



## Les nématodes libres, organismes-sentinelles de l'évolution des concentrations d'hydrocarbures dans la baie de Bizerte (Tunisie)

Hamouda BEYREM et Patricia AISSA

*Laboratoire d'Ecobiologie Animale. Faculté des Sciences de Bizerte. 7021-Zarzouna (Tunisie)*

*Fax: 216 2 590 566. E-Mails: Patricia.Aissa@fsb.rnu.tn ; Hamouda.Beyrem@fsb.rnu.tn*

**Résumé :** Une première prospection réalisée en sept stations de la baie de Bizerte en juillet 1992 a montré qu'une raffinerie ainsi que des pétroliers sont à l'origine des fortes teneurs en hydrocarbures relevées dans ce secteur. Les peuplements de nématodes, omniprésents, y montrent une décroissance statistiquement significative de leurs effectifs, de leurs biomasses et de leur diversité spécifique en relation avec les concentrations en hydrocarbures des sédiments. Après une apparente amélioration de la qualité des eaux rejetées par la raffinerie, une étude similaire, entreprise en juillet 1996, a révélé que les sédiments se sont encore enrichis en hydrocarbures. Les nématodes ont répondu à cette évolution temporelle de la pollution pétrolière par un appauvrissement de leurs communautés, à la fois numérique et spécifique.

**Abstract:** *Free-living nematodes, bio-indicators of the evolution of hydrocarbon concentrations in the bay of Bizerta (Tunisia).* A first monitoring in the bay of Bizerta during July 1992, based upon seven sampling stations, indicated a refinery and tankers, berthing at proximity, to be the cause of high amounts of hydrocarbon noted in the region. The nematodes, omnipresent, show a statistically significant decrease in densities, biomasses and specific diversity, in relation to concentrations of hydrocarbon deposited in sediments. After an apparent improvement of the quality of waste waters discharged by the refinery, a similar study was repeated in July 1996. The results indicate an increasing amount of hydrocarbons in the sediments in 1996 to which the nematodes have responded by a quantitative and qualitative impoverishment of their community.

**Keywords :** marine nematodes, densities, biomass, diversity, hydrocarbon pollution

### Introduction

Avec l'augmentation croissante du trafic pétrolier maritime, le problème de la pollution par les hydrocarbures attire de plus en plus l'attention et se pose d'autant plus qu'il concerne des mers semi-fermées comme la Méditerranée.

Si plusieurs travaux ont souligné la plus ou moins grande sensibilité des peuplements de nématodes à une pollution pétrolière accidentelle (Boucher, 1980 ; Elmgren et al., 1983 ; Heip et al., 1985), peu d'entre eux se sont intéressés à la réponse de ces animaux à une pollution permanente, générée par une raffinerie. Beyrem & Aïssa (1998) ont montré, pour l'été 1992, que les flux continus d'hydrocarbures déversés avec les eaux de lavage et de refroidissement provenant de la raffinerie de Bizerte, ainsi que les apports accidentels plus épisodiques survenant lors d'opérations de

---

Reçu le 9 avril 1998; accepté après révision le 8 août 2000.

Received 9 April 1998; accepted in revised form 8 August 2000.

délestage, sont à l'origine d'une chute statistiquement significative des effectifs de nématodes au sein des stations les plus polluées.

Le présent travail se propose, non seulement de compléter l'étude préliminaire entreprise en 1992 en analysant l'impact des hydrocarbures sur les données qualitatives des nématocénoses, mais aussi de comparer cet état initial de pollution à celui caractérisant la baie de Bizerte pendant l'été 1996, après l'apparente amélioration de la qualité des eaux déversées par la raffinerie. Les nématodes sont ici utilisés comme organismes-sentinelles aussi bien en terme d'effectifs que de diversité spécifique.

## Materiel et méthodes

### I. Lieux de prélèvements

Dans le but de mettre en évidence un éventuel gradient de pollution lié aux rejets provenant de la raffinerie, trois stations de prélèvement (A1, A2 et A3) ont été choisies selon une radiale (R1) située dans le prolongement de l'émissaire. Deux autres radiales (R2 et R3), comportant chacune deux stations, sont destinées à servir de zones de référence et à vérifier l'impact de la pollution pétrolière sur l'ensemble du secteur (Fig. 1).

### II. Stratégie d'échantillonnage

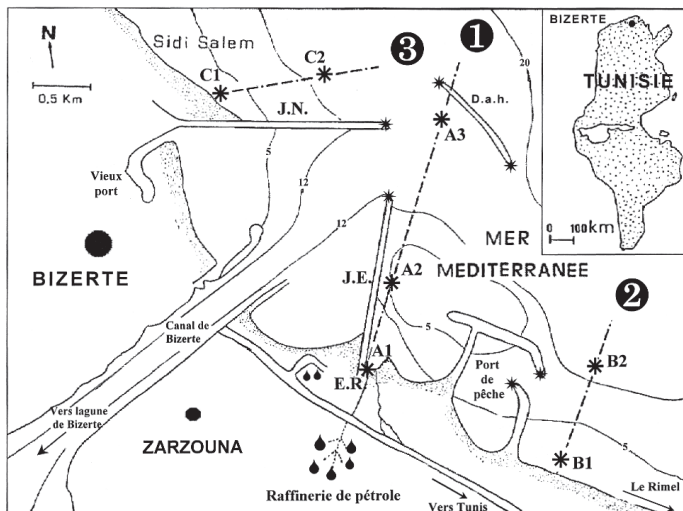
Des carottiers en plexiglas de 10 cm<sup>2</sup> de section permettent de prélever, manuellement, (en plongée autonome pour les sites profonds) (Tableau 1), des carottes de sédiment de 18 cm de hauteur.

Pour l'étude de la nématofaune, il a été procédé pour chaque station à deux carottages en juillet 1992 et trois en juillet 1996. Si le nombre de trois replicats, plus représentatif de l'effectif réel des peuplements de nématodes, est de plus en plus utilisé (Aïssa & Vitiello, 1993 ; Soltwedel et al., 1996), deux échantillons par station restent suffisants et significatifs au seuil de 5 % au moins pour des sables fins (Vitiello, 1968 ; Keller, 1984). Pour le suivi des données physico-chimiques, des prélèvements d'eau et de sédiment ont également été effectués.

### III. Mesure des paramètres abiotiques et faunistiques du milieu

La température, la salinité et la teneur en oxygène dissous de l'eau ont été mesurés in situ. Le changement de couleur des horizons superficiels a permis d'estimer visuellement l'épaisseur moyenne de la couche oxydée du sédiment (Beyrem & Aïssa, 1998). Les caractéristiques granulométriques, notamment la médiane et la teneur en fraction fine, inférieure à 40 µm, ont été déterminées après tamisage à sec pour la première et sous l'eau pour la seconde.

Les hydrocarbures présents dans l'eau et les sédiments



**Figure 1 :** Localisation des stations prospectées.

- \* : Stations prospectées (A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2).
- E. R. : Emissaire de la raffinerie.
- \* : Phare.
- ♦ ♦ : Réservoirs d'hydrocarbures.
- J. N. : Jetée Nord.
- J. E. : Jetée Est.
- ① ② ③ : Radiales.
- D. a. h. : Digue anti-houle.

**Figure 1:** Localization of the prospected stations.

- \* : Prospected Stations (A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2).
- E. R. : Refinery's emissary.
- \* : Beacon.
- ♦ ♦ : Tank of hydrocarbons.
- J. N. : North pier.
- J. E. : East pier.
- ① ② ③ : Radials.
- D. a. h. : Anti-swell Dike.

ont été dosés par spectrophotométrie infra-rouge (voir Beyrem & Aïssa, 1998).

Les échantillons destinés à l'étude de la nématofaune ont été préalablement fixés au formol neutralisé (Beyrem & Aïssa, 1998) avant d'être passés sur un tamis de 1 mm de maille pour éliminer les particules grossières et la macrofaune. Les nématodes, séparés par la méthode de lévigation-tamissage (Vitiello & Dinét, 1979), ou de centrifugations successives (Heip et al., 1974) pour les stations riches en débris végétaux, ont été retenus sur un tamis de 40 µm de maille et comptés sous la loupe binoculaire. Les individus recensés dans chacun des replicats ont été ensuite réunis pour disposer d'un lot faunistique homogène par station (n = 100). Cette partie aliquote, jugée représentative par plusieurs auteurs (Dinét & Vivier, 1979 ; Vitiello & Aïssa, 1985) a été retenue compte tenu de la valeur moyenne des effectifs recensés, souvent inférieure à 1000 ind 10 cm<sup>2</sup>, et du fait que la présente étude est davantage destinée à déterminer une composition faunistique moyenne que à invento-

**Tableau 1 :** Valeurs des paramètres abiotiques au niveau des stations prospectées et des eaux rejetées (Rejet) par la raffinerie de Bizerte aux mois de juillet 1992 et 1996.

