et verticales des courants (figure 2). Le

profil de vitesse est découpé, par l'ADCP, en segments uniformes appelés 'cellules'. La position de l'ADCP est fournie en temps réel par un GPS différentiel.

Une impulsion d'énergie acoustique (dénommée "Ping") est transmise dans l'eau avec une fréquence spécifique. L'énergie de cette impulsion est réfléchi sur des particules en suspension et en déplacement dans la colonne de l'eau et c'est une partie de cette énergie qui retourne à l'ADCP en fournissant la vitesse et la direction du flux pour les cellules.

Les trois transducteurs acoustiques de l'ADCP permettent de mesurer les trois composantes de la

vitesse par rapport au référentiel terrestre ENU (Est (u), Nord (v) et Vertical (w)).

L'ADCP joue à la fois le rôle d'émetteur d'onde sonore (E) de fréquence f_{em} et de récepteur (R) de fréquence f_{rec} . Le décalage doppler est défini comme suit : $\Delta f = 2f_0 \cdot (V/c) \cdot \cos(A)$ qui dépend de la vectrice vitesse du diffuseur qui a réfléchi l'onde. De cet écart de fréquence doppler on peut déduire la vitesse des particules et donc de l'eau (effet doppler)

$$\Delta f = 2f_0 \cdot (V/c) \cdot \cos(A)$$

f_0 = fréquence d'émission, V = Vitesse des particules, C = Vitesse du son dans l'eau, A = l'angle entre la vectrice vitesse et l'axe de transducteur

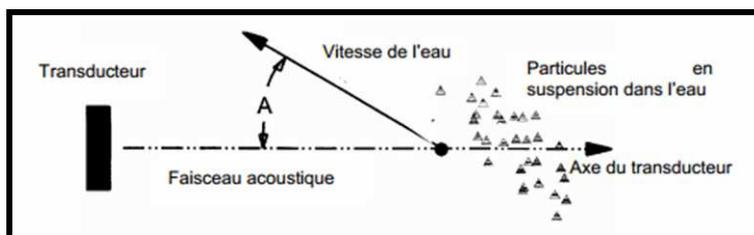


Figure 2: L'orientation de vecteur vitesse (William & Richard, 2001).

L'effet Doppler transmettent un son à une fréquence fixe et en enregistrant les échos de retour provenant de la réflexion du son émis sur les obstacles présents dans la colonne d'eau. Ces obstacles qui réfléchissent le son vers l'ADCP correspondent à des petites particules du plancton et aux particules des sédiments en suspension. L'ADCP n'envoie pas une seule onde mais une série d'impulsions formant un code et mesure ainsi la variation de phase entre les diverses impulsions réfléchies.

La bande morte de l'ADCP (Blank distance, en anglais) est de 0.4m. L'ADCP est équipé d'un module de houle directionnelle, 2048 mesures ont été effectuées avec une cadence de 2Hz (soit environ 17 minutes) et cela toutes les 60 minutes (PRI=1800s). Il est à noter que la valeur horaire est la moyenne des valeurs prises toutes les 5 minutes (AI=300s).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Traitement des séries temporelles

Le choix de l'installation de l'ADCP a été contraint par les impératifs dynamiques, la nature du fond, la bathymétrie et aussi par les aspects relatifs à la sécurité des instruments. L'ADCP étant équipé d'un module de houle directionnelle, il a été effectué 2048 mesures avec une cadence de 2Hz (soit environ 17 minutes) et cela toutes les 60 minutes.

1. Le niveau d'eau

La figure 3 montre la série brute du niveau d'eau mesuré par l'ADCP. Nous y notons un fort marnage qui peut dépasser 1 mètre.

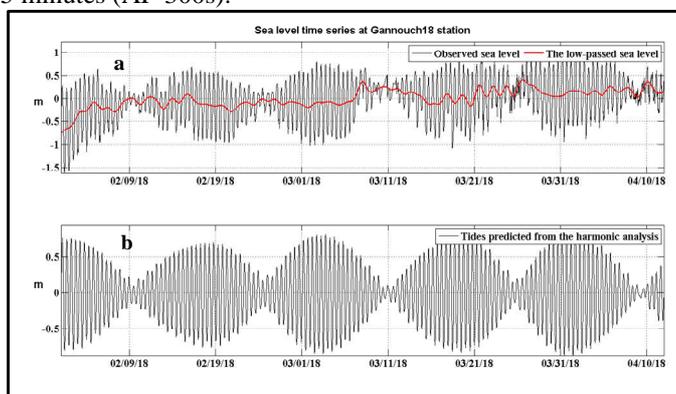


Figure 3: La série du niveau d'eau brut (ADCP)

Ensuite, nous avons appliqué à cette série l'analyse harmonique. Cette analyse a été faite après avoir

supprimé les 100 premières et les 45 dernières valeurs de la série brute. Pour filtrer les oscillations de basses

fréquences, nous avons également appliqué à la série brute un filtre ayant une fréquence de coupure (f_c) de 1/34h. Les résultats sont récapitulés dans le tableau I.

