

IMPACT DE L'EXPLOITATION PETROLIERE SUR LE MILIEU : CAS DU CHAMP EMERAUDE AU CONGO BRAZZAVILLE

Impact of the oil exploitation on the environnement :
case of the Emerald field in Congo Brazzaville

MESMIN EDOU

ABSTRACT

The coast of Congo, since decades, is subject of an intense industrial activity, in particular that of oil. The oil exploitation is not done without consequence on the coastal ecosystem of the country. The environmental impact of such an activity is related to spoil of drillings poured in the marine environment during the development of the field and the water discharges of production at sea during the phase of working. The goal of this study is of knowing the degree of pollution of the Congo ecosystem by hydrocarbons and heavy metals coming from the Emerald field at the end of the activity.

Key words: Congo, coast, ecosystem, oil, Emerald field, environment, sediment, benthic fauna.

RESUME

La côte congolaise, depuis des décennies, fait l'objet d'une intense activité industrielle, notamment celle du pétrole. L'exploitation pétrolière ne se fait pas sans conséquence sur l'écosystème côtier du pays. L'impact environnemental d'une telle activité est lié aux déblais de forages déversés dans le milieu au moment du développement du champ Emeraude et aux rejets d'eaux en mer lors de la phase de production. L'objectif de cette étude est d'évaluer le degré de pollution causé à l'écosystème congolais par les hydrocarbures et les métaux lourds d'un champ en fin d'exploitation.

Mots - clés : Congo, côte, écosystème, pétrole, champ Emeraude, environnement, sédiments, faune benthique.

INTRODUCTION

Les écosystèmes côtiers et marins du Congo offrent une diversité biologique riche en habitats et en espèces faunistiques et floristiques. Ce pays bénéficie de conditions géographiques et climatiques propices au développement d'écosystèmes variés. Cependant, depuis plusieurs années, l'écosystème côtier congolais subit la pression de plusieurs industries, dont celle du pétrole ; une industrie productrice de 291.000 barils/jour qui opère pour l'essentiel dans la région de Pointe-Noire (Fig.1), où l'exploitation en mer est la plus ancienne.

Certains champs arrivent en fin d'exploitation. Tel est le cas du Champ pétrolier Emeraude. Ce dernier, constitué de deux zones, sud et nord, est exploité depuis 1972. Une étude environnementale sur le site a permis de dresser un état des lieux avant cessation d'activités.

Les impacts environnementaux d'une activité pétrolière sur les écosystèmes côtiers et marins sont liés aux déblais de forages déversés dans le milieu au moment du développement du

champ et aux rejets d'eaux en mer lors de la phase de production. Plusieurs auteurs se sont penchés sur le sort des matières particulaires (cuttings) issus des forages (MILLIGAN, 2000) introduites dans les eaux marines et de leur implication dans la dégradation de l'écosystème marin sur le périmètre d'un champ pétrolier. Le cas d'Emeraude offre des éléments pour une telle étude.

BAKER (1981) a analysé l'impact de l'industrie pétrolière sur la macrofaune benthique lié aux déblais de forages et aux rejets d'eaux usées en cours d'exploitation. Les eaux usées ont également attiré l'attention de JOANNY (1997) qui a étudié leur effet sur le milieu marin. Ce thème a été aussi abordé lors du séminaire " milieu marin " organisé par le Ministère français de l'environnement (1988). Ces impacts sont déterminés grâce à des critères simples tels que la richesse spécifique des peuplements, l'abondance des populations ou la présence et la dominance d'espèces connues comme étant indicatrices de certaines conditions (ou perturbations) du milieu. De plus, ils peuvent être perçus au niveau du fond marin ou de la colonne d'eau sus-jacente. Il peut s'agir d'effets toxiques sur la faune vivant sur ou dans le sédiment (faune benthique) ou bien d'un enrichissement en substances chimiques de l'eau ou du sédiment.

A partir d'analyses spécifiques, on pourrait donc voir si, après 25 ans d'exploitation pétrolière, le Champ Emeraude aurait subi des modifications importantes. L'objectif consiste à étudier la qualité physico-chimique et biologique de l'eau et du sédiment sur l'ensemble du champ. Les variables mesurées dans le sédiment permettent, d'une part, d'évaluer la nature du substrat et son niveau de contamination et, d'autre part, de caractériser la richesse et la diversité des communautés benthiques ainsi que la rôle de ces organismes au sein de l'écosystème marin perturbé.

ETAT DU MILIEU COTIER ET MARIN DU CONGO

Cette première partie décrit le portrait physique et biologique du milieu côtier et marin de la région étudiée.

SITUATION GEOGRAPHIQUE

De manière globale, le milieu côtier et marin congolais se situe dans la partie centrale du Golfe de Guinée entre 11° et 12°E et entre 4° et 5°S. Il couvre une superficie de 10200 km². Le domaine maritime est défini comme étant l'espace où se manifestent les influences marines, notamment les marées et les courants marins. Ces influences jouent sur les températures et la salinité des eaux et, par conséquent, sur la répartition de la flore et les déplacements de la faune marine. La largeur du plateau continental varie entre 100 et 120 km et celui-ci est limité par le talus continental à des profondeurs de 100 à 120 m.

MILIEU PHYSIQUE

Il se présente sous l'aspect de vastes plages, d'un chapelet de lagunes disposé en arrière de cordons dunaires et d'une basse plaine alluviale abritant des marais à papyrus et des mangroves.

De Djeno au sud-est à l'embouchure du Kouilou au nord-ouest, la côte d'orientation SE-NW est une succession de décrochements de trois sections les une par rapport aux autres sur une largeur de 700 m à 1 km en direction de l'est. Elle est basse de Djeno à la Pointe indienne et constituée d'une succession de cordons littoraux d'altitude inférieure à 20 m, séparés par des chenaux lagunaires. De Loango à Tchissanga, où le talus de Diosso-Tchissanga, échancré en cirques d'érosion, domine le rivage d'environ 100 m de hauteur, elle est escarpée. Si ce talus au nord de Pointe indienne jouxte la plage qui de ce fait n'a qu'une largeur de quelques centaines de mètres, en revanche de Pointe-Noire à Djeno il se situe à 6 km de celle-ci et favorise le développement d'une large plaine littorale. Enfin, la côte est basse et marécageuse au sud de l'embouchure du Kouilou où l'al-

