

## Impacts des fermes aquacoles sur la qualité de la colonne d'eau dans le golfe de Hammamet (Est de la Méditerranée)

R. ENNOURI<sup>1</sup>, S. MILI<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Institut National des Sciences et Technologies de la Mer. 28, Rue 2 Mars 1934, 2025 Salammbô, TUNISIA. Tél : 71735848

<sup>2</sup> Unité Exploitation des milieux aquatiques, Institut Supérieur de Pêche et d'Aquaculture de Bizerte, BP 15, 7080 Menzel Jemil, TUNISIA.

\*Corresponding author: mili.sami.ispa@gmail.com

**Abstract** – In the last decades, marine aquaculture had an important development around the world. In fact, fish farms can generate persistent inorganic elements and nutrients. These elements are essential chemical components of life in the marine environment, but the excessive enrichment, or eutrophication, generate highly undesirable conditions in ecosystem structure and function.

The aim of this study was to evaluate the levels of nutrients (Nitrate (NO<sub>3</sub>), Nitrite (NO<sub>2</sub>), Ammonium (NH<sub>4</sub>), Phosphate (PO<sub>4</sub>), Silicate (Si), Nitrogen (N) in water and Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN) in surface sediments from four fish farms (1, 2, 3 and 4) in Hammamet Gulf (Eastern Mediterranean Sea).

Measurements and sampling were performed during 2013 at stations inside the farm area and at a reference station (5). Investigated parameters in the water column were nutrient concentrations. Parameters measured in the sediments were total organic carbon and total nitrogen.

Nutrients were carried out by Autoanalyzer using the standard colorimetric methods according to Strickland and Parsons (1972). TOC and TN were determined by a CHNS elemental analyzer. The concentration obtained in  $\mu\text{mol/l}$  for different elements varied between 0.1 and 0.45 for NO<sub>2</sub>; 0.96 and 2.79 for NO<sub>3</sub>; 1.75 and 4.07 for NH<sub>4</sub>; 0.06 and 0.12 for PO<sub>4</sub>; 1.74 and 4.79 for Si; 11.99 and 13.93 for N and 1.44 and 2.03 for TPO<sub>4</sub>.

The levels of TOC and TN, from surface sediments below the cages, varied between 2% and 7% and 0.15% and 1.26% respectively. NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub> and TPO<sub>4</sub> values peaked in water from fish farm 1. The highest levels of NH<sub>4</sub>, Si and N were recorded around fish farm 3.

The nutrient level in water column may be related to sources arising from various anthropogenic activities within the study area. Moreover, the spatial variability was due to increasing nutrient concentrations at the localities close to non point sources.

**Keywords:** Nutrients, fish farms, Gulf of Hammamet

**Résumé** - Durant ces dernières décennies, l'aquaculture offshore a connu une croissance considérable à travers le monde, ce qui a généré des revenus liés à cette activité et crée des milliers d'emplois directs et indirects. Cependant, les fermes aquacoles peuvent engendrer des rejets de composés chimiques et des nutriments persistants comme les sels nutritifs. Ces derniers sont des éléments essentiels pour la vie des organismes marins, mais un enrichissement intense peut entraîner une eutrophisation du milieu.

Dans cette étude nous avons étudié l'impact des fermes aquacoles, implantées dans le golfe de Hammamet (Est de la Méditerranée), à travers l'enrichissement de la colonne d'eau en sels nutritifs (Nitrate (NO<sub>3</sub>), Nitrite (NO<sub>2</sub>), Ammonium (NH<sub>4</sub>), Phosphate (PO<sub>4</sub>), Phosphore total (PT), Silicium (Si), Azote (N) d'une part et du taux de Carbone Organique Total (COT) et de l'Azote Total (NT) dans les sédiments superficiels d'autre part.

L'eau de mer a été collectée durant l'année 2013 à partir des quatre fermes aquacoles (1, 2, 3 et 4) et d'une zone standard (zone témoin : entre les fermes aquacoles).

L'analyse des sels nutritifs a été réalisée à l'aide d'un Autoanalyseur selon la méthode standard colorimétrique (Strickland et Parsons 1972). Le COT et NT ont été déterminés par l'analyseur CHNS. Les valeurs obtenues en  $\mu\text{mol/l}$  varient entre 0,1 et 0,45 pour NO<sub>2</sub>; 0,96 et 2,79 pour NO<sub>3</sub>; 1,75 et 4,07 pour NH<sub>4</sub>; 0,06 et 0,12 pour PO<sub>4</sub>; 1,74 et 4,79 pour Si; 11,99 et 13,93 pour N et 1,44 et 2,03 pour



TPO4. Les pourcentages du COT et du NT dans les sédiments étudiés varient respectivement entre 2% et 7% et 0,15 % et 1,26 %.