**Table 1:** Abiotic parameters values in the prospected stations and in waters discharged (Rejet) by the refinery of Bizerta during July 1992 and 1996.

Station Paramètres		Rejet	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2
Profondeur (m)	1992		0.20	4.00	13.00	0.50	10.00	0.50	13.00
	1996		0.30	4.50	12.50	0.70	9.50	0.60	12.70
Température des eaux du fond (°C)	1992	35.00	34.00	24.50	23.50	25.00	23.00	24.50	23.50
	1996	31.00	29.00	23.50	21.50	22.00	21.00	20.50	18.20
Salinité des eaux du fond (‰)	1992	36.60	37.30	37.10	37.10	37.20	37.40	38.00	37.20
	1996	36.30	37.20	37.90	37.60	37.60	37.80	37.90	37.80
Teneur des eaux du fond en oxygène dissous (mg l <sup>-1</sup> )	1992	4.20	4.30	6.20	6.50	6.10	6.00	6.20	6.20
	1996	5.10	5.80	7.60	6.90	7.20	7.40	7.80	5.40
Teneur des eaux en hydrocarbures (mg l <sup>-1</sup> )	1992	81.50	14.40	3.04	5.41	3.06	1.12	2.81	2.48
	1996	13.80	4.19	1.87	3.73	1.96	1.70	1.17	4.62
Teneur sédimentaire en hydrocarbures (mg g <sup>-1</sup> séd. sec)	1992		4.00	0.07	0.94	0.15	0.04	0.05	0.09
	1996		2.81	1.65	4.10	2.92	1.83	1.76	5.03
Médiane de la fraction grossière du sédiment (mm)	1992		0.19	0.16	0.16	0.22	0.18	0.20	0.15
	1996		0.17	0.17	0.15	0.25	0.19	0.22	0.14
Teneur sédimentaire en fraction fine (%)	1992		0.42	0.08	1.04	0.01	0.13	0.02	0.46
	1996		0.51	0.07	1.17	0.01	0.11	0.03	0.58
Epaisseur de la couche oxydée (cm)	1992		1.5	6.0	2.5	15.0	10.0	14.0	6.0
	1996		2.0	2.6	1.5	6.0	7.5	8.0	1.3

rier des espèces rares. Les nématodes ont été prélevés au hasard pour déterminer la structure spécifique des peuplements et mesurés au curvimètre pour estimer leurs biomasses individuelle et totale. La biomasse individuelle a d'abord été calculée en poids frais selon la méthode volumétrique d'Andrassy (1956) en retenant une densité volumétrique moyenne de 1,08 (Heip et al., 1974) puis en poids sec, égal à 25 % du poids frais estimé (Juario, 1975). La biomasse totale a été calculée, pour chaque communauté nématologique, à partir du poids moyen individuel estimé pour la fraction aliquote et de la densité moyenne préalablement calculée.

#### IV. Traitement des données

Le test *t* de Student (Schwartz, 1983), l'indice de diversité de Shannon-Wiener (Shannon & Weaver, 1963), l'indice de dominance D (Dajoz, 1996) et l'indice de similarité de Sanders (1960) ont été utilisés pour comparer respectivement les moyennes des densités, la diversité spécifique et la composition faunistique des communautés de nématodes. La corrélation entre les données faunistiques et certains facteurs du milieu a été évaluée par le coefficient *r* de Bravais-

Pearson (Schwartz, 1983). L'analyse statistique a été réalisée après transformation des densités moyennes *X* du type  $Y = \log X$  en raison de la distribution agrégative des nématodes (Elliott, 1977).

## Résultats

### I. Evolution des paramètres abiotiques

La profondeur des stations varie dans la baie entre 0,2 m (station A1) et 13 m (station C2), mais les sites présentent sensiblement le même faciès granulométrique et sont caractérisés comme sables fins peu envasés, avec une teneur en fraction fine toujours faible, ne dépassant pas 1 %, sauf à la station A3 (Tableau 1).

Après la mise en service en 1995 d'un second bassin de séparation par gravité en amont de l'émissaire, la qualité des eaux rejetées par la raffinerie s'est améliorée par rapport à 1992 (Tableau 1). Toutefois, ces eaux se distinguent encore des eaux marines collectées par leurs températures plus élevées, leurs salinités plus faibles, leurs teneurs en oxygène plus basses et des charges en hydrocarbures nettement plus

importantes (Tableau 1). Notons que, quelle que soit l'année considérée, les caractéristiques physico-chimiques des eaux rejetées ne modifient pas notablement la température, la salinité et la teneur des eaux en oxygène dissous dans le secteur étudié, hormis au niveau de la station A1, la plus proche de l'émissaire.

Par contre, les eaux comme les sédiments de l'ensemble des stations étudiées montrent des quantités en hydrocarbures considérables aussi bien en 1996 qu'en 1992. En ce qui concerne les eaux, les teneurs estivales relevées en 1996, souvent plus faibles qu'en 1992, oscillent entre 1,17 mg l<sup>-1</sup> (station C1) et 4,62 mg l<sup>-1</sup> (station C2). Au niveau des sédiments, les quantités en hydrocarbures pour l'été 1996 fluctuent de 1,65 mg g<sup>-1</sup> (station A2) à 5,03 mg g<sup>-1</sup> de poids sec de sédiment (station C2) et sont donc au contraire plus importantes qu'en 1992.

Au niveau de la station A1, directement soumise à l'action polluante des rejets, les eaux comme les sédiments présentent en 1996 une teneur en hydrocarbures plus faible qu'en 1992 (Tableau 1), ce qui prouve une amélioration de la qualité des eaux déversées et l'efficacité du second bassin de séparation. Les taux anormalement élevés, enregistrés en 1996 dans les sédiments de la station A3, proche du quai d'accostage des pétroliers, témoignent de l'intensification du trafic de ces navires. Les valeurs constatées le long des deux autres radiales, loin d'être négligeables et même plus élevées en certains points que celles observées au niveau du

premier transect (Tableau 1), font qu'aucune station ne peut être considérée comme site non pollué c'est-à-dire comme zone de référence.

Par ailleurs les sédiments, hormis ceux de la station A1, sont nettement plus réduits en 1996 qu'en 1992, notamment au niveau de la station A3 et de la station C2, susceptible d'être la plus influencée par les rejets des pétroliers accostant au voisinage de la digue Est, en raison des courants locaux déviés par la digue anti-houle. C'est ainsi que l'épaisseur moyenne de la couche oxydée du sédiment ne dépassait pas, tous prélèvements confondus, 4,13 cm en juillet 1996.

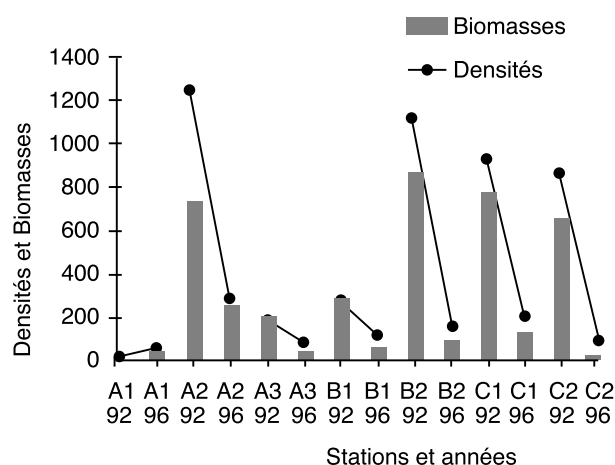
## II. Données faunistiques quantitatives

En 1996, la variation spatiale des densités moyennes de nématodes est moins spectaculaire qu'en 1992, les effectifs fluctuant de  $58 \pm 4,58$  ind 10 cm<sup>-2</sup> à  $289 \pm 6,65$  ind 10 cm<sup>-2</sup> (Tableau 2, Fig. 2). Les sédiments de la station A1, directement exposés aux hydrocarbures rejetés par la raffinerie, sont encore les plus pauvres. Les densités plus élevées, observées au niveau des deux autres stations littorales (B1 et C1) de profondeur comparable confirment que la communauté de nématodes la plus proche de l'émissaire est la plus affectée par la pollution pétrolière aussi bien en 1996 qu'en 1992. En revanche, les densités de nématodes apparaissent toujours maximales au niveau de la station A2, intercalée entre les stations A1 et A3. Par conséquent, l'effet des eaux rejetées par la raffinerie s'estompe rapide-

**Tableau 2 :** Données quantitatives et qualitatives de la nématofaune et concentrations sédimentaires en hydrocarbures (hydr.).