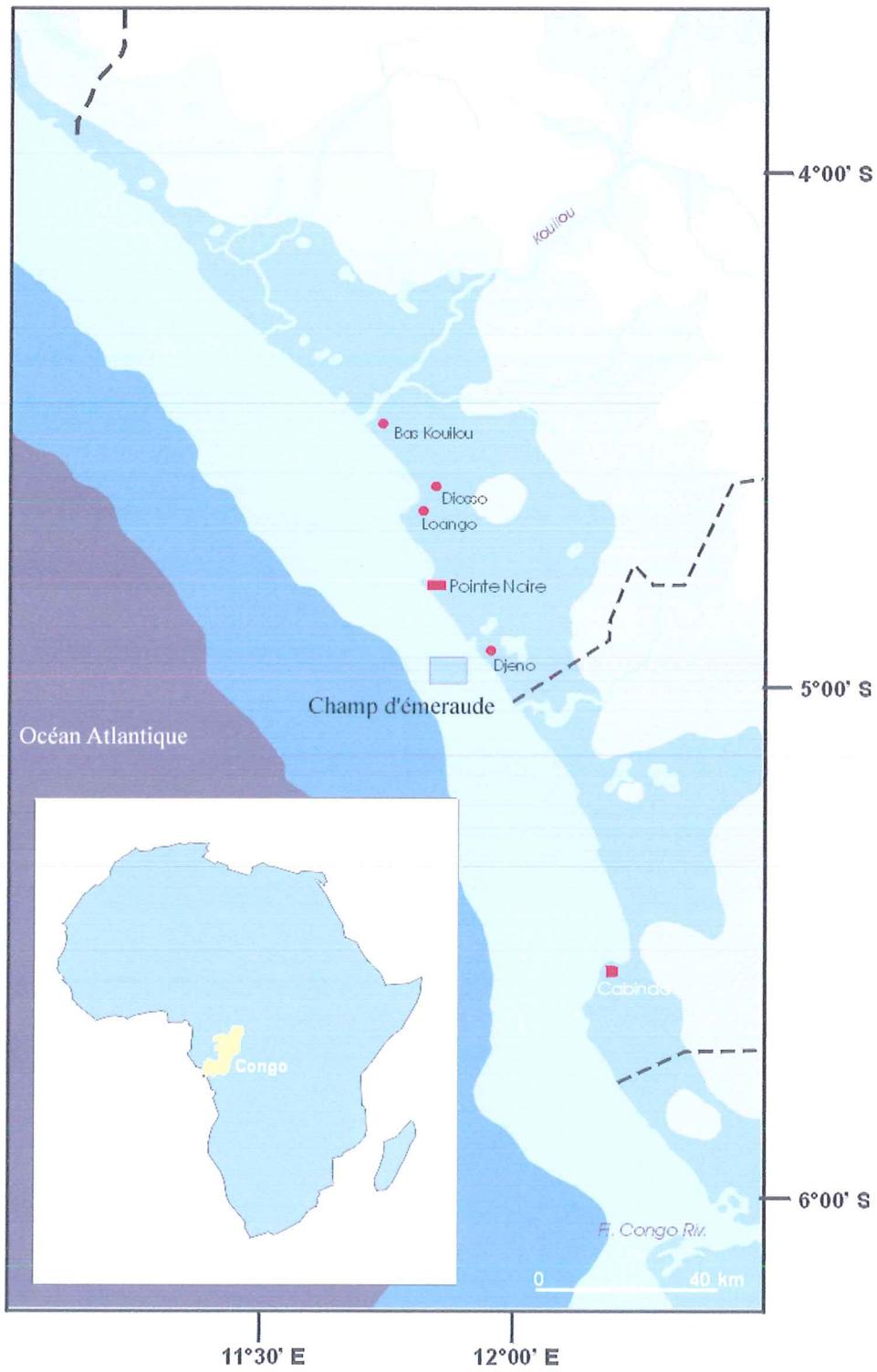


Figure 1: Localisation de la zone de travail

titude dunaire ne dépasse pas 8 m. En arrière de la plaine côtière et du talus dont l'aspect est rectiligne et parallèle à la côte, s'étendent vers l'est des bas plateaux de 100 à 160 m de hauteur. La surface de ces plateaux est mollement vallonnée et incisée par les principaux cours d'eau.

CIRCULATION OCEANIQUE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL

Le climat du littoral congolais est de type tropical humide. Le cycle climatique est rythmé par deux saisons : une saison de pluies, de novembre à avril et une saison sèche, très accusée du fait du refroidissement important de l'eau de mer, de mai à octobre. Un rafraîchissement sur le plateau continental provoque également une récession pluviométrique dite " petite saison sèche " en janvier-février. Les upwellings sont provoqués par la remontée d'eau profonde liée à une augmentation d'appel d'eau vers l'ouest sous l'effet des alizés du sud-est. Dans ces conditions, une dérive générale des eaux de surface vers l'ouest s'établit sur le plateau continental. Pour des raisons de continuité, il se crée un transport des eaux subtropicales vers la côte, entretenant les remontées des eaux profondes. Ainsi, le climat du littoral congolais est sous l'influence des masses d'air issues de l'anticyclone de Sainte-Hélène et des circulations océaniques gérées le long des côtes par le courant de Guinée et le courant de Benguela. Les eaux côtières de surface connaissent un renouvellement rapide lié à l'augmentation de la vitesse du vent en début d'hiver austral, entraînant le renforcement du courant sud-équatorial et donc des flux superficiels vers l'ouest, en donnant des upwellings bien marqués.

La température annuelle de l'air varie entre 25° et 26°C. Les vents dominants sont du sud-ouest toute l'année. Les vitesses moyennes sont faibles et ne dépassent guère 10 m/sec. Cependant, on peut enregistrer des pointes maximales de 25 m/sec. Entre les mois de mai et septembre. La marée peut atteindre 1,6 m en basse mer et 1,8 m en haute mer. La houle est essentiellement d'origine australe et sa direction principale est de SW. Les températures de surface et la salinité des eaux marines sont influencées par les upwellings. La température moyenne de la surface océanique est d'environ 24°C. En saison des pluies, elle peut atteindre 28°C et en saison sèche 19°C.

RESSOURCES HALIEUTIQUES

Les variations hydroclimatiques et océaniques conditionnent le comportement saisonnier au niveau des populations halieutiques. L'exemple le plus significatif est celui de la migration des sardinelles dont le comportement biologique de la plupart des espèces est étroitement lié à la variation saisonnière des différentes masses d'eau (FONTANA, 1981). Ainsi, tous les facteurs physico-chimiques des différentes masses d'eau permettent d'expliquer la migration des espèces de poissons recensées sur le plateau continental, notamment de *Galeoïdes decadactylus* (Capitaine) et de *Pseudotolithus senegalensis* (Bar). Ces espèces sont fréquentes jusqu'à une profondeur de 70 m et sont abondantes entre la ligne de côte et l'isobathe -30 m en saison des pluies et entre 30 et 40 m de profondeur en saison sèche. Les prises les plus importantes de ces espèces dans les eaux congolaises ont lieu pendant la saison des pluies. A cette période, une autre espèce, *Brachydeuterus auritus* (Pelon) se retrouve en grande concentration entre 40 et 70 m de profondeur alors qu'en saison sèche, il remonte entre 30 et 50 m. Les analyses de l'indice gonado-somatique montrent que les pontes sont pratiquement nulles en saison sèche.