Les résultats obtenus montrent que les degrés de NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub> et PT présentent un pic pour les échantillons d'eau prélevée au alentour de la ferme 1. Par contre, les teneurs les plus élevées de NH<sub>4</sub>, Si et N ont été enregistrées au niveau de la ferme 3. Les taux les plus élevés ont été enregistrés au voisinage des fermes relativement anciennes. Cet enrichissement par les sels nutritifs dans la colonne d'eau des quatre fermes étudiées peut être lié à des sources provenant de diverses activités anthropiques dans la zone d'étude et surtout à l'activité aquacole intense dans cette zone.

---

**Mots clés :** Sels nutritifs, golfe de Hammamet, fermes aquacoles.

---

## 1. Introduction

L'aquaculture en Méditerranée et en particulier les fermes qui produisent les poissons ont augmenté d'une façon exponentielle durant les trois dernières décennies. C'est principalement la production via des cages en mer de la daurade (*Sparus aurata*) et du loup (*Dicentrarchus labrax*) qui a enregistré la plus forte croissance. L'élevage en cages de nouvelles espèces a présenté un certain succès mais ne représente cependant qu'un très faible pourcentage dans la production totale (Karakassis 2013).

Duarte *et al.* (2009) ont estimé que la hausse de production de poissons d'aquaculture ces dernières années était due à la demande croissante de la population humaine en protéine. Ceci a causé une pression significative au niveau des écosystèmes côtiers où il y a implantation et développement des fermes aquacoles. La surveillance de ces zones devient primordiale en étudiant leur capacité à recevoir des polluants d'une part et en évaluant la qualité chimique des poissons aquacoles produits d'autre part. Cette surveillance est un garant de la pérennité de l'aquaculture et du secteur de la pêche en général. Les sels nutritifs sont des constituants minéraux dissous dans l'eau de mer et qui sont impliqués dans le métabolisme des êtres vivants. En effet, la présence de certains de ces sels nutritifs dans le milieu marin a une grande importance sur la stabilité et l'équilibre des écosystèmes. Comme le phosphore et l'azote qui sont incorporés dans les tissus vitaux tandis que les silicates sont nécessaires pour la formation des squelettes des diatomées (Basturk *et al.* 1986). En plus, le nitrate et le phosphate sont décrits en tant qu'éléments limitrophes à cause de leurs effets sur la croissance biologique. L'introduction de ces éléments (particulièrement les nitrates et les phosphates) peut être la conséquence des activités urbaines, agricoles et industrielles qui ont augmenté remarquablement durant ces dernières décennies. Cette introduction excessive des sels nutritifs à travers les effluents anthropiques ainsi qu'à travers la voie naturelle (les apports en provenance des précipitations, l'érosion...) pourraient être suspectés d'avoir un effet dans l'équilibre des processus biogéochimiques naturels (Belias *et al.* 2007).

L'enrichissement en sels nutritifs, ou l'eutrophisation, peut provoquer des effets indésirables au niveau de la structure et de la fonction des écosystèmes. Certaines études indiquent que l'eutrophisation a des influences sur le transport et la transformation des contaminants au niveau des environnements aquatiques et peuvent causer des problèmes de circulation de l'eau (Zhang *et al.* 1999). De nos jours, la pollution par les nutriments (principalement par N et P) et par la matière organique représente une cause très importante qui engendre la dégradation des zones côtières. Toutefois, l'évaluation de la teneur de l'azote et du phosphate bio-disponibles joue un grand rôle dans la détermination du statut écologique du système aquatique (Jarvie *et al.* 1998).