Tableau I: Les caractéristiques des marées enregistrées par l'ADCP

Marée	T (h)	Amp (cm)	Ph (°)
MM	661.28	00.06 ± 00.10	002.84 ± 328.86
*MSF	354.37	00.12 ± 00.10	333.69 ± 154.5
ALP1	29.07	00.72 ± 01.80	229.27 ± 484.74
2Q1	28	01.16 ± 02.30	267.60 ± 408.33
Q1	26.86	02.13 ± 02.50	100.29 ± 198.75
O1	25.81	01.74 ± 02.20	319.12 ± 242.55
NO1	24.83	03.30 ± 04.50	145.40 ± 259.65
P1	24.06	01.52 ± 02.00	023.22 ± 223.11
*K1	23.93	04.59 ± 02.40	016.15 ± 99.87
J1	23.09	01.53 ± 01.90	325.08 ± 297.21
OO1	22.3	00.93 ± 03.30	162.04 ± 567.33
UPS1	21.57	01.77 ± 03.00	212.79 ± 373.14
EPS2	13.12	00.51 ± 01.10	063.80 ± 433.62
*MU2	12.87	02.04 ± 01.60	210.58 ± 141.48
*N2	12.65	06.74 ± 01.80	062.44 ± 43.68
*M2	12.42	43.99 ± 01.60	084.75 ± 7.26
L2	12.19	01.12 ± 01.40	313.38 ± 223.98
*S2	12	31.13 ± 01.80	112.33 ± 10.5
*K2	11.96	08.47 ± 02.30	134.73 ± 42.33
ETA2	11.75	00.29 ± 01.40	041.76 ± 631.56
MO3	8.38	00.27 ± 00.80	215.31 ± 477.21
M3	8.28	00.82 ± 00.90	045.18 ± 208.23
MK3	8.17	00.05 ± 00.70	025.96 ± 752.52
SK3	7.99	00.73 ± 00.90	288.89 ± 303.33
MN4	6.26	00.27 ± 00.80	123.33 ± 547.05
M4	6.21	00.29 ± 00.70	220.67 ± 496.14
SN4	6.16	00.52 ± 00.90	175.68 ± 320.97
*MS4	6.1	01.17 ± 01.00	310.62 ± 164.97
S4	5.99	00.59 ± 00.90	090.71 ± 311.97
2MK5	4.93	00.34 ± 00.60	033.74 ± 317.73
2SK5	4.79	00.27 ± 00.50	136.56 ± 406.92
2MN6	4.16	00.41 ± 00.60	149.99 ± 300.87
*M6	4.14	00.70 ± 00.60	139.66 ± 154.02
*2MS6	4.09	01.04 ± 00.60	219.92 ± 108.54
*2SM6	4.04	00.87 ± 00.60	235.62 ± 163.23
3MK7	3.52	00.51 ± 00.50	290.89 ± 195.72
M8	3.1	00.37 ± 00.40	010.21 ± 225.57

Ces résultats indiquent que :

- Le bon nombre de points analyses est de 3405 sur 3406
- L'intervalle de mesure est de 30 min et la période d'observation est de 70.93 jrs
- La série débute à 12 :00 hrs (UT), le 31 janvier 2018
- Le critère de Rayleigh est 1
- La moyenne est 11.673 m et il n'y a pas de tendance
- La variance de la série est 0.21057 m²
- La variance expliquée par l'analyse est 0.15972 m²
- La variance résiduelle est 0.050567 m²
- Le pourcentage de variance expliquée est 75.9 %
- Le nombre d'estimés significatifs (étoiles) est de 11 sur 37 harmoniques.

- L'harmonique dominante dans le Golfe de Gabès au niveau de site de mesure à Gannouch est la constituante M2
- Son amplitude est 0.44 ± 0.02 m.
- Sa phase relative à TU est 84.75 ± 2.42 degrés
- Les harmoniques suivantes en ordre d'importance sont S2, K2, N2, K1 etc.

Il est maintenant possible, avec ces amplitudes et ces phases de prédire la marée à Ghannouch durant n'importe quelle période de temps dans le passé, au moment des mesures ou dans le futur.

Il y apparaît donc que l'onde M2 (12,42h) est dominante avec une amplitude de 44 cm. En

additionnant les amplitudes des composantes significatives on obtient une amplitude moyenne de 230 cm.

Le signal résiduel qui présente des fluctuations de haute fréquence notamment (vent et pression) ne sont pas visibles dans cette série. Tout laisse à croire que pendant l'installation de l'ADCP, il n'y a pas des changements importants de ces paramètres.

2. La houle

L'ADCP est équipé d'un module de houle directionnelle. La paramétrisation est la suivante : 2048 mesures avec une cadence de 2Hz (soit environ 17 minutes) et cela toutes les 60 minutes.

Le tableau II illustre la répartition des hauteurs (Hs) en fonction des périodes. Il y apparaît que les

périodes 4-5 secondes sont dominantes même si les hauteurs sont relativement faibles (< 30 centimètres).

La rose de la houle montre qu'il y a deux directions principales. La houle de direction Nord-Est présente 30% avec des amplitudes qui peuvent dépasser les 150cm (Figure 5). La houle de direction Sud-Ouest présente aussi des amplitudes de l'ordre de 150cm (figure 4).

Les roses des vents à Gabès enregistrées entre les années 1981 et 2004 montre que le vent dominant est de secteur Est à Nord-est (Figure 6). Ce résultat est tout à fait conforme à la direction de la houle de secteur Nord-est. Ce résultat est conforme à la bibliographie qui montre une houle au large de secteur Nord/nord-ouest et qui, en se réfractant dans le golfe, génère des houles de secteur Nord-est.