Parmi les principales espèces commercialisées au Congo, on notera *Sardinella maderensis* et *Sardinella aurita*. Ces espèces pélagiques fréquentent les eaux côtières jusqu'à 50 m de profondeur mais seule la seconde atteint le rebord du plateau continental. Les sardinelles constituent la source majeure des pêcheries du sud du Golfe de Guinée ; au Congo, elles représentent près de 60% de tous les tonnages débarqués et 90% des pélagiques. *Sardinella aurita* qui vit dans les eaux froides et salées des zones d'upwelling, peut migrer pour trouver un environnement qui lui est favorable. En revanche, *Sardinella maderensis* préfère les eaux chaudes et peu salées. Les statistiques de pêche montrent un paradoxe : au cours des années 1980 à 1990, caractérisées par des anomalies positives des températures de la surface océanique, *Sardinella aurita* domine dans les captures des sardinelles

au Congo alors que pendant la décennie précédente, où les températures étaient plus froides, *Sardinella maderensis* constituait l'espèce dominante. Les déplacements des masses d'eau consécutifs au type " El Nino " atlantique pourrait expliquer ce paradoxe (BINET *et al.* 2001) : les événements chauds sont liés à une intensification des contre-courants équatoriaux . Lorsque le renforcement des courants vers l'est se produit au sud de l'équateur, il entraîne une intrusion d'eaux chaudes subsuperficielles et la déviation du panache du fleuve Congo ; *Sardinella aurita* devient alors plus vulnérable. C'est la situation la plus fréquente lors des événements chauds. Au contraire, lorsque l'anomalie concerne le contre-courant nord-équatorial et le courant de Guinée, un afflux d'eau dans la baie du Biafra provoquerait un écoulement vers le sud des eaux guinéennes le long de la côte gabonaise (BINET *et al.* 2001). Cette langue d'eaux chaudes et dessalées entraînerait *Sardinella maderensis* vers les pêcheries du Congo mais rejetterait *Sardinella aurita* au large en la rendant moins accessible.

MATERIEL ET METHODES

PROGRAMME D'ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES

Les prélèvements et analyses d'échantillons ont été effectués à partir de 53 stations. Celles-ci ont été implantées de manière régulière selon un maillage carré de 1 km de côté couvrant la totalité des zones nord et sud du champ Emeraude ainsi que les stations témoins. Par convention, les stations témoins sont celles situées à plus de 1 km des puits les plus proches. 16 stations ont été considérées comme des stations témoins : 1, 2, 7, 8, 13, 18, 23, 24, 25, 29, 30, 31, 34, 35, 41 et 53. Les stations 1 à 30 concernent le champ Emeraude nord ; les stations 31 à 53, le champ Emeraude sud (Fig. 2).

LE SEDIMENT

Le sédiment est échantillonné sur les 53 stations. Il est prélevé à l'aide d'une benne de 0,1 m² de surface. Une fois à bord, le contenu est déversé dans un bac en plastique pour faciliter le prélèvement et l'analyse.

Les prélèvements suivants ont été réalisés :

- 1 kg de sédiment est conditionné dans un emballage en aluminium et destiné à l'analyse des hydrocarbures,
- 1 kg est conditionné dans un flacon en polyéthylène pour l'analyse des métaux lourds et autres variables physico-chimiques,
- 2 kg de sédiment sont conditionnés en sacs plastiques pour l'analyse granulométrique.

A chaque station, l'heure du prélèvement est notée ainsi que les principales caractéristiques du sédiment : couleur, texture, odeur éventuelle, présence de vie ou tout autre caractère remarquable. Les analyses ont été effectuées sur la fraction inférieure à 2 mm.

LA MACROFAUNE BENTHIQUE

La macrofaune benthique est échantillonnée sur 12 stations situées le long d'un axe Sud-Est / Nord-Ouest, approximativement parallèle à la côte. Cet axe traverse les deux zones Sud et Nord et comporte des stations témoins. Le prélèvement est réalisé selon le même protocole que pour le sédiment ; toutefois, trois bennes ont été prélevées.

Selon les procédures normalisées. Le contenu de ces bennes est déversé dans un fût et malaxé jusqu'à obtention d'une suspension la plus homogène possible. Le contenu du fût est ensuite tamisé (tamis à maille de 1 mm) et le refus obtenu après rinçage est prélevé et mis en sacs après

LA MACROFAUNE BENTHIQUE

Pour les peuplements benthiques, il a fallu :

- Exprimer les données en densités ramenées au m³ de sédiment
- Calculer les indices usuels par station : nombre d'espèces, nombre total d'individus
- Regrouper les espèces par groupes systématiques et déterminer les effectifs totaux par station et par régime
- Regrouper les espèces par régime alimentaire et déterminer les effectifs totaux par station et par régime

L'interprétation des échantillons de benthos s'est faite en deux étapes :

- interprétation par descripteur, puis diagnostic global sur le milieu biologique,
- explication des phénomènes biologiques observés par l'influence des facteurs physico-chimiques

RESULTATS

L'EAU

Sur les trois stations (53, EMV et PPN) situées dans le sens des courants dominants, il apparaît que la colonne d'eau ne montre aucun signe de contamination, ni par les hydrocarbures (la plupart des résultats se trouve en dessous du seuil de détection de 0,01 mg/L), ni par les métaux lourds (et ce, sur base de toutes les variables étudiées sur les stations). Des différences qualitatives existent entre la surface et le fond : à la surface, les eaux sont chaudes, bien oxygénées et légèrement dessalées. Cette dessalure augmente probablement en période de pluies, dans la mesure où elle est due aux apports des grands fleuves côtiers. Les eaux du fond sont très particulières, notamment du fait d'un taux oxygène extrêmement faible pour des eaux océaniques et d'une température également faible. Il est donc probable qu'il n'y ait pas d'échange hydrologique important entre la surface et le fond.

LE SEDIMENT

Le sédiment constitue une excellente variable explicative car il intègre l'ensemble des variations physico-chimiques, biologiques et hydrodynamiques de la masse d'eau. De plus, il joue un important rôle d'habitat où se concentre l'essentiel de la vie animale et, en particulier, les organismes détritivores ou fousseurs qui se nourrissent de particules et débris végétaux ou animaux déposés sur le fond.

Le sédiment présente un aspect très homogène sur l'ensemble de la zone d'étude. Il est constitué par des vases quasiment pures (la proportion de la fraction fine inférieure à 63 µm est très importante), assez pâteuse, plus ou moins compactes et de coloration marron-grisâtre. Aucune différence entre témoin et champ ne peut être notée (Fig.3).

