

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES DE L'IMPACT DES REJETS D'UNE USINE CHIMIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT MARIN PÉLAGIQUE ET BENTHIQUE DE LA CÔTE LIBANAISE

M. Fakhri, G. Khalaf, M. Abboud - Abi Saab, R. Mouawad, C. Abi Chahine et M.
Hamzé

Conseil National de la Recherche Scientifique, Centre de Recherches Marines, B.P. 534,
Batroun, Liban
milosman@cnrs.edu.lb

(Received 30 November 2010 - Accepted 13 May 2011)

RÉSUMÉ

L'usine qui produit des engrais phosphatés et située sur la côte est de la Méditerranée, menace, par ses rejets, une zone du milieu marin de la région de Batroun. Des analyses des paramètres physico-chimiques et biologiques ont été effectuées simultanément aux niveaux pélagique et benthique.

L'effet instantané des rejets de l'usine sur l'eau de mer des sites influencés directement ou indirectement par les rejets de l'émissaire nord-ouest a été marqué par des variations significatives de la température de l'eau (élévation de 3°C), du pH (baisse au-dessous de 8) et des teneurs en orthophosphate (valeur maximale 83.95 µmol/L).

Dans le sédiment des sites proches de l'usine, le phosphate inorganique a montré des concentrations élevées (valeur maximale 15215 µg/g), alors que des valeurs relativement élevées ont été aussi trouvées dans le sédiment des sites situés en dehors de l'influence directe de l'usine. Le sédiment était acide (pH minimal de 5.64) en face de l'émissaire ouest soupçonné être la source principale du phosphogypse.

Le peuplement de la méiofaune, utilisé comme bioindicateur, a été affecté négativement dans le sédiment de toute la région étudiée, surtout en face de l'émissaire de phosphogypse où sa densité était la plus faible (35 ind/cm²).

L'usine de phosphate continue d'être une source de contamination du milieu marin de la région de Batroun malgré les mesures de protection de l'environnement adoptées récemment par sa direction administrative.

Mots-clés: Méditerranée orientale, Liban, milieu pélagique, milieu benthique, pollution chimique, méiofaune

ABSTRACT

The chemical plant, located at the eastern coast of the Mediterranean Sea and producing phosphate fertilizers, represents a real threat for the marine environment of Batroun region. Analyses of various physico-chemical and biological parameters were carried out simultaneously at pelagic and benthic ecosystems.

Discharges of the north-western outfall affect the surrounding sea water. Temperature rises up to 3 °C, pH may drop below 8 and orthophosphate concentration may exceed 83.95 µmol/L.

The sediment of the sites directly affected by the plant's outfalls showed low pH values such as 5.64 in front of the western emissary, the main source of phosphogypsum discharges. The relatively high concentrations of inorganic phosphate were measured in the sediment of all the sampling sites with a maximum value of 15215 µg/g in the vicinity of the plant.

The meiofauna population, used as bioindicator, was affected negatively in the sediment of the whole studied area, especially in front of the phosphogypsum emissary where its density was the lowest (35 ind/cm²).

The phosphate's plant continues to be a permanent source of contamination of the marine environment of Batroun region in spite of the environmental protection measures recently adopted by the factory.

Keywords: Lebanon, pelagic ecosystem, benthic ecosystem, chemical pollution, meiofauna

INTRODUCTION

La côte libanaise est menacée par plusieurs types de pollution (domestique, industrielle, agricole, urbaine...) qui sont des causes importantes de dégradation de son milieu naturel, aquatique et terrestre; cependant les industries restent de loin la principale source de cette dégradation, car, le plus souvent, leurs rejets liquides, solides et gazeux sont émis sans aucune forme de traitement (Ecodit, 2001; Fakhri *et al.*, 2008a).

L'industrie chimique, située dans la banlieue nord de la ville de Batroun à 55 km au nord de Beyrouth, est la plus grande société industrielle au Liban. Elle produit des engrais phosphatés, de l'acide phosphorique et de l'acide sulfurique. Mille cinq cents tonnes de roches de phosphate à 28 % de P₂O₅ sont utilisées par jour pour la production de l'acide phosphorique (pour une production annuelle dépassant les 150 mille tonnes de P₂O₅). La quantité de soufre utilisée est estimée à 400 tonnes/an pour produire environ 475000 litres par an d'acide sulfurique. Le volume d'eau utilisée dans le refroidissement des installations est estimé à 12000 m³ par jour. Ce qui caractérise cette usine c'est la production d'une partie de sa propre électricité à partir de la vapeur d'eau (11 Mwatt/h).