Les principaux effets de l'aquaculture en cages est la principale cause de l'eutrophisation locale. Les rejets causés par l'aquaculture sont principalement la matière organique en provenance de l'alimentation des poissons (Sanz-Lázaro and Marín 2011). D'après les travaux de Holmer *et al.* (2005), le un quart des nutriments procurés aux poissons sont additionnés au niveau de leur chair par contre les trois quart restent dans l'eau environnante. La dispersion de la matière organique en provenance du surplus en aliment et des rejets fécaux, des nutriments et des agents pharmaceutiques (comme les antibiotiques) au niveau de l'eau environnante et des sédiments (Gowen and Bradbury 1987; Ackefors and Enell 1994; Axler *et al.* 1996; Kelly *et al.* 1996) provoque des effets néfastes sur la faune benthique sur les communautés planctoniques et sur l'écosystème (Heggberget *et al.* 1993). En plus, la forme dissoute des nutriments peut provoquer un enrichissement au niveau de l'eau environnante ce qui augmente la production primaire affectant ainsi toute la zone (FAO 1992).

L'effet de l'élevage des poissons en cage est local et a pour résultat un problème d'eutrophisation locale. L'évaluation de ces paramètres est essentielle afin d'aider les décideurs à prendre des décisions en réduisant le nombre de cages ou de réduire la taille de la ferme.

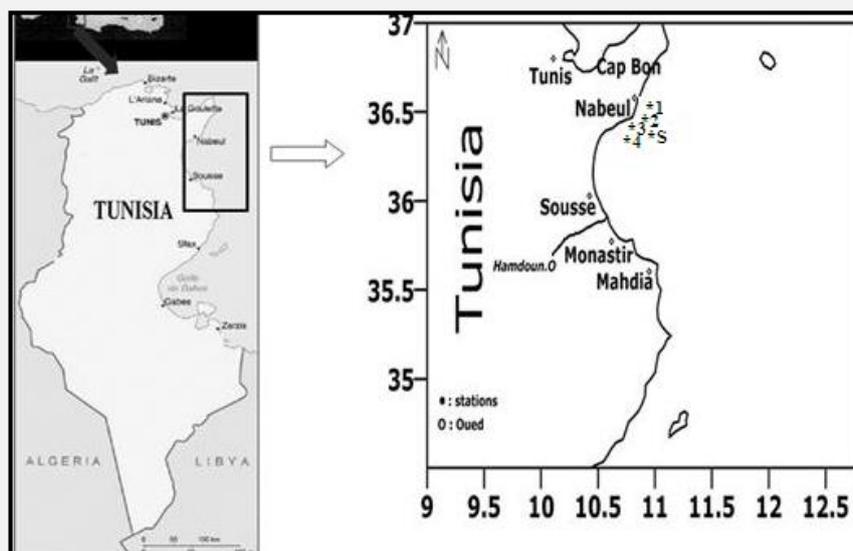
Plusieurs travaux ont été réalisés sur les effets des fermes aquacoles sur l'environnement. Certains ont été entrepris au niveau de la Méditerranée, parmi eux on peut citer les investigations de Angel et al. (1995) ; Karkassis et al. (1998) ; Pitta et al. (1998) ; Delgado et al. (1999) ; Pergent et al. (1999), Pitta et al. (1999) ; Mazzalo et al. (2000) ; La Rosa et al. (2002) ; Demirak et al. (2006) ; Sanz-Lazaro et Marin (2006) ; Yucel-Gier et al. (2007) ; Kaymakci-Basaran et al. (2007) ; Neofitou et Klaoudatos (2008). D'autres études ont été réalisées ailleurs qu'en Méditerranée, comme celles entreprises au Canada par Wu (1995), en Australie par Holmer (1991) et à Hong Kong par Mcghie et al. (2000).

Aucune étude jusqu'à nos jours n'a été entreprise sur les fermes aquacoles implantées en Tunisie. Ce travail est réalisé afin de déterminer la variabilité des principaux paramètres d'eutrophisation des eaux collectées de quatre fermes aquacoles tunisiennes.

Pour ce faire, nous avons évalué les degrés des sels nutritifs (Nitrate (NO<sub>3</sub>), Nitrite (NO<sub>2</sub>), Ammonium (NH<sub>4</sub>), Phosphate (PO<sub>4</sub>), Phosphore (PT), Silicium (Si), Azote (N) dans la colonne d'eau en plus du taux de Carbone Organique Total (COT) et de l'Azote Total (NT) dans les sédiments superficiels en provenance des quatre fermes aquacoles implantées dans le golfe de Hammamet (Est de la Méditerranée).

## 2. Matériel et méthodes

L'eau de mer a été collectée durant l'année 2013 de quatre fermes aquacoles (1,2, 3 et 4) qui produisent du loup (*Dicentrachus labrax*) et de la Daurade (*Sparus aurata*) et d'une station témoin (5). Ces fermes sont localisées au niveau du golfe de Hammamet (Est de la Mer Méditerranée) (Fig. 1).