**Table 2:** Quantitative and qualitative data on the nematofauna and the sediment hydrocarbon content (hydr.).

Station Paramètres		A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	Moyenne globale
Densité de nématodes (ind 10 cm <sup>-2</sup> )	1992	14 + 1,15	1239 + 41,04	166 + 7,02	264 + 12,22	1111 + 41,47	909 + 31,19	837 + 34,23	648,57
Densité de nématodes (ind 10 cm <sup>-2</sup> )	1996	58 + 4,58	289 + 6,65	71 + 2,08	103 + 4,72	142 + 6,65	186v + 3,60	69 + 3,21	131,14
Biomasse totale (µg 10 cm <sup>-2</sup> , poids sec)	1992	15,25	729,25	201,75	178	850	753,5	626,50	479,18
	1996	42,05	258,65	31,06	49,18	77,39	109,74	18,46	83,79
Poids individuel (µg, poids sec)	1992	1,08	0,58	1,21	1,05	0,76	0,83	0,75	0,89
	1996	0,72	0,89	0,44	0,47	0,55	0,59	0,27	0,56
Nombre d'espèces de nématodes	1992	2	36	33	29	48	28	26	28,85
	1996	10	21	7	10	17	18	13	13,71
H' (bits)	1992	0,72	4,35	4,87	4,29	5,06	4,11	3,86	3,89
	1996	1,9	3,66	2,69	2,86	3,44	3,19	1,76	2,78
Indice de dominance D	1992	100	275,33	448,65	318,07	521,59	343,02	259,13	323,68
	1996	156,75	275,24	253,57	198,07	249,12	216,28	123,21	210,32
Teneur des séd. en hydr. (mg g <sup>-1</sup> séd. sec)	1992	4	0,07	0,94	0,15	0,04	0,05	0,09	0,76
	1996	2,81	1,65	4,1	2,92	1,83	1,76	5,03	2,87



**Figure 2 :** Valeurs des densités de nématodes (ind 10 cm<sup>-2</sup>) et de leurs biomasses totales (µg 10 cm<sup>-2</sup>) pour juillet 1992 et 1996 aux différentes stations étudiées dans la baie de Bizerte.

**Figure 2:** Nematode densities (ind 10 cm<sup>-2</sup>) and their total biomasses (µg 10 cm<sup>-2</sup>) in July 1992 and 1996, at the different stations investigated.

ment vers le large. Quant aux communautés des stations du large (A3, B2 et C2), elles présentent des effectifs intermédiaires, la station A3 proche du quai d'accostage des pétroliers semblant la moins peuplée d'entre elles, notamment en 1996.

La comparaison des moyennes nématologiques par le test *t* de Student confirme pour 1996 l'hétérogénéité spatiale des effectifs de nématodes déjà constatée en 1992 (Tableau 3). Ce test met également en évidence, pour chacune des stations, sauf A1, une chute hautement significative des densités de nématodes de 1992 à 1996 (Tableau 3, Fig. 2).

Hormis à la station A2, toujours occupée par la communauté de nématodes la plus dense, les biomasses individuelles décroissent partout en 1996 parallèlement à l'enrichissement des sédiments en hydrocarbures (Tableau 2).

Les valeurs des biomasses totales de nématodes libres pour les années 1992 et 1996 fluctuent généralement comme celles des densités (Fig. 2). Ainsi, les stations les plus polluées de la première radiale (A1 et A3) se distinguent, quelle que soit l'année d'observation, par leurs biomasses totales plus faibles. Une chute des biomasses totales de nématodes

**Tableau 3 :** Comparaison des densités nématologiques moyennes, par le test *t* de Student, pour juillet 1996 (caractère standard, à droite de la diagonale), juillet 1992 (caractère italique, à gauche de la diagonale) et entre les deux prélèvements (en gras sur la diagonale)

NS : différence non significative au seuil de 5%.

\* : différence significative au seuil de 5%.

\*\* : différence hautement significative au seuil de 1%.

&& : *t* non calculé à cause de l'hétérogénéité des variances.

**Table 3:** Comparison of the mean value of nematode densities by the Student's *t*-test for July 1996 (standard character, on the right side of the diagonal), July 1992 (italic character, on the left side of the diagonal) and between the two samples (in bold, on the diagonal).

NS: no significant difference at *p* < 0.05

\* : significant difference at *p* < 0.05

\*\* : highly significant difference at *p* < 0.01

&&: *t* not calculated because of heterogeneity of variances.

<i>t</i> 96 <i>t</i> 96-92 <i>t</i> 92	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2
A1	<b>4,39</b> *	17,70 **	0,90 NS	3,01 *	5,35 **	7,75 **	1,01 NS
A2	9,48 *	<b>16,5</b> **	14,58 **	11,95 **	9,04 **	6,04 **	18,69 **
A3	&&	34,09 **	<b>8,17</b> **	1,92 NS	4,10 *	6,37 **	0,15 NS
B1	&&	26,57 **	19,72 **	<b>12,78</b> **	2,18 NS	4,47 *	2,45 NS
B2	9,23 *	1,27 NS	28,47 **	21,69 **	<b>16,2</b> **	2,29 NS	4,98 **
C1	&&	4,70 *	43,56 **	32,68 **	2,74 NS	<b>24,69</b> **	7,54 **
C2	8,39 *	2,75 NS	12,22 **	8,74 **	1,94 NS	0,61 NS	<b>8,61</b> **

est enregistrée partout en 1996, à l'exception de la station A1 qui montre une amélioration de la qualité des sédiments par rapport à 1992 ; cette diminution est liée à l'appauvrissement numérique des peuplements, concomitant à l'enrichissement des sites en hydrocarbures (Tableau 2).

### III. Données faunistiques qualitatives

Celles-ci mettent en évidence une nette variation spatio-temporelle de la structure des peuplements de nématodes, plus ou moins diversifiés selon les teneurs des sédiments en hydrocarbures (Tableaux 2 et 4). C'est ainsi que la station A1, exposée en permanence aux rejets de la raffinerie, est non seulement la plus pauvre numériquement mais aussi spécifiquement avec seulement deux espèces en 1992 et dix en 1996 (Tableau 4). La station A2, un peu plus éloignée de

l'émissaire, apparaît en 1996 comme en 1992 beaucoup plus diversifiée que la station A1, avec un indice de dominance toujours plus élevé. Au niveau des autres stations, à l'exception de la station C2 en 1996, les valeurs des indices de diversité sont relativement élevées et avoisinent 3 bits. En 1996, une chute manifeste de la diversité spécifique est enregistrée, tous prélèvements confondus; ainsi, seules 54 espèces de nématodes ont été recensées contre 101 en 1992 (Tableau 4).

Les indices de dominance sont souvent plus faibles en 1996, excepté à la station A1 (Tableau 2), les peuplements de nématodes étant constitués majoritairement d'espèces dominantes (Tableau 4).

Les indices de similarité biocénotique de Sanders ne révèlent, aussi bien en 1996 qu'en 1992, aucune affinité

**Tableau 4** : Liste des espèces de nématodes identifiées dans les stations étudiées. Cette liste ne comporte que les espèces dont la dominance (D %) est supérieure à 1 % dans au moins l'un des prélèvements. S\*\* : nombre des espèces dominantes (D > 1 %), S : nombre total d'espèces par station. En gras sont indiquées les dominances des deux espèces caractéristiques de chaque station (caractère standard pour 1992 et italique pour 1996).

**Table 4**: List of the species of nematodes from the studied stations. The list includes only species whose dominance (D %) is higher than 1% at least in one of the samples. S\*\*: number of dominant species (D > 1%). S: total number of species by station. The dominances of two characteristic species from each station are indicated in bold (standard character for 1992 and italic for 1996).