Trois principaux émissaires localisés respectivement du côté sud, du côté ouest et du côté nord-ouest de l'usine, envoient leurs rejets des sous-produits directement dans le milieu marin. Ces émissaires rejettent environ 950 tonnes de phosphogypse par jour (METAP /Tebodin, 1998), dont 5% sont recyclés par d'autres industries (les cimenteries libanaises) et de l'eau de refroidissement qui élève la température de l'eau de mer (Fakhri, 2005).

Il faut noter que le vent joue un rôle important dans le transport et la dispersion en surface des contaminants émis par l'usine. Le vent sud-ouest, le plus fréquent au Liban, crée des courants de surface qui entraînent les contaminants loin vers le nord de l'usine. Alors que le vent nord crée des courants de surface vers le sud de l'usine (Fakhri *et al.*, 2011).

Dans le but de déterminer si l'usine d'engrais phosphatés continue à être toujours un agent polluant pour le milieu marin de la région de Batroun, on va essayer d'évaluer ses

conséquences néfastes en analysant et étudiant un certain nombre de paramètres physico-chimiques et biologiques, à la fois dans le milieu pélagique et dans le sédiment benthique considéré comme un véritable intégrateur à long terme de l'impact environnemental dans un milieu dynamique et complexe (Birch *et al.*, 1999).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Stratégie de travail

Une mission en mer a été réalisée en juin 2009, dans la zone côtière de Batroun, en utilisant le bateau scientifique libanais "CANA-CNRS, Lebanon". Dix sites d'échantillonnage S1 à S10 (Figure 1), ont été choisis par rapport à leur proximité et leur distance des différents effluents de l'usine (Tableau 1).

A chaque site, les paramètres physico-chimiques (température, pH et orthophosphate) ont été analysés dans les 2 milieux, pélagique et benthique; le phosphore inorganique et la méiofaune ont été uniquement étudiés dans le milieu benthique.

Les échantillons d'eau de mer ont été collectés à 50 cm au-dessous de la surface dans des bouteilles en polyéthylène de 250 ml et conservés dans une glacière jusqu'au transfert au laboratoire où ils ont été analysés ultérieurement. Les prélèvements du sédiment ont été effectués à l'aide des carottiers par plongée à chaque station choisie ; seulement les 5 premiers centimètres de surface ont été considérés. Les échantillons pour chaque paramètre ont été analysés en *duplicata*.

A noter que la rivière saisonnière Al-Jaouz était, durant la période de l'échantillonnage, à l'étiage total.



Figure 1. Localisation des différents sites de prélèvement S1 à S10 dans la région côtière de Batroun (nord du Liban).

TABLEAU 1

Localisation et Description des Différents Sites de Prélèvement (S1 à S10) dans la Région Côtière de Batroun (Nord du Liban)

Site	Profondeur (m)	Latitude N34°	Longitude E35°	Distance à l'usine (m)	Épaisseur du sédiment (cm)
S1	11	15.687'	39.324'	1234 du rejet sud	14
S2	6.5	16.150'	39.300'	379 du rejet sud	19
S3	3.5	16.321'	39.295'	62 du rejet sud	40
S4	11	16.184'	39.139'	310 du rejet sud-ouest	25
S5	3.5	16.415'	39.122'	50 du rejet ouest	>100
S6	3.5	16.560'	39.180'	60 du rejet nord-ouest	14
S7	8	16.673'	39.055'	250 du rejet nord-ouest	17
S8	3	16.754'	39.227'	416 du rejet nord-ouest	16
S9	3.5	16.845'	39.076'	600 du rejet nord-ouest	41
S10	20	17.096'	39.274'	1115 du rejet nord-ouest	42

La profondeur des sites a été estimée à l'aide d'un échosondeur, l'épaisseur du sédiment a été évaluée par l'insertion d'un bâton gradué.

Méthodes d'analyse

La température et le pH de l'eau et du sédiment ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multiparamètre de type WTW.