Tableau II: Caractéristiques de la houle dans le littoral de la région de Gabès

Hs(cm)/T(s)	<4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	>13	obs.
>100												
50-100												
30-50												
20-30		0.12%										0.12%
10-20		1.88%									0.12%	2.00%
9-10		0.35%									0.12%	0.47%
8-9		0.12%										0.12%
7-8		0.82%										0.82%
6-7	0.35%	1.17%										1.53%
5-6	1.53%	14.20%										15.73%
4-5	1.64%	54.69%										56.34%
3-4	0.12%	22.54%										22.65%
2-3		0.23%										0.23%
1-2												
0-1												
Obs.	3.64%	96.13%									0.23%	100.00%

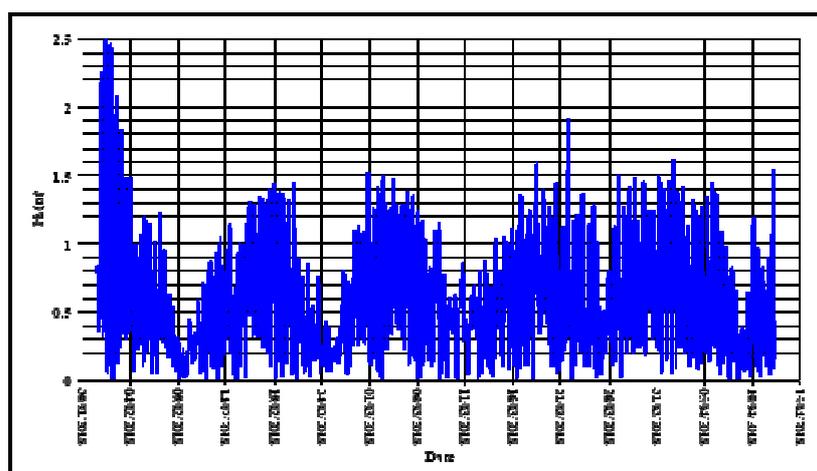


Figure 4: Hauteur de la houle enregistrée par l'ADCP

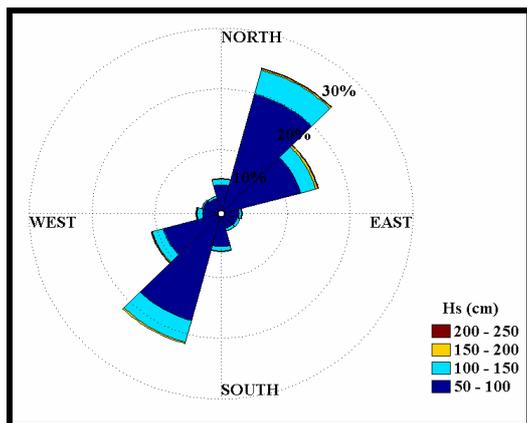


Figure 5: Rose de la houle enregistrée par l'ADCP

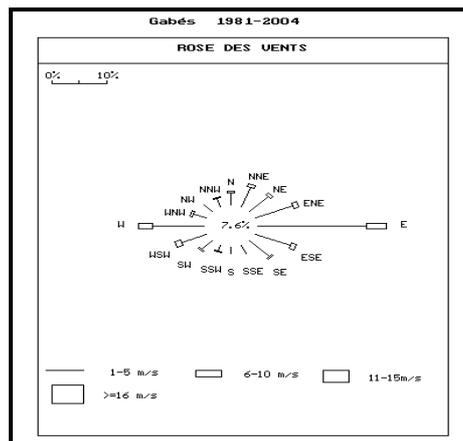


Figure 6: Rose des vents à Gabès

3. Le courant à Ghannouch

Les figures 7, 8 et 9 représentent l'évolution dans le temps du vecteur de la vitesse (stick diagram) et ceux respectivement à 1.673, 4.673 et 7.673 mètres de profondeur. Nous y notons ce qui suit :

- La marée et les autres signaux à haute fréquence sont importants puisqu'il n'y a pas une différence entre les séries brutes (figures 7a, 8a et 9a) et celles des hautes fréquences, y compris la marée (figures 7b, 8b et 9b). Les séries brutes (7a, 8a et 9a) et les séries de la basse fréquence (7c, 8c et 9c) sont différentes. La marée est donc importante à Ghannouch
- Les vitesses sont importantes sur toute la colonne d'eau ($> 20 \text{ cm.s}^{-1}$ en surface et $> 10 \text{ cm.s}^{-1}$ en profondeur).
- Sur toute la colonne d'eau, les directions s'alternent entre le Nord-ouest et le Sud-ouest. Cette alternance est continue dans toute la série durant l'enregistrement de l'ADCP. La présence de cette structure dans la région est le résultat de l'effet de la marée. En effet, ce phénomène est très important dans le golfe de Gabès et le marnage peut dépasser 2m dans la région de Gabès.

Nous pouvons constater une alternance dans la direction des courants entre le Nord-est et le Sud-ouest dans la tranche d'eau superficielle (-1.763m). Ceci est le signe d'un signal de marée. Le module de la vitesse est variable ; il s'intensifie jusqu'à atteindre les 60 cm.s^{-1} à certaines dates de l'enregistrement (Figure 7a). La série montre que les courants ont une direction variant du Nord-ouest au Sud-ouest mais à une certaine date de l'enregistrement (du 1 au 5 février) les courants prennent une direction unique (Nord-est) avec des vitesses plus intenses, ces intensifications sont certes générées par les vents et la houle.

La figure 7c présente le résultat de la variation de la vitesse et la direction des courants soumis aux forces de la houle, de la pression, du vent de houle (vent), dans la même période d'enregistrement du 31-01-2018 au 12-04-2018.