**Figure 1.** Stations d'échantillonnage de l'eau et des sédiments superficiels au niveau des fermes aquacoles et de la zone standard.

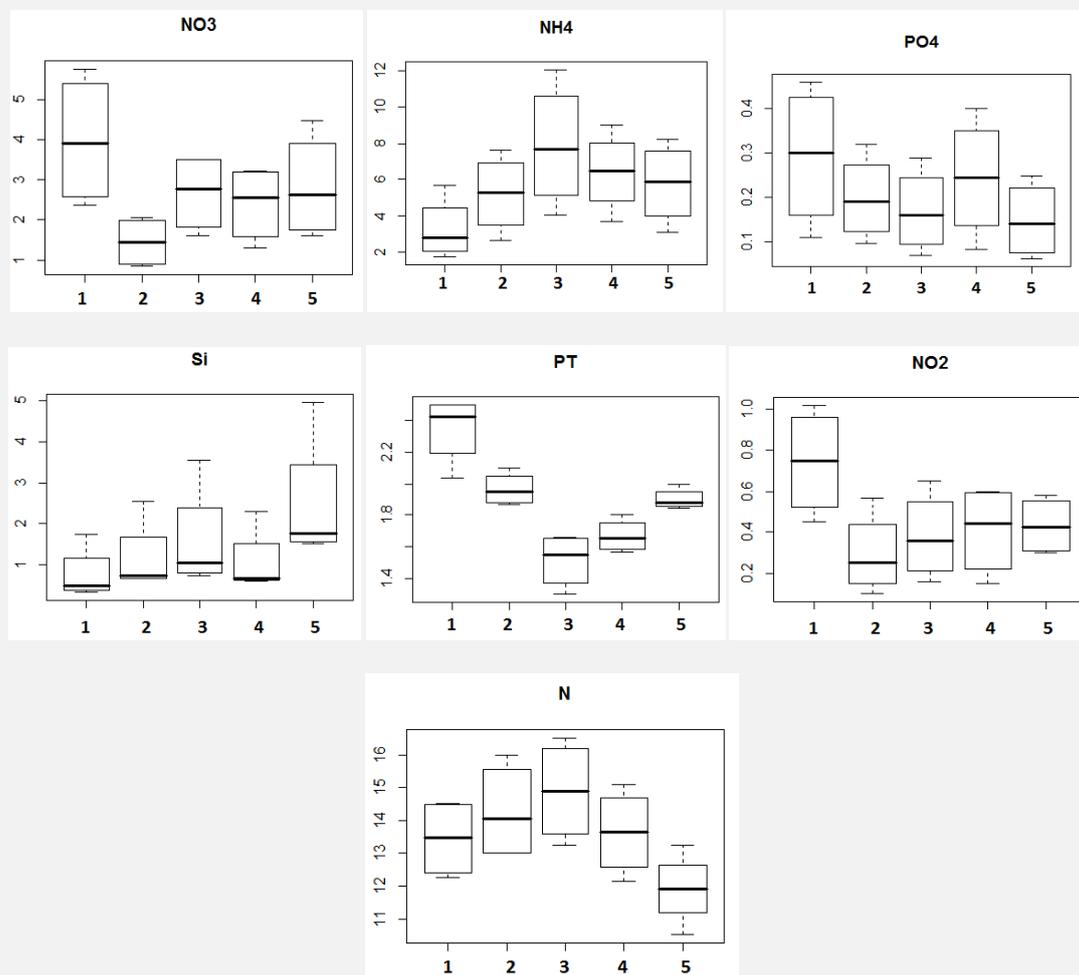
Trois répliques d'eau ont été collectés à partir de trois cages de chaque ferme ainsi que de la zone standard. L'échantillonnage a été réalisé à l'aide d'une bouteille de Nansen. Les échantillons ont été filtrés à travers une membrane de 0,45µm de porosité puis transférés dans une bouteille en polyéthylène et mis dans le réfrigérateur à 4°C avant l'analyse. Les sels nutritifs ont été analysés à l'aide d'un autoanalyseur en utilisant la méthode colorimétrique selon Strickland et Parsons (1972).