Le phosphate inorganique dans le sédiment a été analysé selon la méthode d'Aspila *et al.* (1976). Une masse de 0.3 g du sédiment, lyophilisé et broyé, est transférée dans un Erlen-Meyer de 100 mL et mélangée avec 50 mL d'acide chlorhydrique (HCl) 1 N. Le mélange est agité de 14 à 18 heures dans un agitateur à bac d'eau à la température ambiante. Ensuite, 10 mL de l'extrait sont transférés dans un tube à centrifugation et centrifugés pendant 5 minutes. L'extrait clarifié est dilué 10 fois et analysé selon la méthode colorimétrique de Murphy et Riley (1962) pour obtenir la concentration du phosphate inorganique dans le sédiment. Cette même méthode colorimétrique est utilisée pour le dosage de l'orthophosphate dissous dans l'eau par spectrophotométrie.

L'extraction et l'énumération de la méiofaune ont été réalisées en vidant le sédiment dans des flacons en polypropylène et fixé au formol à 5 %, où il a été neutralisé à l'hexaméthylène tétramine et coloré durant 24 heures par une solution de Rose Bengale. Ensuite, le contenu est versé sur deux tamis de mailles respectives de 1 et 0.04 mm. Le ludox est ajouté durant les centrifugations où le surnageant est éliminé et le culot concentré en méiofaune est récupéré. Le culot est versé dans une cuve de Dolfus où les animaux sont comptés sous une loupe binoculaire. Les résultats sont exprimés en nombre d'individus par cm^2 (Vitiello & Dinet, 1979).

RÉSULTATS

Température

La température varie de 24.7 °C à 25.8 °C en allant du site S1 au site S10 à l'exception des deux sites S6 et S8 où la température a atteint des valeurs relativement élevées de 27.8 °C et 27.1 °C respectivement; donc des différences de température (ΔT) allant de 2 °C à 3 °C (Figure 2).

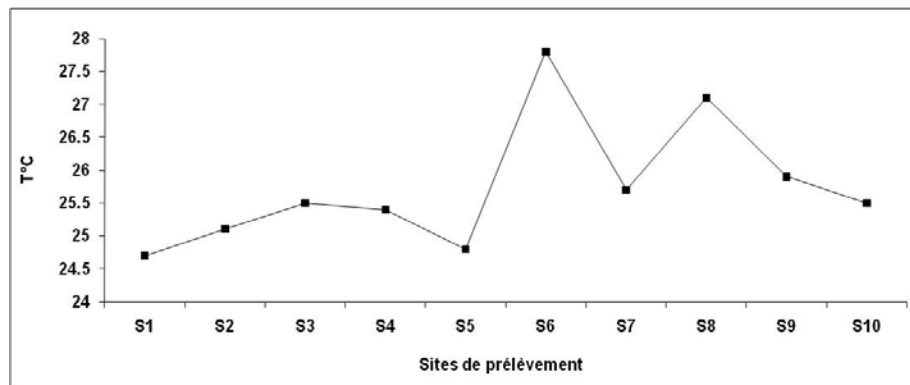


Figure 2. Température de l'eau (°C) aux différents sites de prélèvement dans la région marine de Batroun en 2009.

pH de l'eau de mer et pH du sédiment

Les valeurs du pH de l'eau et du sédiment aux différents sites de prélèvement sont représentées dans la figure 3. Le pH de l'eau aux cinq premiers sites, S1 à S5, varie entre 8.05 et 8.13. A partir du site S6, les valeurs du pH diminuent pour atteindre 7.81 (S6), 7.80 (S7), 7.66 (S8), 7.96 (S9) et 7.97 (S10).

Les valeurs du pH du sédiment ont fluctué entre 7.31 et 7.91 à l'exception des deux sites S5 et S6 où le pH a subi de fortes chutes avec des valeurs respectives de 5.64 et 6.94.