Stations		A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2
Espèces de nématodes libres		D %	D %	D %	D %	D %	D %	
<i>Aegialoalaimus</i> sp.	1992	-	-	1,2	-	-	-	-
	1996	-	-	-	-	0,7	-	-
<i>Anoplostoma viviparum</i> (Bastian, 1865)	92	-	-	-	-	-	-	1,91
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ascolaimus</i> sp.	92	-	1,2	-	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anticoma acuminata</i> (Eberth, 1863)	92	-	-	-	-	1,98	9,02	1,91
	96	1,72	1,04	-	-	-	1,07	-
<i>Calomicrolaimus honestus</i>	92	-	0,97	-	3,03	5,13	1,98	-
(Jayasree & Warwick, 1977)	96	1,72	<b>25,61</b>	-	-	-	-	-
<i>Ceramonema</i> sp.	92	-	2,02	-	-	1,98	0,99	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chromadora brevipapillata</i>	92	-	-	-	1,9	-	-	-
Micoletzky, 1924	96	1,72	-	2,82	<b>26,22</b>	-	1,07	-
<i>Chromadorella</i> sp.	92	-	-	-	3,03	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Comesoma bermudense</i>	92	-	2,02	1,2	3,03	1,98	<b>17,17</b>	-
Jensen & Gerlach, 1977	96	-	-	<b>19,72</b>	6,8	-	-	-
<i>Comesoma cuanensis</i> (Platt, 1982)	92	-	-	-	1,14	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	1,07	-
<i>Crenopharynx</i> sp.	92	-	-	-	-	1,98	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chromaspirinia parapontica</i>	92	-	2,02	-	-	-	-	-
Luc & De Coninck, 1959	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chromaspirinia pontica</i> Filipjev, 1918	92	-	-	-	-	0,99	-	1,91
	96	-	<b>10,73</b>	-	-	4,93	-	-
<i>Cyartonema germanicum</i> Juario, 1972	92	-	0,97	-	-	0,99	-	-
	96	-	-	-	-	4,93	-	-
<i>Daptonema hirsutum</i> (Vitiello, 1967)	92	<b>78,57</b>	2,02	-	-	-	-	-
	96	<b>36,21</b>	3,11	-	-	-	-	-
<i>Daptonema aff. normandicum</i>	92	-	-	-	1,9	0,99	-	<b>22,36</b>
(De Man, 1890)	96	-	-	-	2,91	-	-	<b>59,42</b>
<i>Daptonema</i> sp. 1	92	-	2,02	3,01	3,03	0,99	-	-
	96	-	-	9,86	-	-	-	-
<i>Daptonema</i> sp. 2	92	-	0,97	<b>9,66</b>	-	-	-	1,91
	96	-	-	-	-	16,21	-	-
<i>Daptonema</i> sp. 3	92	-	0,97	1,81	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-

<i>Dichromadora aff. geophila</i> Kreis, 1929	92	-	-	-	1,9	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diplolaimella stagnosa</i> Lorenzen, 1966	92	<b>21,43</b>	-	1,2	-	-	-	-
	96	<b>27,6</b>	-	-	-	-	-	-
<i>Ditlevsenella tertia</i> Wieser, 1953	92	-	7,24	3,03	5,13	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Enoploides tyrrhenicus</i> Brunetti, 1949	92	-	-	-	1,9	1,98	-	-
	96	-	-	-	-	-	2,15	-
<i>Enoploides</i> sp.	92	-	-	1,2	1,14	-	4,95	-
	96	-	-	-	4,85	4,22	2,15	-
<i>Eubostrichus</i> sp.	92	-	-	1,81	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Filitonchus</i> sp.	92	-	-	4	-	0,99	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Halanonchus</i> sp.	92	-	<b>11,14</b>	-	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	0,7	-	-
<i>Kraspedonema reflectans</i> Gerlach, 1964	92	-	-	-	-	1,98	-	-
	96	-	-	-	-	<b>23,95</b>	-	-
<i>Latronema orcinum</i> Gerlach, 1952	92	-	0,97	-	-	-	-	-
	96	-	2,08	-	-	6,34	-	-
<i>Lauratonema hospitum</i> Gerlach, 1954	92	-	-	-	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	12,37	-
<i>Leptolaimus</i> sp.	92	-	-	-	1,9	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Leptonemella</i> sp.	92	-	-	1,2	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Longicyatholaimus longicaudatus</i>	92	-	<b>25,16</b>	1,2	1,9	-	0,99	-
Micoletzky, 1924	96	-	2,08	-	-	-	-	-
<i>Marylynnia belbula</i> Hopper, 1972	92	-	-	1,2	1,9	0,99	-	1,91
	96	-	-	-	<b>24,28</b>	-	4,85	-
<i>Mesacanthion aff. hirsutum</i>	92	-	-	-	4,91	-	-	-
Gerlach, 1952	96	-	-	-	-	-	-	1,45
<i>Mesacanthion longissimesetosum</i>	92	-	-	3,01	1,14	-	-	-
Wieser, 1953	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Metadesmolaimus</i> sp.	92	-	-	-	-	7,11	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Metalinhomoeus torosus</i>	92	-	0,97	1,2	-	-	0,99	-
Jensen & Gerlach, 1976	96	-	1,04	<b>19,72</b>	-	-	1,07	-
<i>Microlaimus</i> sp.	92	-	0,97	1,2	3,03	1,98	-	1,91
	96	-	-	-	2,91	-	-	2,9
<i>Microlaimidae</i> sp.	92	-	-	-	-	1,98	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Monoposthia mirabilis</i> Schulz, 1932	92	-	8,07	6,02	-	1,98	0,99	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Neotonchus</i> sp.	92	-	-	-	-	-	1,98	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Neochromadora paramunita</i>	92	-	-	1,2	-	0,99	-	8,24
Boucher, 1976	96	24,15	1,04	-	15,53	2,11	-	2,9
<i>Neochromadora poecilosoma</i>	92	-	-	1,2	-	1,98	-	-
Micoletzky, 1929	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nudora gerlachi</i> Andrassy, 1973	92	-	-	-	-	0,99	1,98	1,91
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Odontophora villoti</i>	92	-	0,97	4,22	-	1,98	-	1,91
Luc & De Coninck, 1959	96	1,72	5,89	-	8,74	2,11	-	1,45
<i>Oncholaimellus calvadosicus</i>	92	-	-	-	-	1,98	-	-
De Man, 1890	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paradesmodora supplementatis</i>	92	-	-	-	1,9	-	-	-
Inglis, 1968	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paramesonchium</i> sp.	92	-	-	-	-	0,99	2,97	0,95
	96	-	-	-	-	-	1,07	1,45
<i>Paracyatholaimus pugettensis</i>	92	-	-	-	<b>7,18</b>	7,11	-	-
Wieser & Hopper, 1967	96	-	3,11	-	-	-	-	-
<i>Parasphaerolaimus paradoxus</i>	92	-	-	-	1,9	0,99	-	-
Ditlevsen, 1918	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paramonhystera proteus</i> Wieser, 1956	92	-	-	7,24	-	-	-	-
	96	-	<b>10,73</b>	-	-	-	-	1,45
<i>Paramonhystera wieseri</i> Ott, 1977	92	-	2,98	-	-	0,99	-	1,91
	96	1,72	-	14,08	-	-	3,23	-
<i>Pomponema elegans</i> Lorenzen, 1972	92	-	2,02	-	-	-	-	1,91
	96	-	4,84	15,49	-	-	-	-