L'évolution de la vitesse et de la direction des courants à mi-profondeur (-4,763 m) montre une alternance dans la direction entre le Nord et le Sud et des vitesses variables qui dépassent les 15 cm.s^{-1} à certaines dates (Figure 7a). Entre le 12 et le 17 mars, la série montre des courants de direction Nord-est et Sud avec des vitesses de 20 cm.s^{-1} . Ces intensifications sont certes générées par le vent et la houle.

L'allure de l'évolution de la vitesse du courant à 4,763m de profondeur est la même que celle observée au niveau de la Figure 7. On note une alternance des vitesses et des directions des courants. La vitesse peut dépasser 20 cm.s^{-1} (figure 8b). Le courant s'intensifie pendant la période entre 13 et 17 février sous l'effet du vent et de la houle. Il y a une différence faible entre la série brute et la série des hautes fréquences. Les effets de la marée sont importants sur la circulation des eaux dans le golfe du Gabès. La circulation à la surface et à mi-profondeur des courants est due à l'effet conjugué de la marée, du vent et de la houle.

L'évolution de la vitesse et la direction des courants au fond (-7.763 m) montre une alternance dans la direction entre le Nord-est et le Sud-ouest et des vitesses moyennes de l'ordre de 15 cm.s^{-1} . La vitesse augmente et peut atteindre les 20 cm.s^{-1} entre le 22 et le 25 février (figure 9a). La polarisation de la vitesse constitue une situation exceptionnelle induite par des régimes particuliers, due à l'effet de la bathymétrie et des vents.

L'évolution de la vitesse et de la direction du courant (Figure 9b) au fond, montre une alternance durant la période de l'enregistrement avec des vitesses moyennes de l'ordre de 15 cm.s^{-1} . La vitesse augmente en quelques périodes de l'enregistrement et peut atteindre les 20 cm.s^{-1} . Ceci est dû à l'effet de la houle. Il n'y a pas une différence remarquable de la vitesse des courants entre la série brute et la série des hautes fréquences. La marée joue un rôle très important dans la circulation au fond. La Figure 8c montre l'évolution de la vitesse et de la direction des

courants au fond qui est dû à l'effet des vents et de la houle. Ces vitesses varient entre 5 et 10 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$. La circulation des eaux dans la région de Ghannouch est

gouvernée par l'effet conjugué de la marée et de la houle.

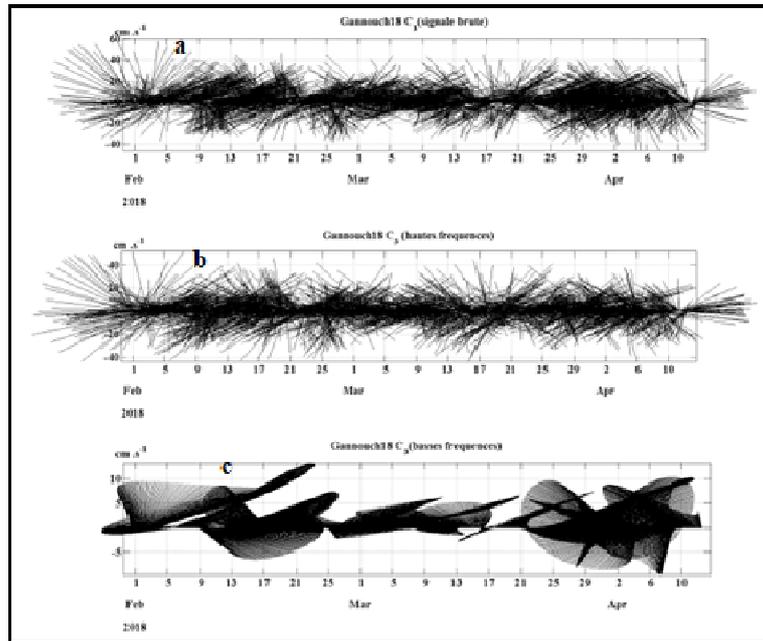


Figure 7: Evolution du vecteur de la vitesse à la surface au niveau de la cellule C3 à -1.673m

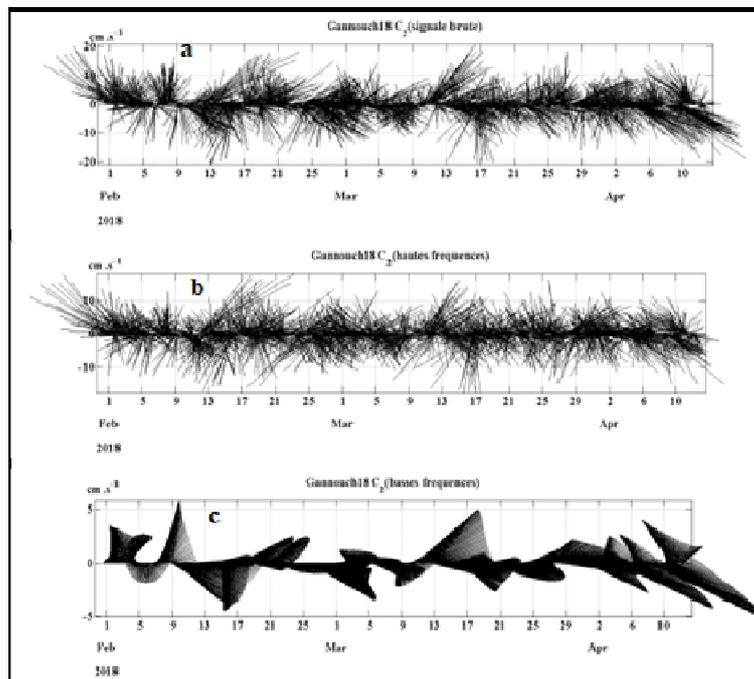


Figure 8: Evolution du vecteur de la vitesse à mi-profondeur au niveau de la cellule C2 à -4.673m