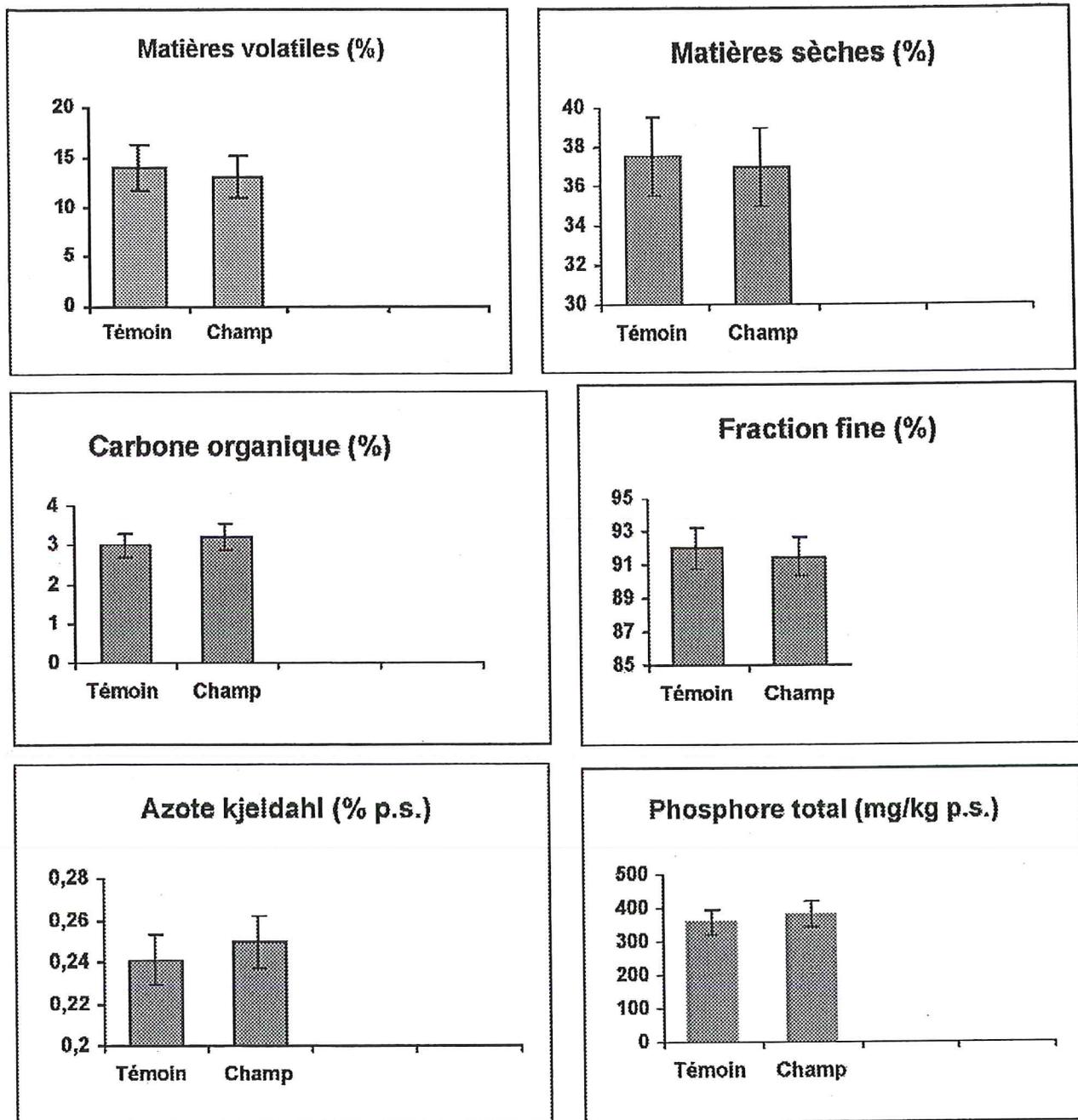


Figure 3 : Comparaisons des valeurs prises par les variables physico - chimiques du sédiment des valeurs témoins et les stations des champs.

Le sédiment est relativement riche en matière organique, en carbone organique (les valeurs moyennes de Carbone organique total sont voisines de 3%, avec des variations limitées entre 2 et 4%) et en Azote total (dont les valeurs varient entre 0,21 et 0,3 %) ce qui correspond à des teneurs importantes par rapport au seuil établi par DUTRIEUX *et al.* (1998) sur base de nombreuses études réalisées dans différentes régions du monde. Il est également pauvre en phosphore ; les teneurs en phosphore total variant de 300 à 500 ppm.

Aucun gradient spatial significatif lié à la présence du Champ Emeraude n'est mis en évidence pour ces éléments ou pour la structure granulométrique du sédiment. Cependant, le centre

des zones semble plus enrichi en phosphore que le reste de l'aire d'étude. Et les teneurs en azote les plus élevées ont été mesurées au nord-ouest de celle-ci, dans sa partie la plus profonde. Le niveau de contamination métallique globale est également très homogène sur l'ensemble de la zone d'étude. Il suit cependant un gradient décroissant partant du centre de chacune des parties du champ et dirigé vers le sud-est. Ce type de répartition spatiale n'est observé que pour quelques éléments métalliques dont le cuivre dont la moyenne générale est de 26,7 mg/kg, ce qui se situe au-dessous du bruit de fond GEODE de 35 mg/kg et correspond donc à des valeurs normales, le zinc dont la teneur moyenne de 91,2 mg/kg est en-dessous de l'indice de référence de GEODE (115 mg/kg) et le Baryum (Fig.4).

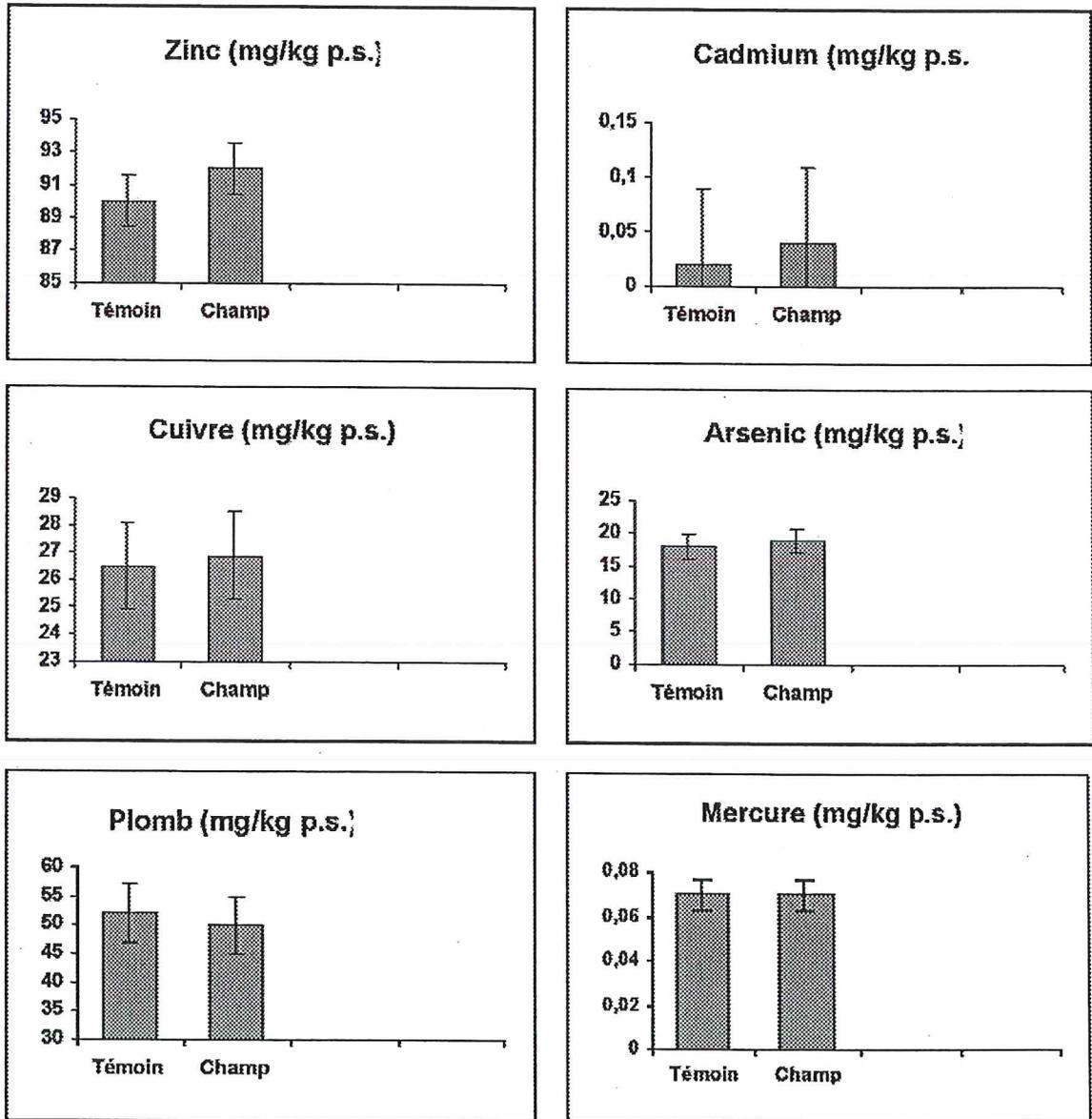


Figure 4 : Comparaisons des valeurs prises par les métaux lourds dans le sédiment entre les stations témoins et les stations des champs