<i>Pomponema polydontum</i> Murphy, 1963	92	-	2,02	-	-	-	-	-
	96	-	4,14	-	-	-	23,66	-
<i>Pomponema sedecima</i> Platt, 1973	92	-	2,02	1,2	-	-	-	-
	96	-	4,14	-	-	-	-	-
<i>Pomponema tautraensis</i> Allgen, 1933	92	-	-	-	1,9	0,99	1,98	3,23
	96	-	-	-	-	-	-	1,45
<i>Promonhystera tricuspidata</i> Wieser, 1956	92	-	-	-	-	-	<b>11,99</b>	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pselionema</i> sp.	92	-	-	1,2	1,14	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	1,07	-
<i>Pseudolella</i> sp.	92	-	-	-	-	-	0,99	3,23
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ptycholaimellus</i> aff. <i>ponticus</i> (Filipjev, 1922)	92	-	2,02	-	-	0,99	0,99	1,91
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhips paraornata</i> Platt & Zheng, 1982	92	-	-	-	1,9	0,99	0,99	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sabatieria celtica</i> Southern, 1914	92	-	2,02	6,63	-	-	3,96	-
	96	1,72	-	-	-	2,11	-	-
<i>Sabatieria</i> aff. <i>granulosa</i> Vitiello & Boucher, 1971	92	-	2,98	3,01	1,9	2,88	0,99	14,23
	96	-	-	-	2,91	-	2,15	1,45
<i>Scaptrella cincta</i> Cobb, 1917	92	-	0,97	-	-	-	-	-
	96	-	1,04	-	-	-	-	-
<i>Setosabatieria</i> aff. <i>hilarula</i> (De Man, 1922)	92	-	6,05	3,01	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	9,86	-	-
<i>Sigmophoranema rufum</i> (Cobb, 1933)	92	-	-	-	6,05	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Siphonolaimus</i> sp.	92	-	-	1,81	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	1,45
<i>Spirinia gerlachi</i> (Luc & De Coninck, 1959)	92	-	-	1,81	-	-	1,98	-
	96	-	-	-	-	-	1,07	-
<i>Synonchiella</i> sp.	92	-	-	-	-	-	-	0,95
	96	-	-	-	-	-	-	1,45
<i>Tarvaia augusta</i> Gerlach, 1953	92	-	-	-	-	-	-	-
	96	-	2,08	-	-	-	-	-
<i>Tarvaia cladara</i> Vitiello, 1974	92	-	-	3,01	-	0,99	-	0,95
	96	-	-	-	-	4,22	-	-
<i>Tarvaia</i> sp.	92	-	-	1,81	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Terschellingia longicaudata</i> De Man, 1907	92	-	-	-	-	-	0,99	-
	96	-	-	-	-	-	6,99	-
<i>Thalassolaimus tardus</i> De Man, 1893	92	-	-	1,2	-	-	-	-
	96	-	2,08	-	-	-	-	1,45
<i>Thalassironus</i> sp.	92	-	-	-	-	0,99	-	0,95
	96	-	1,04	-	-	2,11	-	-
<i>Theristus</i> aff. <i>modicus</i> Wieser, 1956	92	-	-	-	-	-	-	1,91
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thoönchus inermis</i> Gerlach, 1953	92	-	-	-	-	<b>24,2</b>	0,99	-
	96	-	-	-	-	4,85	-	-
<i>Trefusia schiemi</i> Ott, 1977	92	-	-	-	-	-	0,99	-
	96	-	1,04	-	-	-	-	-
<i>Tricotheristus mirabilis</i> Wieser, 1956	92	-	0,97	-	4,17	9,09	1,98	0,95
	96	-	-	-	-	-	10,22	-
<i>Valvaealaimus</i> aff. <i>major</i> Lorenzen, 1976	92	-	0,97	-	-	1,98	1,98	<b>16,27</b>
	96	-	-	<b>18,31</b>	-	2,11	-	<b>21,74</b>
<i>Viscosia cobbi</i> Filipjev, 1918	92	-	2,98	<b>12,67</b>	-	-	8,03	1,91
	96	1,72	3,11	-	-	12,69	<b>22,6</b>	-
<i>Viscosia</i> aff. <i>langrunensis</i> De Man, 1890	92	-	2,98	-	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Viscosia</i> sp.	92	-	-	-	6,05	<b>10,09</b>	10,12	-
	96	-	-	-	-	-	-	-
<i>Xyala</i> sp.	92	-	-	-	1,9	0,99	6,05	1,91
	96	-	10,03	-	-	-	2,15	-
TOTAL		S**	2	18	33	29	20	20
(par station)	1992	S	2	36	33	29	48	26
		S**	10	21	7	10	14	13
	1996	S	10	21	7	10	17	13



faunistique entre les peuplements des stations étudiées (Tableau 5). D'après ces mêmes indices, la composition des peuplements nématologiques pour l'été 1996 apparaît spécifiquement différente ou hautement différente de celle observée en 1992 au niveau de tous les sites de prospection à l'exception des stations A1 et C2 (Tableau 5).

## Discussion

Tout le secteur prospecté montre des teneurs très élevées en hydrocarbures aussi bien dans les sédiments que dans les eaux. Ainsi, les concentrations moyennes en hydrocarbures évaluées pour chacune des trois radiales apparaissent souvent plus fortes que les teneurs moyennes relevées en Méditerranée occidentale, aussi bien en 1992 qu'en 1996. Ces teneurs ne se rapprochent, pour les sédiments, que de celles observées dans d'autres milieux pollués tels que les

environs de la raffinerie de Lavera, (secteur de Fos-sur-mer) et certains points de la lagune de Bizerte (Tableau 6). Pour les eaux, les concentrations dans la baie de Bizerte durant les étés 1992 et 1996 ne sont comparables qu'à celles enregistrées dans le port de la Madrague (Marseille) et dans les secteurs pollués du lac et du golfe de Tunis (Tableau 6). Il semble que les rejets provenant de la raffinerie soient, quelle que soit l'année, une source de perturbation permanente pour la baie de Bizerte, ce que confirment les fortes teneurs en hydrocarbures relevées dans les sédiments au voisinage immédiat de l'émissaire. En dépit de l'installation en 1995 d'un second bassin de décantation, l'amélioration de la qualité des eaux et des sédiments de l'été 1992 à l'été 1996 n'est apparente qu'au niveau de la station A1, celle-ci restant cependant chargée en hydrocarbures. L'effet localisé de ces rejets permanents est confirmé par le fait que la station A2, un peu plus éloignée de l'émissaire, apparaît en 1996 comme en 1992 moins affectée que la station A1 (Tableau 1).

**Tableau 5 :** Indices d'affinité faunistique de Sanders (I. S) entre les peuplements de nématodes de 1996 (caractère standard, à droite de la diagonale) et de 1992 (caractère italique, à gauche de la diagonale). Les valeurs se trouvant dans la diagonale (en gras) correspondent à l'indice de Sanders entre les deux prélèvements.

A : Associations apparentées

\* : Associations différentes

\*\* : Associations très différentes

\*\*\*: Associations hautement différentes

**Table 5:** The Sanders index of faunistic affinity (I. S) between nematode communities in 1996 (standard character, on the right side of the diagonal) and in 1992 (italic character, on the left side of the diagonal). Values in the diagonal (in bold) corresponds to the Sanders index between the two samples.

A : similar associations

\* : different associations

\*\* : very different associations

\*\*\*: highly different associations

I. S 96 I. S 92-96 I. S 92	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2
A1	<b>58</b> <b>4</b>	10 **	3 ***	18 **	7 ***	6 ***	4 ***
A2	2 ***	<b>18</b> **	6 ***	7 ***	14 **	11 **	5 ***
A3	1 ***	27 **	<b>5</b> ***	10 **	2 ***	5 ***	18 **
B1	0 ***	11 **	16 **	<b>20</b> **	8 ***	10 **	12 **
B2	0 ***	18 **	21 **	39 *	<b>11</b> **	15 **	6 ***
C1	0 ***	16 **	20 **	18 **	30 *	<b>20</b> **	3 ***
C2	0 ***	15 **	13 **	12 **	25 **	17 **	<b>50</b> A

**Tableau 6** : Données bibliographiques sur les teneurs en hydrocarbures totaux (Hyd. T) enregistrées en Méditerranée occidentale au niveau des eaux et des sédiments.

\* : Les techniques de dosage varient d'un auteur à l'autre.

R1, R2 et R3 : moyennes des valeurs obtenues pour chacune des trois radiales étudiées ici.

**Table 6:** Bibliographic data on total hydrocarbon contents (Hyd. T) registered in occidental Mediterranean waters and sediments.

\*: Dosage techniques vary from one author to the other

R1, R2 and R3: mean values obtained in each of the three radials investigated here.