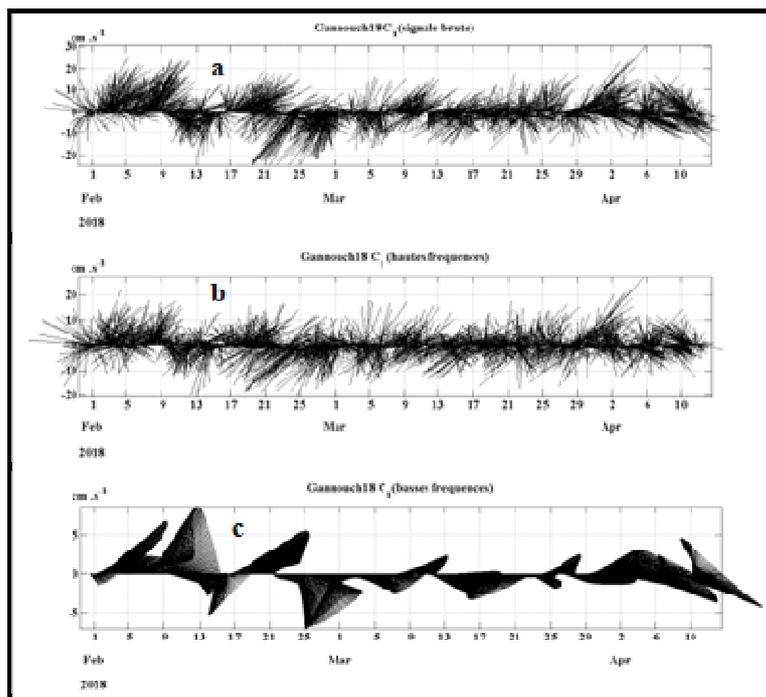


Figure 9: Evolution du vecteur vitesse en profondeur au niveau de la cellule C1 à -7,673m

Les Figures 10, 11 et 12 présentent les roses de courant à 1.763, 3.763 et 7.763 mètres de profondeur. Elles confirment ce que nous avons mentionné plus

haut à savoir la prédominance des directions Est/Nord-est en surface, Nord et Sud-est à mi-profondeur et Nord-est, Sud-ouest près du fond.