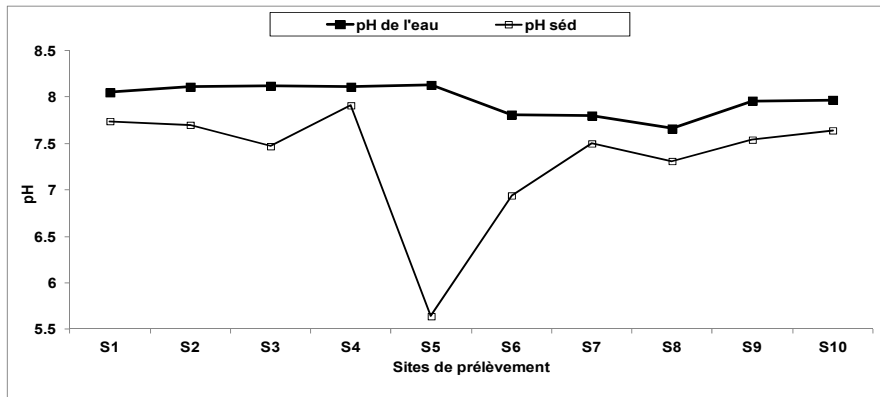


Figure 3. pH de l'eau et du sédiment aux différents sites de prélèvement.

Orthophosphate dans l'eau de mer et phosphate inorganique dans le sédiment

En se dirigeant du site S1 au site S5, il y a eu une augmentation progressive de la concentration en orthophosphate (Figure 4) qui est passée de 0.13 $\mu\text{mol/L}$ à 3.37 $\mu\text{mol/L}$. Au site S6 l'augmentation est accentuée; la concentration a atteint une valeur de 54.52 $\mu\text{mol/L}$. Au site S7 la concentration a diminué (39.79 $\mu\text{mol/L}$) pour augmenter de nouveau au site S8 et atteindre la valeur maximale (83.95 $\mu\text{mol/L}$). Aux deux derniers sites, S9 et S10, les concentrations en orthophosphate (43.05 et 39.12 $\mu\text{mol/L}$ respectivement) étaient aussi élevées mais inférieures à celles mesurées aux sites S6 et S8.

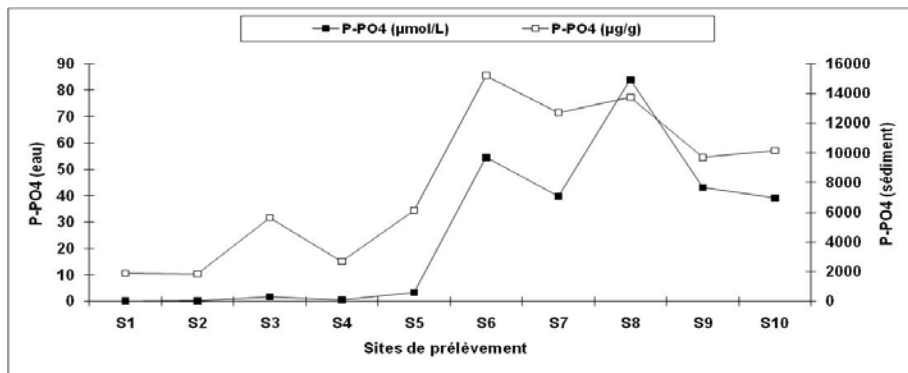


Figure 4. Variations des concentrations de l'orthophosphate dans l'eau et du phosphate inorganique dans le sédiment aux différents sites de prélèvement.

La teneur du sédiment en P-PO_4 inorg (Figure 4) était de 1905 $\mu\text{g/g}$ au site S1 et de 1851 $\mu\text{g/g}$ au site S2. Au site S3, la concentration en P-PO_4 inorg a atteint 5632 $\mu\text{g/g}$, puis elle a

chuté au site S4 pour atteindre une valeur de 2702 $\mu\text{g/g}$. Au site S5, la concentration a augmenté de nouveau jusqu'à 6126 $\mu\text{g/g}$. A partir du site S6 les teneurs du sédiment en P-PO_4 inorg étaient extrêmement élevées; les valeurs obtenues aux sites S6, S7, S8, S9, et S10 étaient de 15215, 12722, 13756, 9690 et 10176 $\mu\text{g/g}$ respectivement.

Méiofaune

La densité du peuplement méiofaunistique dans le sédiment (Figure 5) a fluctué entre un minimum de 35 ind/cm^2 au site S5 et une valeur maximale de 1429 ind/cm^2 au site S2 avec une densité variant entre 210 et 759 ind/cm^2 pour les autres sites.