Pour les autres, aucun gradient lié à la présence du champ n'a été décelé. On observe néanmoins des valeurs plus élevées vers le sud de la zone pour le cadmium, l'arsenic dont la concentration moyenne de 24,6 mg/kg sur l'ensemble de la zone sud-est est supérieur au bruit de fond en France (4,4 mg/kg), le fer (66277 mg/kg en moyenne) et le cobalt (valeur > 15 mg/kg). Au contraire, des valeurs plus élevées se remarquent vers le nord pour le plomb (50,7 mg/kg en moyenne par rapport aux 47 mg/kg de la France) et l'aluminium (91928 mg/kg). Un phénomène de décroissan-

ce des teneurs en aluminium a été mis en évidence dans le Golfe de Thaïlande où, pour un bruit de fond de 40000 mg/kg, les teneurs à 100 m d'une plate-forme pétrolière récente étaient de l'ordre de 200000 mg/kg ; la zone étant naturellement plus riche en aluminium que les déblais de forage. Dans le cas qui nous occupe, le niveau de concentration est plutôt élevé ou moyen pour le plomb (50,7 mg/kg), le nickel (40,1 mg/kg), le vanadium (132 mg/kg), le chrome, l'arsenic, le fer, le cobalt et l'aluminium et faible pour le cadmium, le cuivre, le mercure, le zinc et le baryum (Fig. 4b).

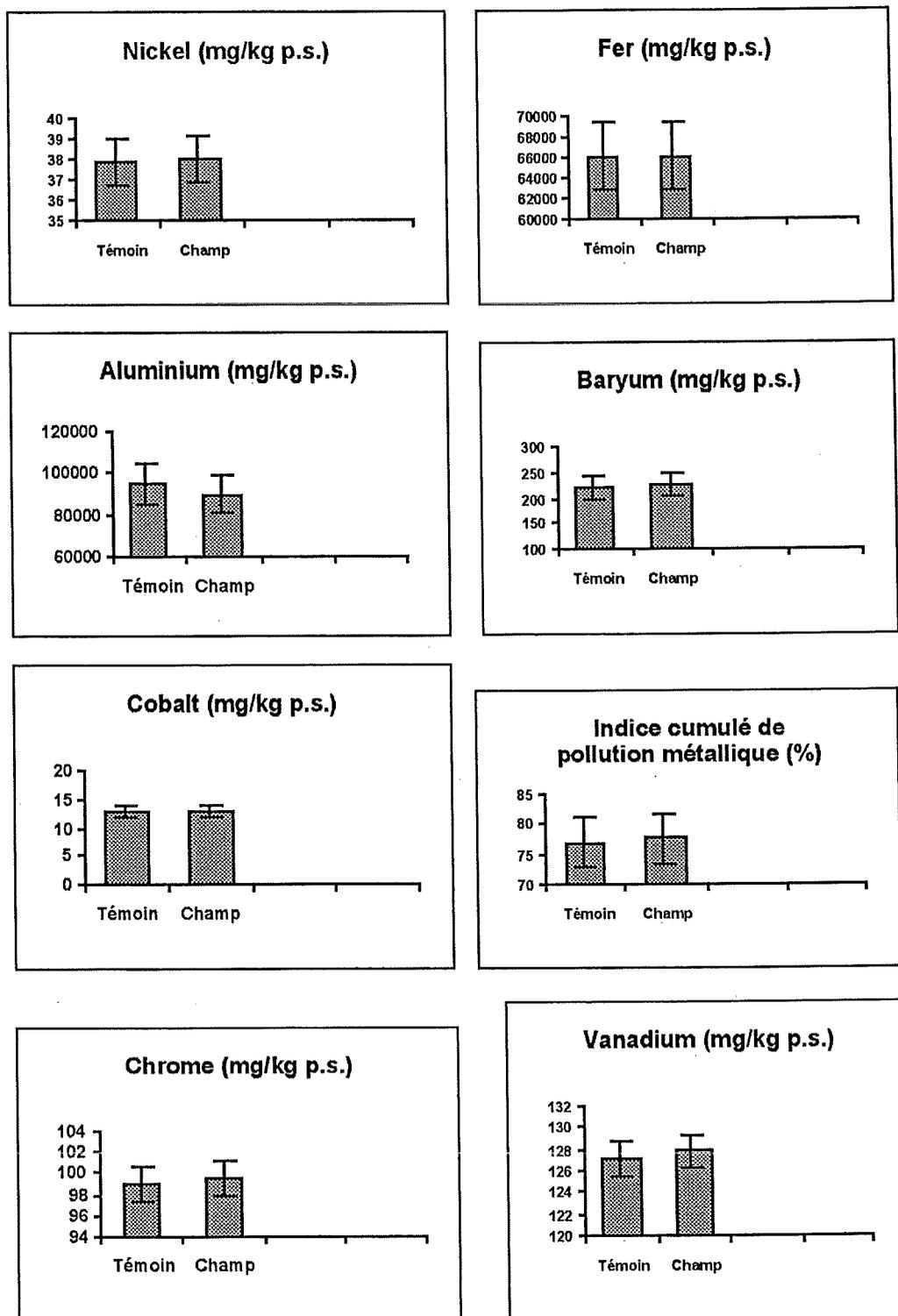


Figure 4b : Comparaison des valeurs prises par les métaux lourds dans le sédiment entre les stations des champs

Les teneurs en hydrocarbures sont très faibles sur l'ensemble de la zone nord (20 mg/kg) ; en revanche, sur la zone sud, des teneurs plus élevées sont mesurées, de l'ordre de 310 mg/kg (Fig. 5).