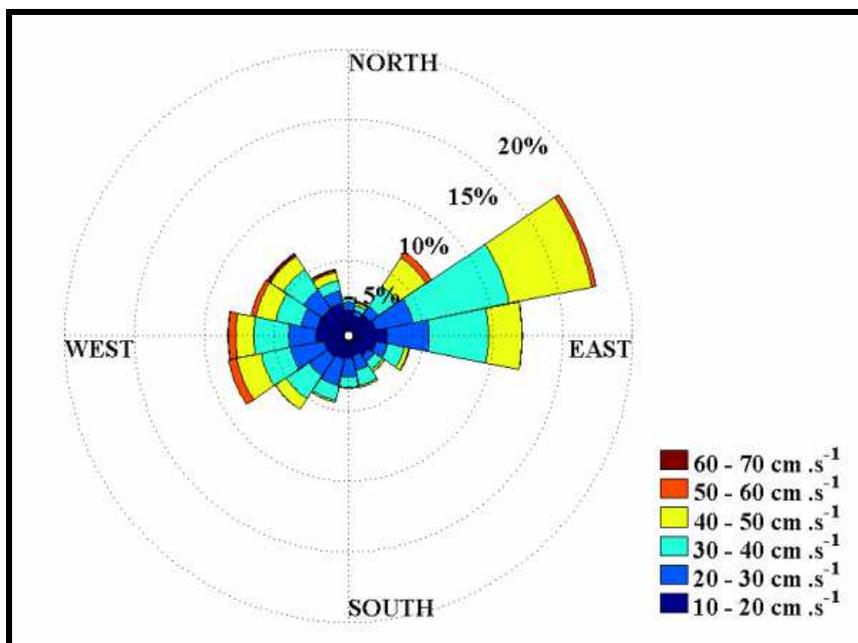


Figure 10: Les roses des courants d'eau à la surface à -1.673m

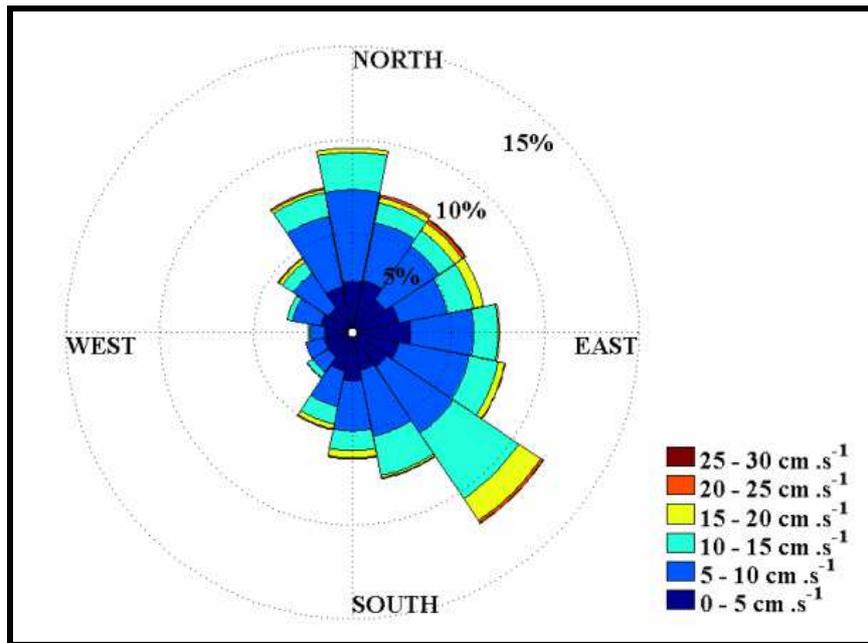


Figure 11: Les roses des courants d'eau à mi-profondeur à -4.673m

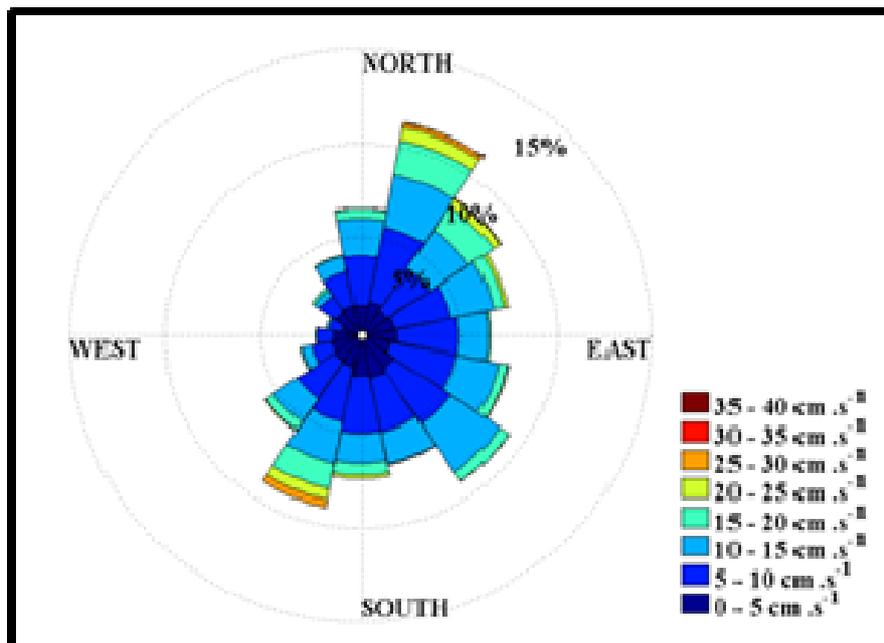


Figure 12: Les roses des courants d'eau en profondeur à -7.673m

Ce résultat revêt une importance capitale puisque pour la première fois des mesures in-situ mettent en évidence que les courants de la dérive littorale est parallèle à la côte et le courant est de direction Nord-Sud au fond pendant la période de l'enregistrement. Les figures 13, 14 et 15 montrent les séries de hautes fréquences de U et V (courant de marée) sont

analysées en appliquant la fonction empirique orthogonale (EOF). Cette analyse nous permet d'étudier la répartition des vitesses selon les deux axes Nord et Est.

On note que la direction des courants de la marée à la surface (-1,763 m) a un angle d'incidence de 27° par rapport à l'Est (Figure 12). Le courant principal est de

direction Nord-Est/ Sud-Ouest, perpendiculaire à la ligne de côte avec un courant de retour côte-large. La vitesse maximale suivant l'axe principal est de $27.1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ et celle suivant l'axe secondaire est de l'ordre de $16.3 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

On remarque aussi que l'ellipse de dispersion de vitesse est plus au moins allongée suivant son axe majeur et on peut considérer ainsi que l'écoulement principal est perpendiculaire à la côte de direction Nord-ouest/ Sud-est. En ce qui concerne l'écoulement mineur on remarque qu'il est parallèle à la côte.