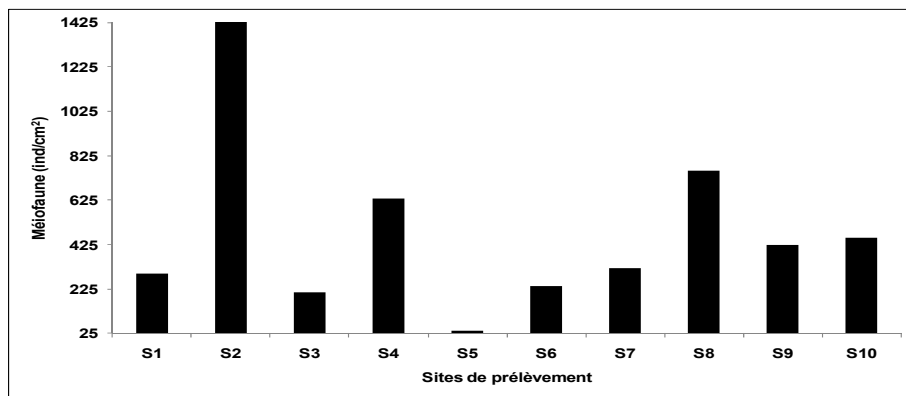


Figure 5. Variations de la densité de la méiofaune aux différents sites de prélèvement.

Etude des corrélations entre les différents paramètres

Pour établir les interactions entre les différents paramètres physico-chimiques, chimiques et biologiques dans le milieu pélagique et le milieu benthique, une matrice de corrélation a été établie par le logiciel SPSS[®] 11 sur Windows[®] selon le test de signification du coefficient de corrélation des valeurs critiques $r_{1-\alpha}$ aux niveaux de signification $\alpha = 0.05, 0.01, 0.001$ (Tableau 2).

La température de l'eau a présenté une corrélation négative et hautement significative avec le pH de l'eau ($r = -0.79$; $k=8$; $P < 0.01$) et une corrélation positive et hautement significative avec le phosphate de l'eau et du sédiment ($r = +0.82$; $k=8$; $P < 0.01$). Une très forte corrélation négative s'est établie entre le pH de l'eau et la concentration du phosphate dans l'eau ($r = -0.95$; $k=8$; $P < 0.001$) et dans le sédiment ($r = -0.87$; $k=8$; $P < 0.001$). De même une corrélation positive et très hautement significative s'est établie entre la concentration du phosphate dans l'eau et celle dans le sédiment ($r = +0.91$; $k=8$; $P < 0.001$).

TABLEAU 2

Matrice de Corrélation des Différents Paramètres Physico-Chimiques et Biologiques de la Région Marine de Batroun en 2009

	T°C	pH-eau	pH-séd	PO4-eau	PO4-séd	Méiofaune
T°C	1	-0.79**	-0.03	0.82**	0.82**	-0.03
pH-eau		1	-0.05	-0.95***	-0.87***	0.01
pH-séd			1	-0.01	-0.21	0.48
PO4-eau				1	0.91***	-0.01
PO4-séd					1	-0.29
Méiofaune						1

($r=0.5494$) * $P<0.05$; ($r=0.7155$) ** $P<0.01$; ($r=0.8467$) *** $P<0.001$ (K=8)

DISCUSSION

L'élévation de la température ($\Delta T \approx 3$ °C) des eaux au voisinage du site S6 par rapport aux sites S1, S2, S3, S4 et S5 provient surtout des eaux de refroidissement des turbines de l'usine, émises par l'effluent nord-ouest, qui ont causé un certain déséquilibre thermique (Abboud-Abi Saab & Attalah, 1996). Alors que la température élevée à S8 ($\Delta T \approx 2$ °C), délimitée par la jetée qui forme une zone d'accumulation au nord de l'usine, peut être due à l'immobilité relative des eaux chaudes provenant aussi de l'usine. La fluctuation de la température était faible aux autres sites situés à l'abri de toute influence thermique de l'émissaire nord-ouest. Les valeurs élevées mesurées à ces deux stations S6 et S8 s'intercalent dans la limite des valeurs obtenues lors d'une étude précédente effectuée dans cette région de Batroun entre 2001 et 2003 (Fakhri, 2005) où l'application du Z test de Mann-Whitney sur les distributions de la température de ces deux stations a mis en évidence des différences significatives avec les autres stations. Donc l'usine paraît continuer à jouer, un rôle dans la caléfaction des eaux de mer et, par suite, entrainer un effet nocif sur l'ensemble de l'écosystème. L'effet de la rivière Al-Jaouz était entièrement négligeable puisque, durant ce mois, elle était à l'étiage total.