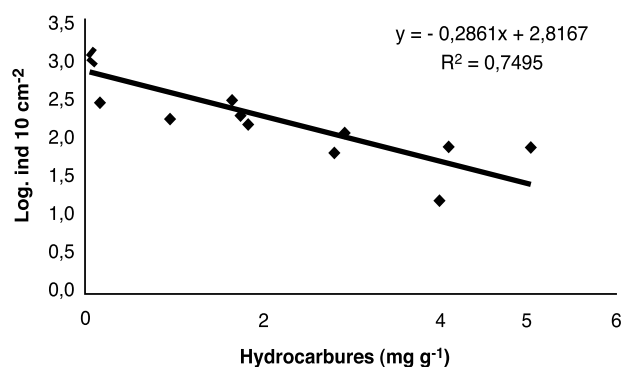
Lieu des prélèvements	Teneurs en Hyd. T * dans les sédiments	Teneur en Hyd. T * dans les eaux	Référence
Port de la Madrague (Marseille)		53,5 ppm	Kantin, 1977
Golfe de Fos/Mer près de la raffinerie de Lavera	0,04 - 47,58 g kg <sup>-1</sup> séd. sec		Le Dréau et al., 1997
Littoral de Monaco - Fos/Mer	20,6 - 1490 mg kg <sup>-1</sup> séd. sec		Mille et al., 1982
Carry-le-Rouet/Sausset- les Pins (Stations balnéaires, France)		0,15 - 1,3 ppm	Guiliano et al., 1981
Littoral algérien	0,001 - 36 µg g <sup>-1</sup>		Sellali et al., 1993
Lac de Tunis	16,5 - 150 µg g <sup>-1</sup>	7,5 - 1250 µg l <sup>-1</sup>	Ghabi & Hadj Ali, 1993
Golfe de Tunis	1,8 - 122,5 µg g <sup>-1</sup>	2,5 - 1250 µg l <sup>-1</sup>	Ghabi & Hadj Ali, 1993
Lagune de Bizerte	20 - 505 mg kg <sup>-1</sup> 2 - 20 µg g <sup>-1</sup>	2 - 120 µg l <sup>-1</sup>	Soussi, 1981 Ghabi & Hadj Ali, 1993
Baie de Bizerte été 1992	R1: 1,67 mg g <sup>-1</sup> séd. sec R2: 0,09 mg g <sup>-1</sup> séd. sec R3: 0,07 mg g <sup>-1</sup> séd. sec	R1: 7,61 mg l <sup>-1</sup> R2: 2,09 mg l <sup>-1</sup> R3: 2,64 mg l <sup>-1</sup>	Beyrem & Aissa, 1998
été 1996	R1: 2,85 mg g <sup>-1</sup> séd. sec R2: 2,37 mg g <sup>-1</sup> séd. sec R3: 3,39 mg g <sup>-1</sup> séd. sec	R1: 3,26 mg l <sup>-1</sup> R2: 1,83 mg l <sup>-1</sup> R3: 2,89 mg l <sup>-1</sup>	Beyrem & Aissa (Présent travail)

Les fortes teneurs relevées ailleurs dans les sédiments (stations A3, B1, B2, C1 et C2) mettent en évidence une seconde source de pollution engendrée par les pétroliers qui accostent le long de la digue Est et qui, probablement, déversent illégalement des hydrocarbures contaminant tout le secteur.

La grande hétérogénéité numérique et structurale des communautés des nématodes, très rapprochées spatialement, confirme que les stations étudiées sont différemment touchées tant en 1992 qu'en 1996 par les hydrocarbures en provenance des deux sources polluantes.

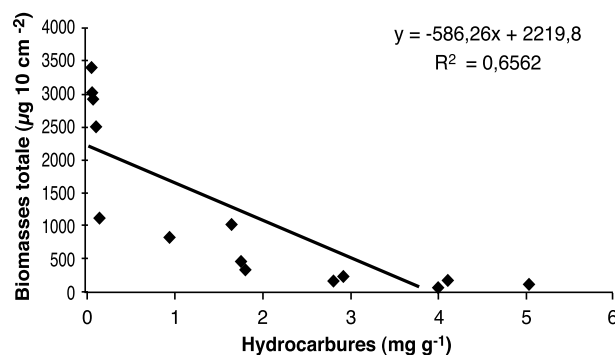
Si la granulométrie et la bathymétrie, qui ne varient pas significativement dans notre étude, ont souvent été mentionnées comme des facteurs limitant la taille individuelle et la composition faunistique des peuplements nématologiques

(Dinet & Vivier, 1979 ; Heip et al., 1985 ; Soetaert & Heip, 1989), le rôle dévolu aux hydrocarbures a été moins analysé (Boucher, 1980 ; Elmgren et al., 1983). C'est ainsi que dans la baie de Bizerte les densités de nématodes, leurs biomasses, individuelles ou totales, ainsi que l'indice de diversité spécifique ( $H'$ ) sont en 1996 comme en 1992, négativement et significativement corrélés aux concentrations en hydrocarbures des sédiments (Figs 3, 4, 5, 6). En 1996, la baisse du poids moyen individuel observée dans les sédiments de la station A1, encore très riches en hydrocarbures, semble liée à une restructuration temporelle du peuplement visible en considérant seulement la dominance des trois premières espèces apparemment adaptées à de fortes teneurs en hydrocarbures ; ainsi l'espèce dominante *Daptonema hirsutum*, d'assez grande taille, devient nettement moins abon-



**Figure 3.** Corrélation de Pearson, tous prélèvements considérés (juillet 1992 et 1996), entre les densités de nématodes (ind 10 cm<sup>-2</sup>, données transformées,  $y = \text{Log } x$ ) et les teneurs sédimentaires en hydrocarbures (mg g<sup>-1</sup>) dans la baie de Bizerte.

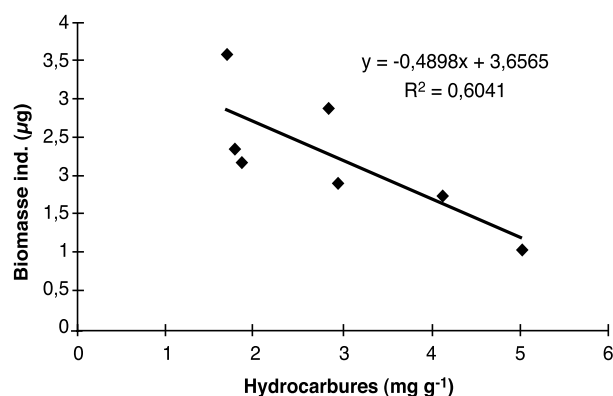
**Figure 3.** Pearson Correlation, all samples considered (July 1992 and 1996), between nematods densities (ind 10 cm<sup>-2</sup>, transformed data,  $y = \text{Log } x$ ) and hydrocarbon content (mg g<sup>-1</sup>) in the sediments of the bay of Bizerta.



**Figure 4.** Corrélation de Pearson, tous prélèvements confondus (juillet 1992 et 1996), entre les biomasses totales des nématodes libres (poids sec, µg 10 cm<sup>-2</sup>) et les teneurs sédimentaires en hydrocarbures (mg g<sup>-1</sup>) aux différentes stations étudiées dans la baie de Bizerte.

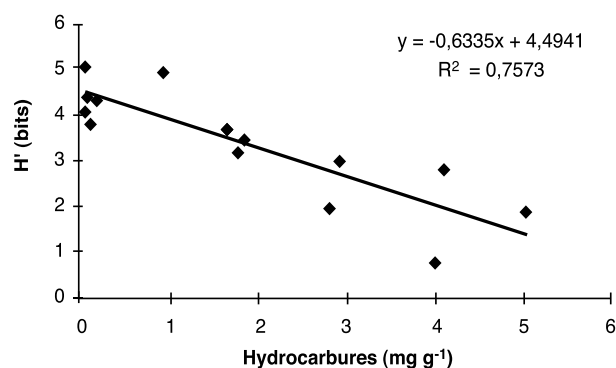
**Figure 4.** Pearson correlation, all samples considered (July 1992 and 1996), between the total biomass of nematodes (dry weight, µg 10 cm<sup>-2</sup>) and hydrocarbon content (mg g<sup>-1</sup>) at the different stations investigated in the bay of Bizerta.

dante en 1996 au profit de deux espèces de taille plus petite comme *Diplolaimella stagnosa* et le lécheur d'épistrates *Neochromadora paramunita*, absent du site en 1992. Il est certain que ces polluants organiques sont responsables, au niveau des stations les plus polluées, d'une chute des densités des peuplements, de leur biomasse totale et de leur diversité, en augmentant la mortalité d'espèces sensibles telles que par exemple *Ptycholaimellus aff. ponticus* (Filipjev, 1922) et *Monoposthia mirabilis* (Schulz, 1932) absentes des prélèvements de 1996. Au niveau des stations éloignées de la raffinerie (A2, A3, B1, B2, C1, C2), les plus faibles



**Figure 5.** Corrélation de Pearson entre les biomasses individuelles moyennes (poids sec, µg) et les teneurs sédimentaires en hydrocarbures (mg g<sup>-1</sup>) pour juillet 1996 aux différentes stations étudiées dans la baie de Bizerte.

**Figure 5.** Pearson correlation between mean individual biomass (dry weight, µg) and sediment hydrocarbon content (mg g<sup>-1</sup>) for July 1996 in the bay of Bizerta.