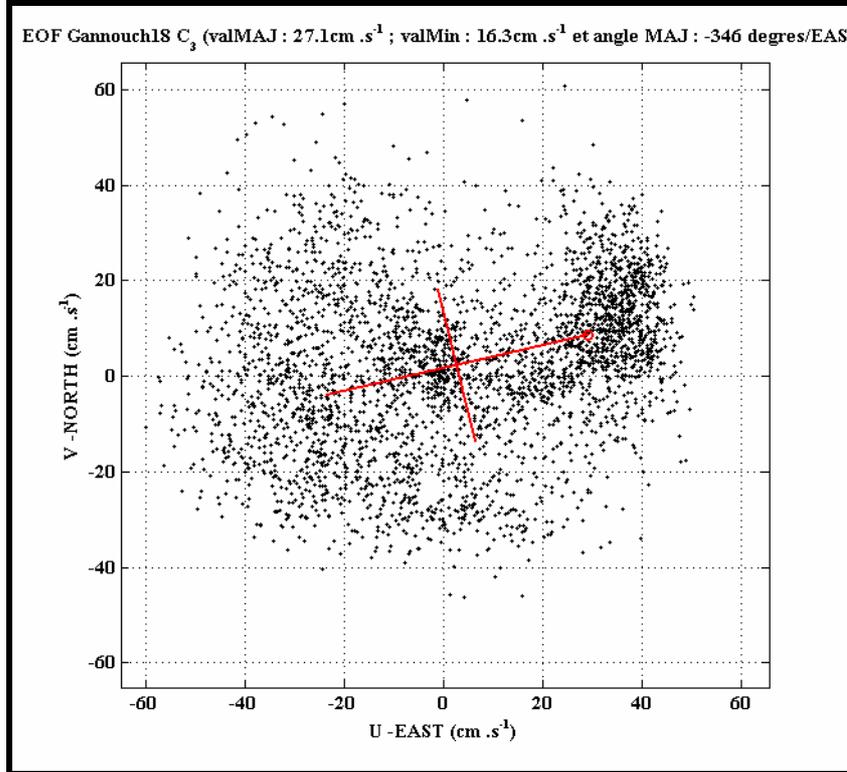


Figure 13 : l'EOF de la surface

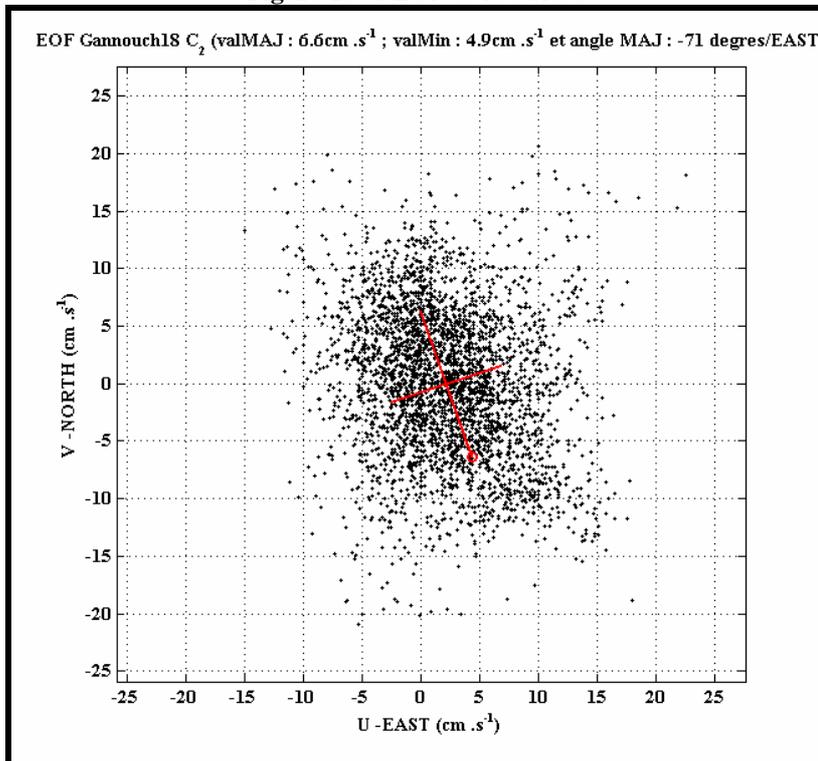


Figure 14: l'EOF de mi-profondeur

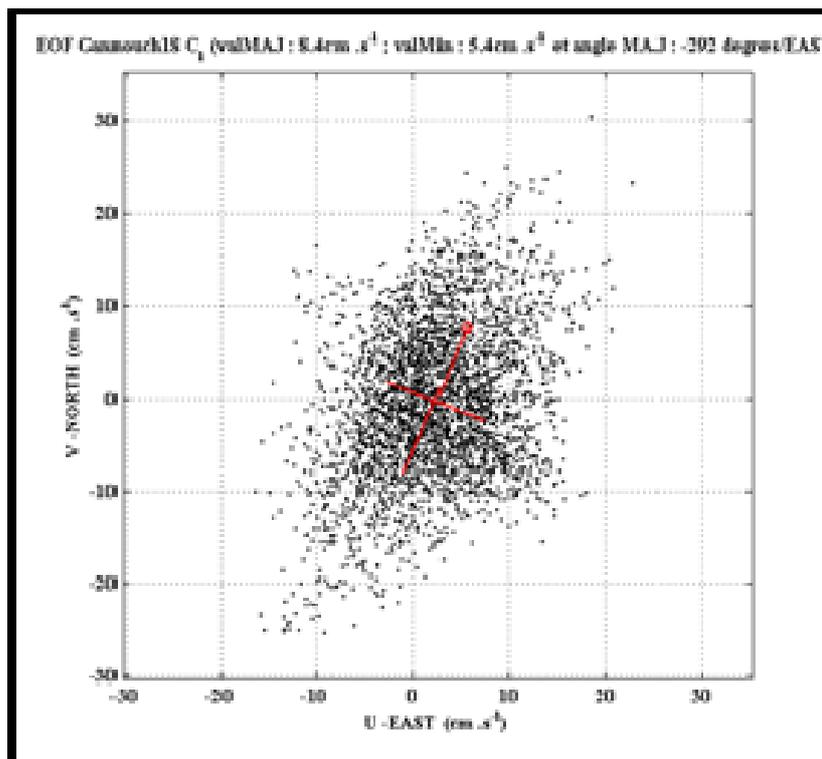


Figure 15 : l'EOF du fond

On note que la direction de l'écoulement dû à la marée à mi-profondeur a un angle d'incidence supérieur à 90° par rapport à l'est (Figure 14). Le courant principal est de direction Nord-Ouest/ Sud-Est qui suit l'isobathe à -20m. La vitesse maximale suivant l'axe principal est de l'ordre de 6.6 cm.s^{-1} et celle suivant l'axe secondaire est de l'ordre de 4.9 cm.s^{-1} .