L'échantillonnage des sédiments superficiels réalisé pour l'analyse du COT et du NT a été réalisé à l'aide d'une benne Vanne Veen. Ces deux éléments ont été déterminés à l'aide d'un analyseur CHNS (Froelich 1980; Hedges et Stern 1984). L'échantillon pour la détermination du COT a été décarbonisé en lui ajoutant 1M HCl et en le séchant à 60°C.

Les analyses statistiques ont été effectuées par le logiciel de traitement statistique R.

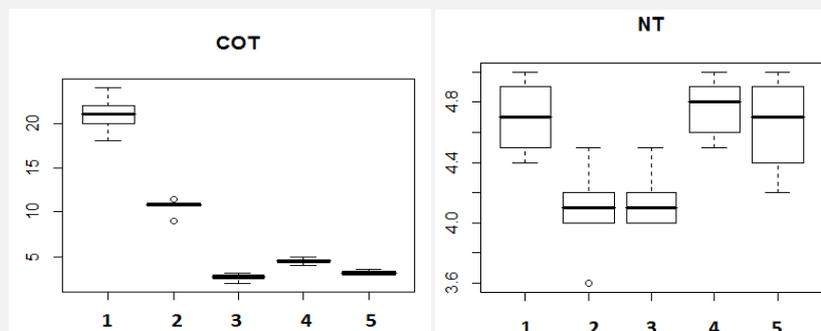
### 3. Résultats et discussion

Les valeurs des sels nutritifs dans la colonne d'eau obtenues en  $\mu\text{mol/l}$  varient entre 0,1 et 0,45 pour  $\text{NO}_2$ ; 0,96 et 2,79 pour  $\text{NO}_3$  ; 1,75 et 4,07 pour  $\text{NH}_4$ ; 0,06 et 0,12 pour  $\text{PO}_4$ ; 1,74 et 4,79 pour Si; 11,99 et 13,93 pour N et 1,44 et 2,03 pour  $\text{TPO}_4$  (Fig.2).



**Figure 2.** Concentrations des sels nutritifs dans l'eau en provenance des fermes aquacoles.

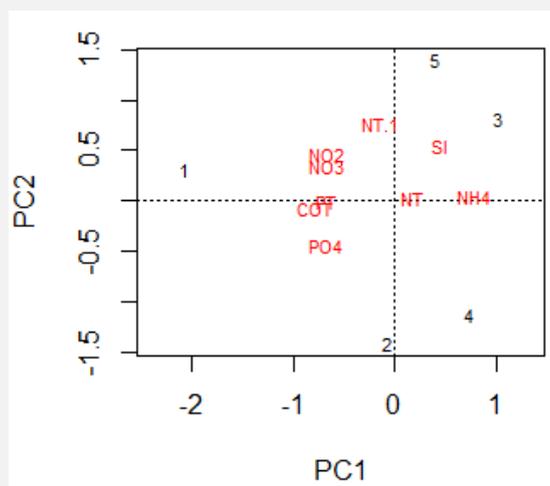
Les pourcentages du COT et du NT dans les sédiments étudiés varient respectivement entre 2% et 7% et 0,15 % et 1,26 % (Fig. 3).



**Figure 3.** Taux du Carbone Organique Total (COT) et de l'Azote Total (NT) dans les sédiments superficiels des fermes aquacoles.

En appliquant le test ANOVA pour tous les éléments étudiés dans les quatre fermes aquacoles ainsi dans la zone standard, nous avons trouvé qu'il existe une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les différentes zones d'échantillonnage. En effet, les degrés de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  et  $\text{PT}$  présentent un pic au niveau de l'eau prélevée au alentour de la ferme 1. Par contre, les teneurs les plus élevées de  $\text{NH}_4$ ,  $\text{Si}$  et  $\text{N}$  ont été enregistrées au niveau de la ferme 3.

Afin de déterminer les ressemblances dans les teneurs des sels nutritifs étudiés dissous dans l'eau, du  $\text{COT}$  et de  $\text{NT}$  dans les sédiments superficiels des quatre fermes aquacoles et de la zone standard, nous avons réalisé une Analyse en Composantes Principales (ACP) pour 9 variables dans les 5 stations. Les éléments peuvent être analysés par rapport à deux principaux axes (Fig.4).