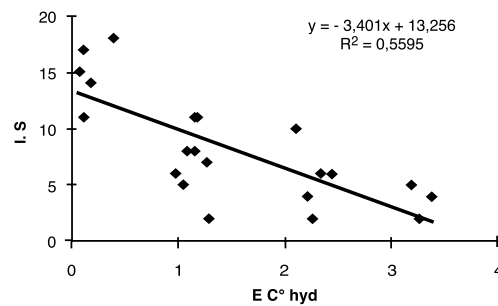
**Figure 6.** Corrélation de Pearson, tous prélèvements confondus (juillet 1992 et 1996), entre l'indice de diversité de Shannon (H' en bits) et les teneurs sédimentaires en hydrocarbures (mg g<sup>-1</sup>) aux différentes stations étudiées dans la baie de Bizerte.

**Figure 6.** Pearson correlation, all samples considered (July 92 and 96), between Shannon diversity index (H' in bits) and sediment hydrocarbon content (mg g<sup>-1</sup>) at the different stations investigated in the bay of Bizerta.

valeurs des indices de diversité sont relevées pour la communauté peuplant la station C2, ce site étant particulièrement exposé aux hydrocarbures déversés par les pétroliers ; les plus fortes valeurs enregistrées aux autres stations semblent indiquer le caractère non permanent de la pollution constatée. Ainsi, lors du déversement accidentel d'hydrocarbures, les nématodes peuvent migrer provisoirement en profondeur pour se soustraire au polluant sans grande modification de la composition du peuplement et de sa diversité spécifique (Boucher, 1981). Cependant, l'intensification des déversements ponctuels d'hydrocarbures et surtout leur

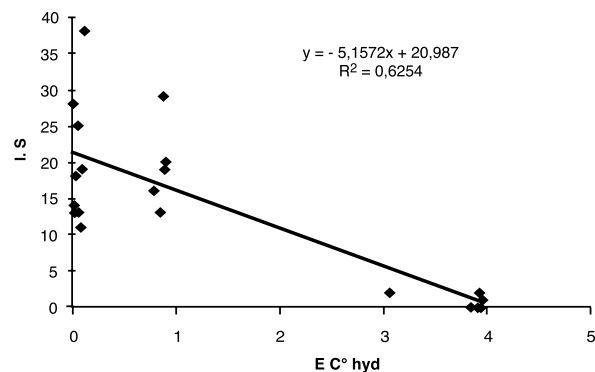
accumulation de 1992 à 1996 au sein des sédiments accroissent leur degré de contamination, ce qui provoque une chute manifeste de la diversité spécifique en 1996.

Il ne faut pas négliger non plus l'effet indirect des hydrocarbures sur les peuplements de nématodes libres. Ainsi, la concentration de ces polluants dans la colonne d'eau tend à former un écran à l'origine d'une diminution de l'activité photosynthétique (Lacaze, 1993), des teneurs en chlorophylle (Boucher et al., 1984) et secondairement d'une déplétion de l'oxygène dissous. Ce phénomène intensifié par la sédimentation des hydrocarbures pourrait se répercuter sur le métabolisme des nématodes et entraîner la sélection d'espèces sténobiontes ; ceci expliquerait par voie de conséquence la diminution de la biomasse moyenne individuelle observée en 1996, dans presque tout le secteur, parallèlement à l'accroissement des teneurs des eaux et des sédiments en hydrocarbures. Plusieurs travaux étayaient cette hypothèse. Ainsi, selon Heip (1995), les communautés benthiques vivant dans des sédiments où la disponibilité de l'oxygène est limitée seraient largement dominées par des espèces opportunistes tendant à être plus petites. D'après Jensen (1987), il existe une relation morphométrique entre la longueur du corps des nématodes et leur diamètre moyen, les espèces étant plus effilées lorsqu'elles sont inféodées aux sédiments pauvres en oxygène. Pour un milieu totalement différent, celui de mer profonde, Soetaert & Heip (1989) ont montré d'une part que la proportion des nématodes de petite taille tendait à augmenter avec la hauteur de la colonne d'eau et la diminution de nourriture disponible et d'autre part que la profondeur de pénétration dans le sédiment pouvait influencer sur la taille des individus. Même si la répartition verticale des communautés n'a pas été abordée dans notre étude, il est probable que la présence d'hydrocarbures à la surface du sédiment entraîne une diminution d'oxygène, limitant à la fois la dimension moyenne des nématodes et leur pénétration dans le sédiment. Il faut ajouter que la présence à l'interface eau-sédiment d'une pellicule d'hydrocarbures peut entraîner secondairement, par suite d'une régression des microphytes, le déclin de la catégorie alimentaire des nématodes lécheurs d'épistrates et la prédominance des détritivores. La conjugaison de tous ces effets est à l'origine de la sélection de certaines espèces capables de s'adapter à de hauts niveaux de pollution pétrolière telles que *Diplolaimella stagnosa* (Lorenzen, 1966), particulièrement ténue, (Station A1) ou *Daptonema aff. normandicum*, de taille moyenne, (station C2). Comme le soulignent Ratsimbazafy et al. (1994), c'est la diversité de taille et de morphologie des nématodes qui leur permet de s'adapter à différents types de sédiments. Ceci pourrait expliquer l'hétérogénéité spatiale des communautés nématologiques peuplant des stations très proches et peu différentes aux plans halin, thermique et granulométrique. L'impact de la présence dans les sédiments de concentrations variables mais tou-



**Figure 7a.** Relation entre les valeurs de l'indice d'affinité de Sanders (I. S.) et les écarts spatiaux des teneurs sédimentaires en hydrocarbures (E C° hyd) pour juillet 1996 (toutes stations prises deux à deux).

**Figure 7a.** Relation between the values of the Sanders faunistic affinity index and the spatial interval of sediment hydrocarbon content in July 1996 (all stations two by two).



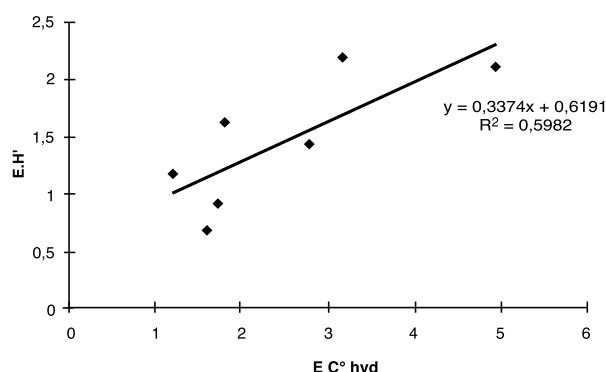
**Figure 7b.** Relation entre les valeurs de l'indice de Sanders (I. S.) et les écarts spatiaux des teneurs sédimentaires en hydrocarbures (E C° hyd) pour juillet 1992 (toutes stations prises deux à deux).

**Figure 7b.** Relation between the values of the Sanders faunistic affinity index and the spatial interval of sediment hydrocarbon content in July 1992 (all stations two by two).

jours importantes d'hydrocarbures est confirmé par la corrélation négative, hautement significative, trouvée en 1996 comme en 1992 entre l'indice d'affinité faunistique et l'écart spatial des teneurs sédimentaires en hydrocarbures pour l'ensemble des stations (Fig. 7).

Avec l'accroissement du trafic pétrolier dans toute la zone prospectée, les sédiments, véritables pièges à polluants, se sont notablement enrichis en hydrocarbures de l'été 1992 à l'été 1996 à l'exclusion de ceux de la station A1. Ceci explique non seulement la réduction de la diversité spécifique des communautés nématologiques notamment au niveau des stations A3, B1 et C2 (Tableau 2) mais aussi la restructuration pour une même station des peuplements étudiés en 1992 et en 1996, les indices d'affinité faunistique étant souvent faibles (Tableau 5). Les valeurs interannuelles de l'indice de Sanders, relativement élevées pour les stations A1 et C2, s'expliquent par l'abondance d'espèces domi-

nantes à la fois dans les prélèvements de 1992 et ceux de 1996, entre autres *Daptonema hirsutum* (Vitiello, 1967) pour la station A1, *Daptonema aff. normanicum* (de Man, 1890) et *Valvaelaimus aff. major* Lorenzen, 1976, pour la station C2. Ajoutons que la corrélation positive et significative, enregistrée entre les écarts temporels des teneurs sédimentaires en hydrocarbures et ceux des indices de diversité pour chacune des stations considérées (Fig. 8) démontre le rôle déterminant des hydrocarbures dans la restructuration des communautés de nématodes observée entre 1992 et 1996.



**Figure 8.** Corrélation de Pearson entre l'écart temporel (1992-1996) de l'indice de diversité de Shannon-Wiener (E. H') et celui des teneurs sédimentaires en hydrocarbures (E. C° hyd) aux niveaux des stations étudiées dans la baie de Bizerte.