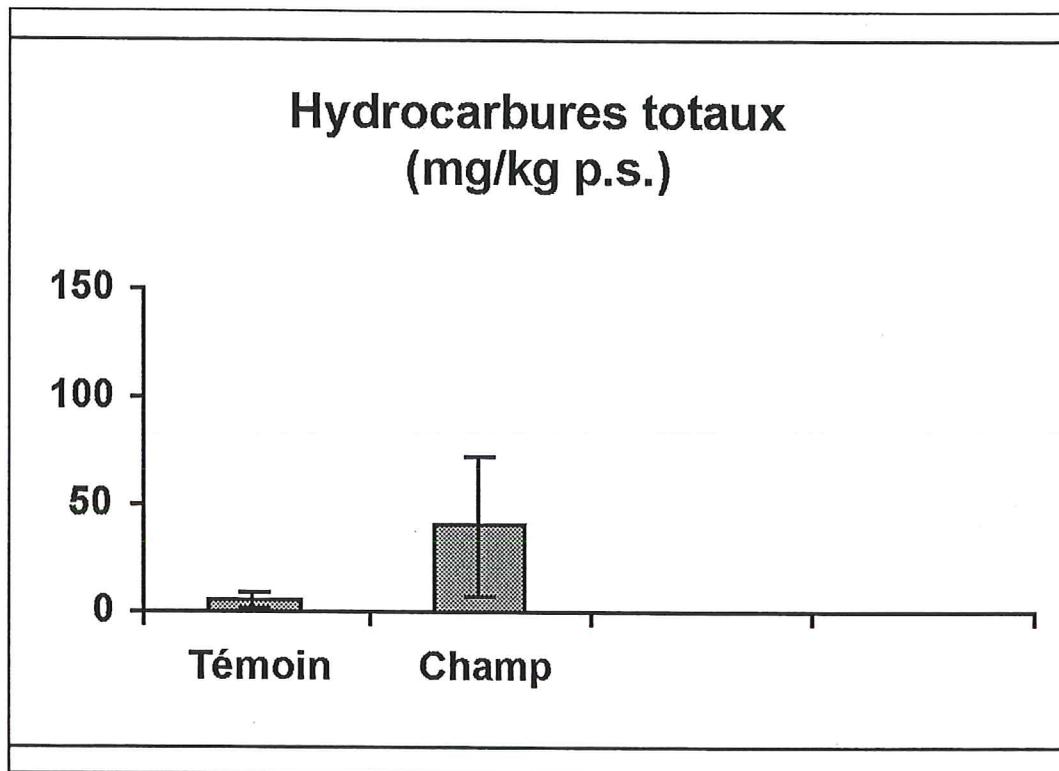


Figure 5 : Comparaison des valeurs prises par les hydrocarbures dans le sédiment entre les stations des champs.

Ce niveau de concentration, bien que peu élevé, est significatif d'une contamination du sédiment liée à l'activité industrielle. Ces teneurs ne sont cependant pas de nature à causer une perturbation importante des peuplements biologiques. Les hydrocarbures déversés dans le milieu lors des prospections ou exploitations pétrolières sont susceptibles d'être dégradés lentement par les micro-organismes (bactéries et autres décomposeurs) et réintroduits dans la chaîne alimentaire sous forme de molécules utilisables par les végétaux pour la photosynthèse.

LA MACROFAUNE BENTHIQUE

Elle constitue un excellent indicateur des conditions du milieu en raison du caractère relativement sédentaire de ces animaux, de leur liaison plus ou moins importante avec le fond ainsi que leur cycle biologique assez long qui leur confère un caractère intégrateur des conditions du milieu ambiant. L'indice de diversité SHANNON, utilisé pour cette étude, permet d'évaluer la diversité biologique d'un milieu. Cette estimation prend en compte non seulement la richesse taxonomique (nombre d'espèces présentes) mais aussi la contribution relative des taxons au peuplement de l'échantillon (c'est-à-dire le nombre d'individus de chaque espèce).

Le peuplement prélevé sur l'ensemble de la zone d'étude est composé, toutes stations confondues, de 97 espèces. Cette valeur correspond à une richesse faunistique assez faible pour un milieu marin ouvert. Le nombre total moyen d'organismes benthiques prélevés sur l'ensemble de la zone d'étude est de 304 +/- 188 individus par m², traduisant ainsi la relative pauvreté du peuplement sur l'ensemble de la zone, davantage marquée sur la zone nord (103 ind./m²) que sur la

zone sud (750 ind./m²) (Fig. 6).

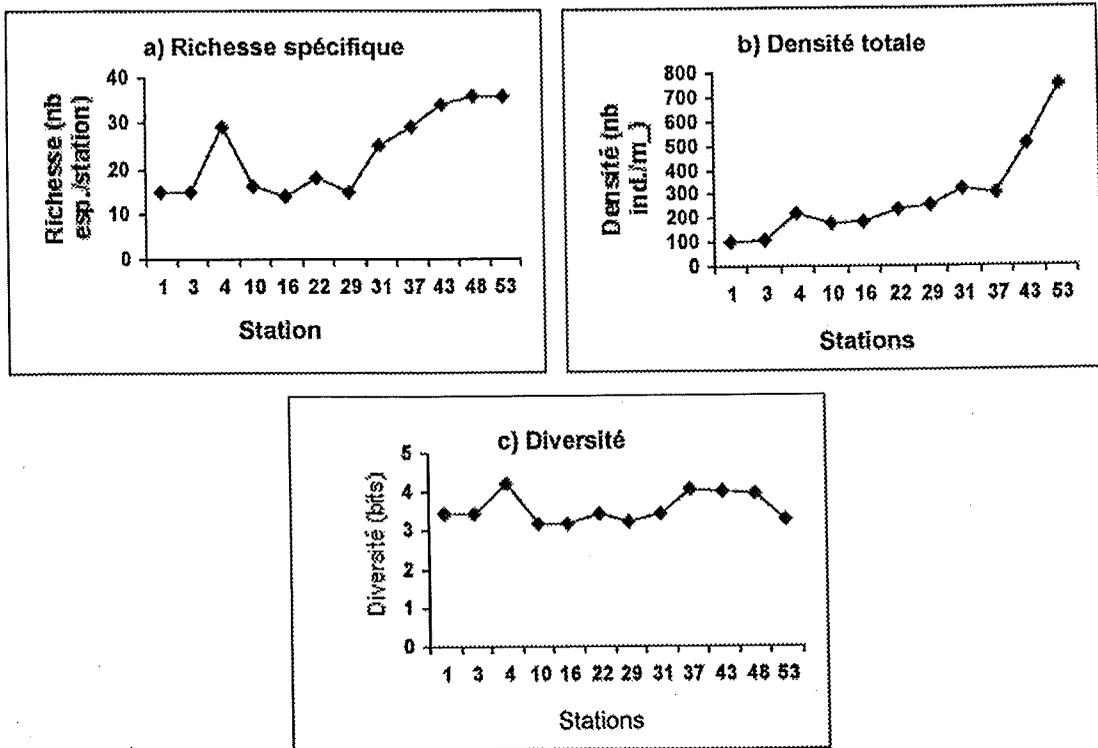


Figure 6 : Structure générale du peuplement benthique.

L'analyse des données permet de repérer les familles d'espèces les mieux représentées quantitativement. Il s'agit des annélides (62% des espèces), suivis des crustacés (16%). Les annélides sont constitués par des espèces appartenant à de nombreuses familles dont les plus variées sont les Nereidae, les Spionidae et les Terebellidae. Les crustacés sont représentés surtout par des décapodes. Les annélides polychètes dominent dans le peuplement de l'ensemble des deux zones du champ, tant en terme de variétés d'espèces que de densité d'individus et de fréquence d'apparition (Fig. 7).