**Figure 4.** Analyse en Composante Principale. (complétez le titre)

La figure 4 montre qu'au niveau de la ferme 1 nous avons enregistré les teneurs les plus élevées en sels nutritifs (nitrate, nitrite, phosphate et phosphore). Malgré le fait que ces éléments nutritifs dosés soient relativement les plus élevées par rapport aux trois autres fermes étudiées, les teneurs restent inférieures à celles trouvées dans d'autres fermes aquacoles en Méditerranée. En effet, au niveau de la mer Egée (Aydin-Onen et al. 2012), les teneurs en nitrate ont atteint  $7 \mu\text{mol/l}$  ; celles en nitrite  $1,5 \mu\text{mol/l}$  et  $6,8 \mu\text{mol/l}$  pour le phosphate. Au niveau de ferme 1 les teneurs en nitrate, nitrite et phosphate sont respectivement de l'ordre de  $2,9$  ;  $0,5$  et  $0,1 \mu\text{mol/l}$ .

Le phosphate qui présente un pic au niveau de la ferme 1 est le principal facteur responsable des phénomènes d'eutrophisation et de dystrophisation. Toutefois, il ne devient toxique vis-à-vis de la faune et de la flore que lorsqu'il atteint une très forte concentration : il devient alors un véritable engrais pour les milieux aquatiques. Les nitrates représentent la seconde cause du développement de l'eutrophisation. Dans la majorité des cas, le phosphate et le nitrate interviennent ensemble en eaux douces et en eaux salées fermées ou peu renouvelées.

D'après les études de Kormas et al. (2000), le nitrate est utilisé rapidement par le phytoplancton en été, ce qui explique la corrélation négative de la teneur du nitrate avec la température. En ce qui concerne le phosphate, sa concentration présente une corrélation positive avec la température et la salinité. Le phosphate est recyclé lorsque l'activité des organismes aquatiques (incluant l'activité des micro-organismes et des poissons) est élevée. Aksu et Kocatas (2007) et La Rosa et al. (2002) ont détecté une augmentation significative de la teneur en phosphate au niveau des cages des fermes aquacoles qu'ils ont étudié. Par ailleurs, la ferme 3 présente les teneurs les plus élevées en ammonium, silicium et azote. Certains auteurs ont démontré (Mantzavarakos et al. 2007) que la répartition de l'ammonium et de l'azote peut être en relation avec la variation des paramètres physiques comme la température, la salinité et la densité de l'eau. D'un autre côté, ces concentrations élevées pourrait être dû à l'excès en aliments et au métabolisme des poissons dans les cages. De plus, le dynamisme dans la colonne d'eau peut avoir un effet sur la répartition des sels nutritifs. Pitta et al. (2005) ont attribués la diminution de la concentration du silicium dans la colonne d'eau autour des fermes aquacoles à son assimilation par les Diatomées. De ce fait, l'augmentation de la concentration du silicium ( $\text{Si}$ ) peut être attribuée à la

reminéralisation du silicate biogène qui s'accumule au niveau des sédiments marins (Basaram 2010). L'enrichissement en  $\text{NH}_4$  au niveau des fermes aquacoles a été aussi relevé par Dosolat (2001). Ce dernier a démontré que l'ammonium est présent dans les excréments du loup marin élevé dans les fermes aquacoles. Toutefois, le  $\text{NH}_4$  est un élément toxique à des doses élevées. Son origine peut être un dérivé originaire des excréments humains et des poissons ou suite à la décomposition des composés azotés. La présence de l'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. En effet, cet élément provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. Il est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industrielle. Les taux du COT et du NT dans les sédiments, qui sont plus élevés au niveau de la ferme 1 et de la zone Standard, sont en relation très étroite avec la granulométrie des sédiments (Mcghie et al. 2000). Dans les études de Basaran et al. (2010), les pourcentages du COT varient de 0,121 à 10,54 dans les sédiments sous les cages et de 0,48 à 3,50 au niveau des stations de contrôle.

Cette étude a montré que les teneurs des sels nutritifs étudiés sont plus élevées au niveau de l'eau en provenance des fermes aquacoles par rapport à celle de la zone standard. Cette observation a été de même démontrée par l'étude de Neafitou et Klaoudatos (2008) et qui ont montré que la concentration de l'ammonium, du nitrite, du phosphate et du silicium au niveau des sites de prélèvements au alentour des fermes sont plus élevées que ceux des sites de contrôle (zone standard). L'impact le plus évident des fermes aquacoles est la sédimentation de l'excès d'aliments et de la matière fécale sous les cages. De même, les études réalisées dans la Baie de Gulluk (Mer Egée) par Demirak et al. (2006) ont montré que les teneurs en sels nutritifs sont essentiellement induites par l'activité aquacole dans la région.