Au niveau pélagique, le pH de l'eau aux 5 premiers sites (S1 à S5) était proche des valeurs du pH trouvées naturellement dans les eaux marines libanaises (Fakhri *et al.*, 2005). A partir du site S6 le pH a eu des valeurs inférieures à 8 (pH= 7.81). Surtout que cette station a présenté dans une étude antérieure une différence statistique significative ($n=26$, $P<0.05$) avec les autres stations de la région de Batroun (Fakhri, 2005). Ceci prouve que l'émissaire nord-ouest, par la nature et l'ampleur de son débit, continue à exercer un effet acidifiant sur presque tous les sites localisés au nord-ouest de l'usine (S6 à S10). Concernant le pH des eaux du site S3 la valeur (8.12) était très différente des valeurs mesurées au même site et à la même période comme par exemple en 2002 (6.82) (Fakhri, 2005). Deux hypothèses peuvent

expliquer ce changement dans les valeurs du pH: soit un changement du rythme de fonctionnement de l'usine, soit qu'au jour de l'échantillonnage l'usine a pris des précautions pour diminuer ses rejets d'acide.

Au niveau benthique, à l'exception des deux sites S5 et S6 les valeurs du pH du sédiment des autres sites sont comparables à celles que l'on trouve dans le sédiment des fonds (≈ 7.50) non influencés par des rejets acides (Gobert *et al.*, 2003). Le faible pH du sédiment à S5 (5.60) est dû au dépôt de particules du phosphogypse imbibées d'acide en provenance du rejet ouest qui se déposent au fond et s'adhèrent aux granules du sédiment. Alors que le pH relativement faible à S6 (6.94) est dû probablement au rejet acide de l'émissaire nord-ouest qui imbibe les particules en suspension dans l'eau qui se décantent par la suite. De ce qui précède il s'en suit que les rejets acides de l'usine ont eu un effet direct sur le pH de l'eau et indirect sur le sédiment. En effet l'eau et le sédiment les plus acides ont été trouvés aux sites S6 et S5 respectivement. Aucune corrélation significative n'a été établie entre le pH de l'eau et celui du sédiment (Tableau 2). En effet l'eau à faible pH ne peut pas avoir d'effet significatif sur le sédiment, car elle serait diluée par l'effet tampon de l'eau de mer (Darmoul *et al.*, 1980), surtout que les variations du pH se déroulent, en général, entre l'eau interstitielle et l'eau sus-jacente, donc en situation d'équilibre (Laborde & Romano, 1983).

L'orthophosphate dissous dans l'eau de mer est un élément nutritif essentiel à la vie aquatique qui constitue souvent le facteur limitant à la production primaire du cycle trophique (Berland *et al.*, 1980). On remarque qu'au site S3, la concentration était de $1.73 \mu\text{mol/L}$ alors que dans une étude précédente (Fakhri, 2005), la valeur moyenne des concentrations en orthophosphate au même site était de $3.86 \mu\text{mol/L}$ avec une concentration maximale enregistrée en 2002 de $4.81 \mu\text{mol/L}$. Donc la valeur unique de phosphate obtenue à cette station durant cette étude montre bien que l'émissaire sud demeure toujours une source assez importante d'orthophosphate et confirme ce qui a été démontré dans un travail antérieur (Fakhri, 2005) concernant la différence statistique significative ($n=26$, $P<0.05$) lorsque cette station S3 fut comparée avec les autres stations plus ou moins éloignées de l'émissaire sud de l'usine. Les fortes concentrations observées à partir du site S6 sont dues à l'impact de l'émissaire nord-ouest qui paraît être le responsable de cet enrichissement en orthophosphate. La valeur la plus élevée est notée à S8 ($83.95 \mu\text{mol/L}$); ce site correspond à une zone d'accumulation d'eau piégée par la jetée. Il faut noter que les moyennes annuelles aux sites S6 et S8 en 2003 étaient de 24.03 et $26.65 \mu\text{mol/L}$ respectivement et que ces deux stations représentaient par l'application de Z-test de Mann-Whitney une différence significative ($n=26$, $P<0.05$) avec les autres stations (Fakhri, 2005). Donc il paraît que l'émissaire nord-ouest qui a constitué toujours une source principale de contamination aigue en orthophosphate continue à l'être et que les concentrations étaient de loin plus élevées que celles normalement trouvées dans les eaux libanaises (Abboud-Abi Saab *et al.*, 2008).