**Figure 8.** Pearson correlation between temporal interval (1992-1996) of the Shannon-Wiener diversity index (E. H') and the sediment hydrocarbon content (E. C° hyd) at the stations investigated in the bay of Bizerta.

En conclusion, les teneurs variables mais toujours importantes en hydrocarbures qui sont relevées au niveau des eaux et des sédiments de la baie de Bizerte attestent que le secteur est soumis à une pollution pétrolière, permanente ou temporaire selon les stations prospectées, qui affecte différemment mais nettement les communautés de nématodes libres. Nos données quantitatives et qualitatives sont souvent plus faibles que celles de la littérature; elles ne se rapprochent que de celles qui concernent les milieux pollués, comme par exemple certaines plages touchées par la marée noire de l'Amoco-Cadiz (Boucher, 1980 ; Bodin & Boucher, 1981). Nos résultats montrent qu'il s'est produit de l'été 1992 à l'été 1996 une amélioration de la qualité des eaux et des sédiments à proximité de l'émissaire (station A1) et au contraire un enrichissement des sédiments en hydrocarbures partout ailleurs dans le secteur étudié.

Les nématodes libres constituent d'excellents organismes-sentinelles, révélateurs des variations des concentrations en hydrocarbures dans les sédiments, leurs communautés étant capables de répondre quantitativement et qualitativement à un gradient de pollution pétrolière, aussi bien à l'échelle spatiale que temporelle.

## References

- Aïssa P. & Vitiello P. 1993. Distribution quantitative des nématodes dans la lagune de Bizerte. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technologique d'océanographie et de pêche de Salammbô*, **20**: 74 - 94.
- Andrassy I. 1956. Die Rauminhalts- und Gewichtbestimmung der Fadenwürmer (Nematoden). *Acta zoologica hungarica*, **2** (1/3) : 1 - 15.
- Beyrem H. & Aïssa P. 1998. Impact de la pollution pétrolière sur les densités de la méiofaune du littoral de Bizerte (Tunisie). *Vie et milieu*, **48** (3) : 183 - 190.
- Bodin P. & Boucher G. 1981. Evolution temporelle du méiobenthos et du microphytobenthos sur quelques plages touchées par la marée noire de l'Amoco-Cadiz. *Actes du Colloque International: Amoco-Cadiz, Conséquences d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures*. Centre Océanologique de Bretagne, Brest, Novembre 1979. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Paris: 327-346.
- Boucher G. 1980. Impact of Amoco - Cadiz oil spill on intertidal and sublittoral meiofauna. *Marine Pollution Bulletin*, **11** (4) : 95 - 101.
- Boucher G. 1981. Effet à long terme des hydrocarbures de l'Amoco-Cadiz sur la structure des communautés de nématodes libres des sables fins sublittoraux. *Actes du Colloque International: Amoco-Cadiz, Conséquences d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures*. Centre Océanologique de Bretagne, Brest, Novembre 1979. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Paris: 539-549.
- Boucher G., Chamroux S. & Riaux C. 1984. Modification des caractéristiques physicochimiques et biologiques d'un sable sublittoral pollué par les hydrocarbures. *Marine Environmental Research*, **12**: 1 - 23.
- Dajoz R. 1996. *Précis d'écologie*, 6<sup>e</sup> édition. Dunod: Paris. 551 pp.
- Dinet A. & Vivier M. H. 1979. Le méiobenthos abyssal du golfe de Gascogne. II. Les peuplements de nématodes et leur diversité spécifique. *Cahiers de Biologie Marine*, **20** : 109 - 123.
- Elliott J. M. 1977. Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. *Freshwater Biological Association, Scientific publication*, n° **25**: 160 p.
- Elmgren R., Hansson S., Larsson U., Sundelin B. & Boehm P. D. 1983. The "Tsesis" oil spill : acute and long-term impact on the benthos. *Marine Biology*, **73** : 51 - 65.
- Ghabi H. & Hadj Ali M. 1993. Petroleum hydrocarbons in water and marine sediment : Bizerte lake, Tunis golf and lake. *Workshop sur la circulation des eaux et la pollution des côtes Méditerranéennes du Maghreb, Rabat (Maroc), 1992*. Publié par INOC, IZMIR - Turquie: 131-133.
- Guiliano M., Arlhac A., Mille G. & Chouteau J. 1981. Variation saisonnière de la teneur en hydrocarbures de l'eau de mer d'une frange littorale Méditerranéenne : région de Carry-le-Rouet / Sausset-les-Pins. *Téthys*, **10** (1) : 53 - 58.
- Heip C. 1995. Eutrophication and zoobenthos dynamics. *Ophelia*, **41**: 113 - 136.
- Heip C., Smol N. & Hautekiet W. 1974. A rapid method of extracting meiobenthic nematodes and copepods from mud and detritus. *Marine Biology*, **28** (1) : 79 - 81.

- Heip C., Vincx M. & Vranken G. 1985.** The ecology of marine nematodes. *Oceanography Marine Biology an annual review*, **23**: 399-489.
- Jensen P. 1987.** Differences in microhabitat, abundance, biomass and body size between oxybiotic and thiobiotic free-living marine nematodes. *Oecologia*, **71**: 564 - 567.
- Juario J. V. 1975.** Nematode species composition and seasonal fluctuation of a sublittoral meiofauna community in the German Bight. *Veröffentlichungen des Instituts für Meeresforschung in Bremerhaven*, **15**(4): 283-337.
- Kantin R. 1977.** Application de la spectrophotométrie infra-rouge au dosage des hydrocarbures et des composés phénoliques dans l'eau de mer. *Tethys*, (4) : 413 - 418.
- Keller M. 1984.** Influence du rejet en mer de l'égout de Marseille sur les peuplements du méiobenthos. *Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Université Aix-Marseille II*: 131 pp.
- Lacaze J. C. 1993.** *La dégradation de l'environnement côtier - conséquences écologiques*. Masson: Paris, Milan, Barcelone., Bonn. 149 pp.
- Le Dreau Y., Jacquot F., Doumenq P., Guiliano M., Bertrand J. C. & Mille G. 1997.** Hydrocarbons balance of a site which had been highly and chronically contaminated by petroleum wastes of a Refinery (from 1956 to 1992). *Marine pollution Bulletin*, **34** (6) : 456 - 468.
- Mille G., Chen J. Y. & Dou H. 1982.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in Mediterranean coastal sediments. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, **11**: 295 - 304.
- Ratsimbazafy R., Boucher G. & Dauvin J.-C. 1994.** Mesures indirectes de la biomasse des nématodes du méiobenthos subtidal de la Manche. *Cahiers de Biologie Marine*, **35**: 511-523.
- Sanders H. 1960.** Benthic studies in Buzzard bay. III. The structure of the bottom community. *Limnology and Oceanography*, **5** : 138 - 153.
- Schwartz D. 1983.** *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes*. Flammarion Médecine Science: Paris. 318 pp.
- Sellali B., Chouikhi A., Hocini N., Yahi D. & Boudjellal B. 1993.** Contamination des sédiments de la côte Algérienne par les hydrocarbures polyaromatiques. *Workshop sur la circulation des eaux et pollution des côtes Méditerranéennes du Maghreb, Rabat (Maroc)*. Publié par INOC, IZMIR – Turquie : 131- 133.
- Shannon C. E. & Weaver W. 1963.** *The mathematical theory of communication*. Illinois University Press, Urbana. 117 pp.
- Soetaert K. & Heip C. 1989.** The size structure of nematode assemblages along a Mediterranean deep-sea transect. *Deep-Sea Research*, **36**: 93-102.
- Soltwedel T., Pfannkuche O. & Thiel H. 1996.** The size structure of deep-sea meiobenthos in the north-eastern atlantic: nematodes size spectra in relation to environmental variables. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **76**: 327 - 344.
- Soussi N. 1981.** Mécanisme de la sédimentation et évolution paléogéographique de la lagune de Bizerte (Tunisie) durant le quaternaire récent. *Thèse 3<sup>e</sup> cycle. Université Paul Sabatier de Toulouse* : 229 pp.
- Vitiello P. 1968.** Variation de la densité du microbenthos dans une aire restreinte. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume*, **43** (59): 261-270.
- Vitiello P. & Aïssa P. 1985.** Structure des peuplements de nématodes en milieu lagunaire pollué. *110<sup>ème</sup> Congrès National des Sociétés Savantes, Montpellier, 1985 Sciences, fascicule II* : 115 - 126.
- Vitiello P. & Dinet A. 1979.** Définition et échantillonnage du méiobenthos. *Rapp. P. V. Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, **25/26** (4) : 279 - 283.