#### 4. Conclusion

Dans ce travail, nous avons pu démontrer que les taux en éléments minéraux au voisinage des cages d'élevage augmentent parallèlement avec l'ancienneté des fermes. Cet enrichissement peut être lié à l'activité aquacole intense dans la zone de Beni Khiar (golfe de Hammamet). Il serait judicieux de surveiller à court et à long terme la colonne d'eau et les sédiments aux alentours des fermes aquacoles afin d'assurer un développement durable de l'activité aquacole dans les eaux tunisiennes.

#### 5. Références bibliographiques

- Aksu M and Kocatas A (2007):** Environmental effects of the three fish farms in Izmir Bay (Aegean Sea-Turkey) on water column and sediment. Rapport du 38e Congrès de la Commission Internationale Pour L'exploration Scientifique de la Mer Méditerranée 38 : 414.
- Ackfors H and Enell M (1994):** The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. *J Appl Ichthyol* 10: 225–241.
- Angel D L, Krost P and Gordin H (1995)** Benthic implications of the net cage aquaculture in the oligotrophic Gulf of Aqaba. Improving the knowledge base in modern aquaculture. Rosenthal H Moav B and Gordin H eds. *Eur Aquacult Soc Spec Publ* 25: 129–173.
- Aydin-Onen S, Kocak F and Kucuksezgin F (2012)** Evaluation of spatial and temporal variations of inorganic nutrient species in the eastern Aegean Sea waters. *Mar Pollut Bull* 64: 2849-2856.
- Axler R, Larsen C, Tikkanen M, McDonald M, Yokom S and Aas P (1996).** Water quality issues associated with aquaculture: a case study in mine pit lakes. *Water Environ Res* 68: 995–1011.
- Basaran A K, Aksu M and Egemen O (2010)** Impacts of the fish farms on the water column nutrient concentrations and accumulation of heavy metals in the sediments in the eastern Aegean Sea (Turkey). *Environ Monit Assess* 162:439-451.
- Basturk O, Saydam A C, Salihoglu I and Yilmaz A (1986)** Oceanography of the Turkish Straits'. First Annual Report, vol III: Health of Turkish Straits, II. Chemical and Environmental Aspects of the Sea of Marmara Institute of Marine Sciences, METU Erdemli-Icel, Turkey.
- Belias C, Dassenakis M and Scoullou M (2007)** Study of the N, P and Si fluxes between fish farm sediment and seawater. Results of simulation experiments employing a benthic chamber under various redox conditions. *Mar Chem* 103:266–275.
- Delgado O, Ruiz J, Perez M, Romero J and Ballesteros E (1999)** Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation. *Oceanol Acta* 22: 109–117.
- Demirak A, Balci A et Tufekci M (2006)** Environmental impact of the marine aquaculture in Gulluk Bay. *Environ Monit and Assess* 123:1–12.
- Duarte C M, Holmer M, Olsen Y, Soto D, Marbà N, Guiu J, Black K and Karakassis I (2009)** Will the oceans help feed humanity? *Bioscience* 59:967–976.