On note que la direction de courant de marée au fond a un angle d'incidence de 47° par rapport à l'Est (Figure 15). Le courant principal est de direction Nord-Nord-Est/Sud-Sud-Ouest avec un courant de retour de direction Ouest-Nord-Ouest/Sud-Sud-Est. La vitesse maximale suivant l'axe principal est de l'ordre de 8.4 cm.s^{-1} et celle suivant l'axe secondaire est de l'ordre de 5.4 cm.s^{-1} .

CONCLUSION

L'analyse des séries temporelles obtenues dans la zone de Ghannouch nous ont permis d'esquisser les caractéristiques dynamiques qui prévalent dans la région d'étude. En particulier, il a été démontré le marnage important (230cm) et la présence des courants de marée assez forte de l'ordre de 15 cm.s^{-1} et dont la direction s'alterne entre le Nord-Ouest et l'Est-Nord-Est. En outre, les courants de basse fréquence (houle, vent et pression) sont de l'ordre de 10 cm.s^{-1} lors de la période de l'enregistrement.

Il est tout à fait plausible que les courants dû au vent et de la houle sont beaucoup plus importants pendant les vents forts et les tempêtes et peuvent jouer un rôle assez important dans la circulation dans le golfe de Gabès.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdennadher, J., Boukthir, M., 2006. Numerical simulation of the barotropic tides in the Tunisian shelf and the strait of Sicily. *J. Mar. Syst.* 63, 162–182.
- Atoui A. 2008. Etude de la dynamique sédimentaire dans la frange littorale de Djerba Ras Taguermess – Ras Marmour, Mémoire de mastère, Hydrodynamique et modélisation des environnements côtiers. Ecole nationale d'ingénieur de Tunis, 116p.
- Ben Ismail, C., Sammari, G.P., Gasparini, K., Béranger, M., Brahim, L., Aleya, L., 2012. Water masses exchanged through the Channel of Sicily: evidence for the presence of new water masses on the Tunisian side of the channel. *Deep-Sea Res. I* 63, 65–81.
- Brahim, M., Atoui, A., Sammari, C., Aleya, L., 2014. Surface sediment dynamics along the eastern coast of Djerba Island (Gabes Gulf, Tunisia). *J. Afr. Earth Sci.* 92, 45e54.
- Brahim, M., Atoui, A., Sammari, C., Aleya, L., 2015. Surface sediment dynamics along with

- hydrodynamics along the shores of Tunis gulf (north-eastern Mediterranean). *J. Afr. Earth Sci.* 103, 30e41.
- Darmoul B. et al., 1980. Effet des rejets industriels de la région de Gabès (Tunisie) sur le milieu marin récepteur. *Bull. Inst. Nat. Scient. Océanogr. Pêche. Salammbô* 7. 5-61.
- Darmoul B., 1988. Pollution dans le Golfe de Gabès (Tunisie). Bilan de six années de surveillance (1976-1981). *Bull. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche, Salammbô* 15. 61-83.
- Manzella G.M.R., Gasparini G.P. et M. Astraldi, 198. Water exchange between Eastern and Western Mediterranean through the Strait of Sicily. *Deep Sea Res.* Vol 35, N° 6, pp. 1021-1035.
- Molines J. M., 1991. Modelling the barotropic tides in the strait of Sicily and tunisian shelf. *Oceanol. Acta*, 14, 3, pp. 241-252.
- Molonier R. et Picard J. 1952. Recherches sur les herbiers des phanégames marines du littoral méditerranéen Français. *Annale de l'Institut Océanographique Paris*, 27. (3) 157-234.
- Oueslati, A., 2004. Littoral et aménagement en Tunisie. Des enseignements de l'expérience du vingtième siècle et de l'approche géoarchéologique à l'enquête prospective. *Faculté des Sciences humaines et Sociales Tunis*. ISBN 534p.
- Peres J.M. et Picard J., 1956. Etude sur le seuil ; Siculo-tunisien. *Ann.Inst.océanogr.*, Paris, t.32 : 233-264.
- POEM group, 1992. General circulation of the eastern Mediterranean. *Earth-Science Reviews*, 32: 85-309. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
- Tsimplis, M.N., Proctor, R., Flather, R.A., 1995. A two-dimensional tidal model for the Mediterranean Sea. *J. Geophys. Res.* 100, 16223e16239.
- Vincent P., 1992. Barotropic tide in the Mediterranean Sea from a finite element numerical model. *J. Geophys. Res.*
- Marai G. (2005), Etude qualitative et quantitative de la marée dans le golfe de Gabès, *MASTER ENIT*, 2005, p42
- Masmoudi S., Yaich Ch. et Yamoun M. (2005), Evolution et morphodynamique des îles barrières et des flèches littorales associées à des embouchures microtidales dans le Sud-Est tunisien, *Bulletin de l'institut Scientifique, section Sciences de la Terre*, 65-81.
- Miossec J-M & Paskoff R. (1979), L'érosion des plages dans le sud tunisien : exemples à Djerba (côte est et sud-est) et à Zarzis, *Revue Tunisienne de Géographie*, 2, pp137-155.
- Paskoff R. (2004), L'érosion des côtes: le cas des plages de l'île de Djerba (Tunisie), *la Houille Blanche/N°1-2004*
- Sammari Ch., Koutitonsky V. et Moussa M. (2006), Sea level variability and tidal resonance in the Gulf of Gabès, Tunisia, *Continental Shelf Research*, 26, 2006, pp338-350
- William J. Emery et Richard E. Thomson (2001), *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*, ELSEVIER, 638p.