Les concentrations du phosphate inorganique ($\text{P-PO}_4_{\text{inorg}}$) dans le sédiment des sites localisés au sud de l'usine (S1 à S3) étaient élevées mais plus faibles que celles mesurées dans les autres sites soumis à l'influence directe et indirecte des rejets ouest et nord-ouest de l'usine. Le rejet ouest en face du site S5 était la principale source de phosphogypse; surtout

qu'un sondage du fond de la partie située en face de cet émissaire a montré que le phosphogypse s'étendait sur environ 1000 m² avec une épaisseur dépassant le 1 m juste en face de l'usine (Tableau 1). Le sédiment des sites S6, S7, S8 a montré des concentrations assez élevées en P-PO_{4inorg}, parce qu'il est fortement imprégné par l'orthophosphate des eaux de la région. Par comparaison avec les concentrations du P-PO_{4 inorg} (entre 225 et 6650 µg/g), mesurées dans le sédiment d'une zone de la Méditerranée fortement contaminée par les rejets de l'usine d'engrais phosphaté de Gabès (Tunisie) (Darmoul *et al.*, 1980), on remarque que le sédiment de la région de Batroun est excessivement riche en phosphate, surtout au niveau des sites sous l'influence directe des rejets de l'usine.

La méiofaune s'est montrée susceptible aux rejets de cette usine. Sa densité était faible dans la plupart des sites. Les résultats obtenus correspondaient à ceux obtenus précédemment aux mêmes sites où la densité de méiofaune a varié entre une valeur minimale nulle à S5 et une valeur maximale de 2500 ind.10 cm⁻² à S2 (Fakhri *et al.*, 2008b). Ceci est dû aux rejets de phosphogypse considéré comme déchet toxique et nuisible pour les organismes marins vivants et plus spécialement la méiofaune.

Les corrélations de la température, négatives avec le pH de l'eau, et positives avec le phosphate dans l'eau et dans le sédiment, confirment que l'usine continue à représenter une source permanente de contamination chimique. La forte corrélation négative entre le pH de l'eau et la concentration en phosphate dans l'eau et dans le sédiment a confirmé une caractéristique essentielle de l'usine qui se traduit par des rejets qui sont plus ou moins acides et riches en phosphate. Donc plus l'eau est acide, plus elle est riche en phosphate. Alors que la corrélation positive et hautement significative entre les concentrations de phosphate dans le sédiment et celles dans l'eau de mer amène sans aucune doute à la preuve que le sédiment est un milieu intégrateur à long terme ; il accumule avec le temps les concentrations en orthophosphate (Birch *et al.*, 1999) même en présence d'une dynamique (turbulence, courant, pluie et vagues) assez marquée des eaux dans cette région du Liban Nord.

L'usine, par les résultats obtenus, semble partager la région marine de Batroun en 2 zones. La zone localisée au sud de l'usine est de loin beaucoup moins influencée par les rejets que la zone localisée au nord de l'usine. Ceci revient surtout au courant qui se dirige généralement au Liban du sud vers le nord et au vent sud-ouest le plus fréquent. Ces 2 facteurs associés aux décharges et à l'ampleur des émissaires de l'usine sont responsables de la concentration de la contamination dans la zone marine nord de Batroun.

CONCLUSION

Cette usine chimique continue à constituer une menace permanente au milieu marin de la région de Batroun. L'effet des rejets de cette usine crée toujours une zone de perturbations provoquant des modifications des caractéristiques abiotiques et biotiques, aussi bien dans le milieu pélagique que dans le milieu benthique. Ceci se traduit par une élévation de la température de l'eau, une diminution du pH de l'eau et du sédiment avec des

concentrations élevées en orthophosphate et en phosphate inorganique surtout dans la zone soumise à l'influence directe des émissaires ouest et nord-ouest de l'usine. Ces perturbations aigues ont affecté la densité des peuplements méiofaunistiques.

L'ensemble de ces données constitue des indices tangibles de l'impact de l'usine, considérée comme une source de contamination principale du milieu marin plus évidente au nord de Batroun qu'au sud. Les mesures environnementales prises par la direction de cette usine ne semblent pas alléger les dégâts à court terme.