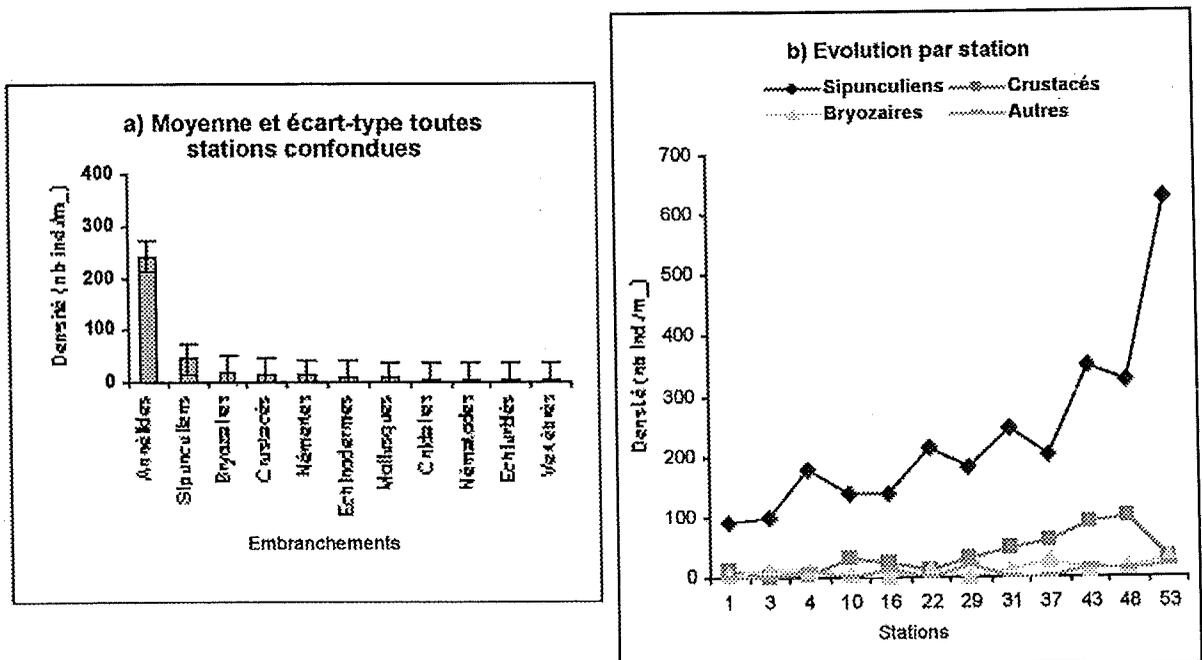


Figure 7 : Répartition des espèces par embranchements.

Les espèces benthiques se répartissent en trois modes trophiques (BEAUMONT, 1994) : les suspensivores, les détritivores et les carnivores. Sur l'ensemble des zones du champ, 46% d'espèces sont détritivores, 39% sont carnivores, 12% sont suspensivores et les 3% restants (peu fréquentes) ont un mode trophique inconnu.

La comparaison des zones nord et sud (Fig. 8) met en évidence des effectifs supérieurs dans le sud par rapport au nord.

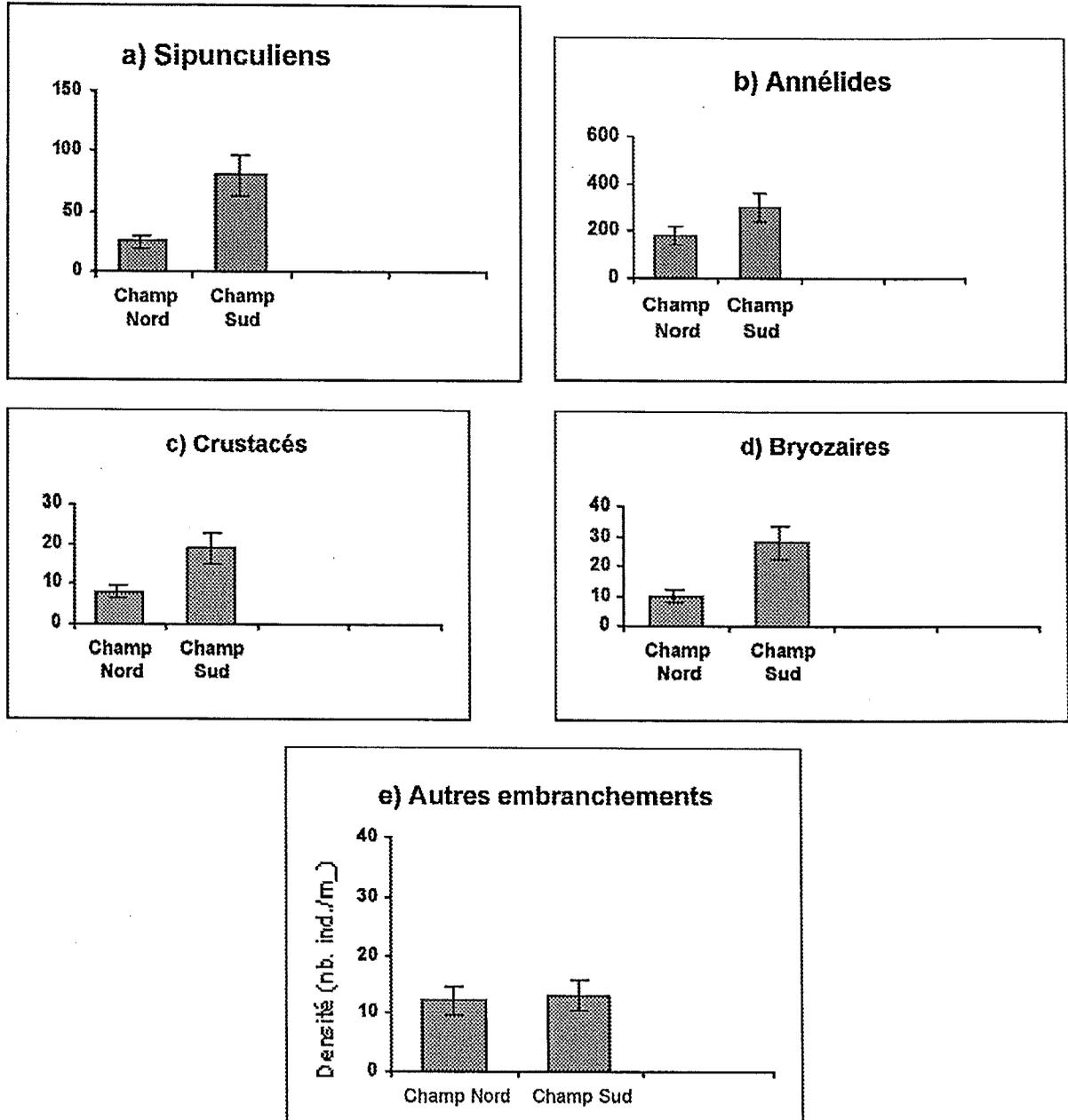


Figure 8 : Comparaison de la répartition des espèces selon leur embranchement entre les champs Nord et Sud (moyenne par station et écart - type).

Nous dirons pour conclure cette analyse que la pauvreté du champ Emeraude n'est pas liée à l'activité industrielle mais elle peut être expliquée par les caractéristiques inhospitalières du sédiment. Les mesures physico-chimiques réalisées sur le sédiment et la colonne d'eau ont mis en évidence, notamment, la forte teneur en vases du sédiment et la pauvreté en oxygène de la masse d'eau profonde. De telles caractéristiques correspondent à un milieu très hostile pour la faune benthique et en particulier pour les détritivores qui, dans un sédiment trop fluide, ne peuvent construire leurs galeries et se déplacer.

DISCUSSION

Bien que le site soit exploité depuis 1972, l'analyse des fonds marins du champ Emeraude démontre une faible pollution de l'écosystème par les hydrocarbures et les métaux lourds. Cette analyse a mis en évidence la pauvreté générale du milieu sur le plan biologique ainsi qu'un gradient de richesse croissante du nord au sud de la zone. La pauvreté du milieu est à mettre en relation avec le caractère inhospitalier du substrat : fort envasement et pauvreté en oxygène. Aucun effet lié à la présence du champ n'a pu être décelé, tant du point de vue des caractéristiques des peuplements que des caractéristiques naturelles du sédiment.