- Dosdat A (2001)** Environmental impact of aquaculture in the Mediterranean: Nutritional and feeding aspects. In Uriarte & B. Basurco (Eds.), Environmental impact assessment of Mediterranean aquaculture farms (pp. 23–36) Zaragoza, Spain Cahiers Options Méditerranéennes, 55 A INO Reproducciones, S.A.
- FAO (1992)** Guidelines for the promotion of environmental management of coastal aquaculture development. FAO Fisheries Technical Paper 328 Rome.
- Froelich P N (1980)** Analysis of organic carbon in marine sediments. *Limnol and Oceanogr* 25:242-248.
- Hedges J I and Stern J K (1984)** Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids. *Limnol and Oceanogr* 29: 657-663.
- Holmer M (1991)** Impacts of aquaculture on surrounding sediments: generation of organic-rich sediments. *Aquaculture and the Environment*, N De Pauw and Joyce J, eds Eur Aquacult Soc Spec Publ 16:155–175.
- Holmer M, Wiildfishl D and Hargrave B (2005)** Organic enrichment from marine finfish Aquaculture and effects on sediment biogeochemical processes. In *Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture* Hargrave BT, Ed Springer Berlin Germany 181-206
- Jarvie H P, Whitton B A and Neal C (1998)** Nitrogen and phosphorus in east coast British rivers: speciation, sources and biological significance. *Sci Total Environ* 79–109.
- Karakassis I, Tsapakis M and Hatziyanni E (1998)** Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. *Mar Ecol Prog Ser* 162: 243–252.
- Karakassis I (2013)** Environmental interactions and initiatives on site selection and carrying capacity estimation for fish farming in the Mediterranean In LG Ross T C.
- Kaymakci-Basaran A, Aksu M and Egemen O (2007)** Monitoring the impacts of the offshore cage fish farm on water quality located in Ildir Bay (Izmir–Aegean Sea). *A U J Agr Sci* 13:22–28 (in Turkish).
- Kormas K A, Nicolaidou A and Reizopolou S (2001)** Temporal variations of nutrients chlorophyll a and Particulate Matter in three coastal Lagoons of Amvrakikos gulf (Ionian Sea, Greece). *Mar Ecol* 22:201-213.
- La Rosa T, Mirto S, Favaloro E, Savona B, Sara G, Danovaro R and Mazzola A (2002)** Impact on the water column biogeochemistry of a Mediterranean mussel and fish farm. *Water Res* 36: 713–721.
- Mantzavrakos E, Kornaros M, Lyberatos G and Kaspiris P (2007)** Impact of marine fish farm in Agrolikos Gulf (Greece) on the water column and the sediment. *Desalination* 210: 110-124.
- Mazzola A, Mirto S, La Rosa T, Fabiano M and Danovaro R (2000)** Fish-farming effects on benthic community structure in coastal sediments: analysis of meiofaunal recovery. *ICES J Marine Sci* 57: 1454–1461.
- Mcghie TK, Crawford CM, Mitchell M and Iand O'brien D (2000)** The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing. *Aquaculture* 187: 351–366.
- Gowen R and Bradbury NB (1987)**. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev* 25: 563–575.
- Kelly LA, Stellwagen J and Bergheim A (1996)**. Waste loadings from a fresh-water Atlantic Salmon farm in Scotland. *Water Res Bull* 32:1017–1025.
- Heggberget TG, Johnsen O K, Hindar B, Jonsson LP, Hansen NA, Vidsten H and JENSEN AJ (1993)**. Interactions between wild and cultured Atlantic Salmon -a review of the Norwegian experience. *Fish Res* 18(1–2): 123–146.
- Neofitou N and Klaoudatos S (2008)** Effects of fish farming on the water column nutrient concentration in a semi-enclosed gulf of the eastern Mediterranean. *Aquac Res* 39: 482–490.
- Pergent G, Mendez S, Pergent-Martini C and Pasqualini V (1999)** Preliminary data on the impact of fish farming facilities on *Posidonia oceanica* meadows in the Mediterranean. *Oceanol Acta* 22:95–107.
- Pitta P (1996)** Dynamics of the plankton community in sea bream (*Sparus aurata*) rearing mesocosms. PhD Thesis University of Crete Heraklion Greece.
- Pitta P, Apostolaki E T, Giannoulaki M and Karakassis I (2005)** Mesoscale changes in the water column in response to fish farming zones in three coastal areas in the eastern Mediterranean Sea. *Estuar Coast Shelf S* 65: 501–512.
- Pitta P, Karakassis I, Tsapakis M and Zivanovic S (1998)** Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the Eastern Mediterranean. *Hydrobiologia* 391:179–192.
- Sanz-Lazaro C and Marin A (2006)** Benthic recovery during open sea fish farming abatement in western Mediterranean Spain. *Mar Environ Res* 62: 374–387.
- Sanz-Lazaro C and Marin A (2011)** Diversity Patterns of Benthic Macrofauna Caused by Marine Fish Farming *Diversity* 3:176-199.
- Strickland J D H and Parsons T R (1972)** In: A Practical Handbook of Seawater Analysis, second ed. Bulletin second ed vol 167 Fish Res Brd Canada Ottawa.
- Wu R S S (1995)** The Environmental Impact of Marine Fish Culture: Towards a Sustainable Future. *Mar Pollut Bull* 31:159–166.
- Yucel-Gier G, Kucuksezgin F and Kocak F (2007)** Effects of fish farming on nutrients and benthic community structure in the eastern Aegean (Turkey). *Aquac Res* 38: 256–267.
- Zhang H Q, Chong K and Ap J (1999)** An analysis of tourism policy development in modern China. *Tourism Manage* 20:471–485.