RÉFÉRENCES

- Abboud-Abi Saab, M., Attalah, A. 1996. Impact de plusieurs sources de pollution sur les populations microplanctoniques des eaux côtières de Batroun. *Leb. Sci. Res. Rep.*, 1(1): 51-61.
- Abboud-Abi Saab, M., Fakhri, M., Sadek, E., Matar, N. 2008. An estimate of the environmental status of Lebanese littoral waters using nutrients and chlorophyll-*a* as indicators. *Leb. Sci. J.*, 9(1): 43-60.
- Aspila, K.I., Agemian, H., Chau, A.S.Y. 1976. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *Analyst*, 101: 187-197.
- Berland, B.R., Bonin, D.J., Maestrini, S.Y. 1980. Azote ou phosphore? Considérations sur le "paradoxe nutritionnel" de la mer Méditerranée. *Oceanol. Acta*, 3(1): 135-141.
- Birch, G.F., Eyre, B.D., Taylor, S.E. 1999. The use of sediments to assess environmental impact on a large coastal catchment – the Hawkesbury River system. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics.*, 17(5/6) : 175-191.
- Darmoul, B., Hadj, M., Vitiello, P. 1980. Effets des rejets industriels de la région de Gabès (Tunisie) sur un milieu marin récepteur. *Bull. Inst. Natn. Scient. Tech. Oceanogr., Pêche Salammbô*, 7: 5-61.
- Ecodit 2001. *Lebanon state of the environment report*. Ministry of Environment/LEDO, 246 pp.
- Fakhri, M. 2005. *Interactions de deux sources continentales, naturelle et anthropogénique, sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques du milieu marin de Batroun au Liban Nord (Méditerranée orientale)*. Thèse de Doctorat, 276pp.
- Fakhri, M., Romano, J.-C., Abboud-Abi Saab, M. 2005. Impact of natural and artificial chemical inputs on the marine ecosystem of Batroun region (North Lebanon). *Leb. Sci. J.*, 6(1): 13-27.
- Fakhri, M., Abboud-Abi Saab, M., Romano, J.-C. 2008a. The use of sediments to assess the impact of Selaata phosphate plant on Batroun coastal area (Lebanon, Levantine basin). *Leb. Sci. J.*, 9(1): 29-42.
- Fakhri, M., Abboud-Abi Saab, Romano, J.-C., Mouawad, R. 2008b. *The effect of phosphate factory's discharges on sediments biological characteristics of Batroun marine area (North Lebanon)*. International Conference on "Monitoring and Modelling of Marine Pollution". INOC-INCO, 1-3 December 2008, Kish Island Islamic Republic of Iran., 53.
- Fakhri, M., Romano, J.-C., Abboud-Abi Saab, M. 2011. Impact of wind on the dispersion of contaminants in the Lebanese northern marine area. *J. Black Sea/Mediterranean Environment*, 17(1): 32-46.

- Gobert, T., Kyramarios, M., Lepoint, G., Pergent-Martini, C., Bouquegneau, J.M. 2003. Variations à différentes échelles spatiales de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile; effets sur les paramètres physico-chimiques du sédiment. *Oceanol. Acta*, 26: 199-207.
- Ivanoff, A. 1972. *Introduction à l'océanographie (propriétés physiques et chimiques des eaux de mer). De l'enseignement à la recherche. Océanographie*. Librairie Vuibert, Paris, tome I, 207 pp.
- Krom, M.D., Kress, N., Brenner, S., Gordon, L.I. 1991. Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Limnol. Oceanogr.*, 36(3): 424-432.
- Laborde, P., Romano, J.-C. 1983. *Composition des eaux interstitielles des sédiments profonds. Relations avec la biodégradation de la matière organique et les modalités de la sédimentation. – 1 : échange à l'interface eau-sédiment. Géochimie organique des sédiments marins. D'Orgon à Misedor*. Ed. C.N.R.S., France, pp. 151-186.
- METAP/Tebodin 1998. Ministry of Environment. *Industrial pollution control Lebanon*. Prepared by Tebodin and financed by the World Bank and UNIDO, 1998.
- Murphy, J., Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31- 36.
- Vitiello, P. et Dinet, A. 1979. Définition et échantillonnage du méiobenthos. *Rapp. P.V Comm. Int. Explr. Scient. Mer Médit.*, 25/26(4) : 279-283.