Le niveau de concentration des micro-polluants de l'ensemble de la zone est très homogène et bas pour la plupart des paramètres, en particulier pour le baryum et les hydrocarbures qui sont les deux éléments traceurs des activités pétrolières. Pour quelques métaux, les teneurs sont globalement plus importantes mais ceci est lié aux caractéristiques naturelles de la zone.

L'influence du champ n'est décelable qu'au niveau de quelques éléments comme le cuivre, le zinc, le baryum et les hydrocarbures qui suivent un gradient décroissant partant du centre de chaque zone du champ et dirigé vers le sud-est. L'aire étudiée n'est donc globalement que peu affectée par les activités industrielles. En l'état actuel de nos connaissances, il est difficile de prévoir si cette pollution mineure aura des conséquences à long terme sur l'écosystème marin. Dans ce contexte, une planification à long terme et une gestion préventive de la qualité des eaux, facteurs essentiels dans toute politique de l'environnement, sont nécessaires. Cela est d'autant plus vrai en raison de la durée de vie d'un puits de pétrole. Il est donc important et urgent pour les autorités congolaises de faire appliquer les mesures prônées par l'O.N.U. (OSPAR, 2000), en vigueur au Canada, sur la protection d'une zone avant l'exploitation pétrolière, afin de préserver les ressources biologiques du pays.

REFERENCES

- ABEL, P.D. 1991. Lethal toxicity test : theory and methodology. In: ABEL and ASIAK: Ecotoxicology and the marine environment. Ellis Horwood, New York.
- ADJEROUD, M., ANDREFOUET, S., PAYRI, C. and OREMPULLER, J. 2000. Physical factors of differentiation in macrobenthic communities between atoll lagoons in the Central Tuamotu Archipelago (French Polynesia) *Marine Ecology Progress Series*, 196 : 25-38
- ALEXANDER, D. 1991. Information technology in real-time for monitoring and managing natural disasters. *Progress in Physical Geography*, 15, 3.
- AMINOT, A. Et CHAUSSEPIED, M. 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin *IFREMER*, 408 p.
- ANDERSON, J.W., RILEY, R.G. et BEAN, R.M. 1978. Recruitment of benthic animals as function of petroleum hydrocarbon concentration in the sediment. *J.Fish.Res.Board Can.*, 35 : 776-790.

- ANONYME 1985. Oil in the sea: inputs, fates and effects. National Academy Press, Washington, D.C., 601 p.
- ANONYME 1988. Devenir des polluants chimiques en milieu marin. Séminaire du Comité scientifique Milieu marin " du Ministère de l'Environnement., 26-27 janvier. *Oceanis*, 14 (6) : 624-785.
- ANONYME 1996. Lignes directrices sur le traitement des déchets extra-côtiers. *National Energy Board* (Canada) : 15 p.
- ANONYME 1997. Comportement des polluants métalliques et de la matière organique en Manche *Oceanis*, 23 (1) : 144 p.
- ANONYME 1999. Dragages et environnement marin. Etat des connaissances. *IFREMER*, 224p.
- ANONYME 2001. Bilan de santé 2000 ; activités humaines. *OSPAR*, 24 p.
- BAKER, J.M. 1981. The investigation of oil industry influences on tropical marine ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 12 (1) : 6-10.
- BAKER, T., GREEN, N.W., NAES, K., PEDERSEN, A., SPORSTAL, S. and ORELD, F. 1985. Drill cuttings on the sea bed: Field experiments on recolonization and chemical changes – Phase 1: thick (10 mm) layers of cuttings 1982-1983. Norwegian Institute for water research report, 1752, Oslo: 202 p.
- BEAUMONT, J.C. 1994. Etude bibliographique de la bioturbation. IARE-France : 94 p.
- BEAUX, J.F. 1998. L'environnement ; repères pratiques .Nathan Ed., 348 p.
- CANAL, F. 1999. Environnement aux Etats-Unis, n°39: 8 p.
- CASILLAS, E., WEBER, D., HALEY, C. and SOL, S. 1992. Comparison of growth and mortality in juvenile sand dollars (*Dendraster excentricus*) as indicators of contaminated marine sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 11 : 559-569.
- CHRISTOL, M.J.R., FERNEX, F.E., MATHIEU, D. and JAUBERT, J.M. 1997. Wastewater discharge, seagrass decline and algal proliferation on the Côte d'Azur. *Marine Pollution Bulletin*, 34 (2) : 78-84
- C.N.U.E.D. 1998. Les océans, état de l'environnement marin et nouvelles tendances du droit international marin. Rapport : Document 8177, 9 sept. : 30 p.
- COLLINS, D.N. and GOORIAB, B. 1992. Sample preparation, storage and distribution of drill cuttings Warren Spring Laboratory report, CR 3452 (MR)
- DAUPHINE, A. 2001. Risques et catastrophes. Collin Ed., 288 p.
- DIANA, J.S. 1995. Biology and Ecology of fishes. Biological Science Press, Indiana : 441 p.
- DRAKE, P., BALDO, F., SAENZ, V. and ARIAD, A.M. 1999. Macrobenthic community structure in estuarine pollution assessment on the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Marine pollution Bulletin*, 38 (11) : 1038-1047.
- DUTRIEUX, E. 1990. Offshore oil operation biotests on chemicals – 1989 : first phase of study Institut des Aménagements régionaux et de l'Environnement, Montpellier, 79 p.
- DUTRIEUX, E. et CANOVAS, S. 1994. Recolonisation par la macrofaune benthique de sédiments contaminés par des déblais de forage IARE, 110 p.

- DUTRIEUX,, E., LICARI, M.L. and GAYTE, O. 1998. Système d'aide à l'interprétation des données benthiques Créocéen, 40 p.
- FONTANA, A. 1981. Milieu marin et ressources halieutiques de la république Populaire du Congo IRD (ex-ORSTOM), 339 p.
- FRANCO, J. and PEREZ, V. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 37
- GAGE, J.D., LEVIN, A. and WOLF, G. 2000. Benthic processes in the deep Arabian Sea: biogeochemistry and ecology. Deep-sea research, part 2. *Tropical studies in Oceanography*: 47 (1-2) : 378 p.
- GESAMP 1993. Impact of oil and related chemicals on the marine environment. Group of experts on the scientific aspects of Marine pollution; report and studies. *Oceanography*, 47 (1-2) : 378 p.
- GREENE, H.G., YOKAVICH, M.M., STAN, R.M., O'CONNEL, V.M., WAKERFIELD, W.W., SULLIVAN DE MICREA, CAILLET, G.M. and OZENDE, J.M. 1993. A classification scheme on deep seafloor habitats. Marine benthic habitats and their living resources: monitoring, management and application to Pacific Islands Countries. *Oceanologica acta*, 22 (6) : 663-678
- HARTLEY, J.P. and WATSON, T.N. 1993. Investigation of a North Sea oil platform drill cuttings pile. 25th Annual offshore Technology Conference, Houston, Texas, U.S.A., 3-6 May 1993, OTC, 7341: 749-756.
- HILY, C. et GLEMAREC, M. 1990. Dynamique successionnelle des peuplements de fonds meubles au large de la Bretagne. *Oceanologica acta*, 13 (1) : 107-115
- JOANNY, M. 1997. Surveillance de l'environnement littoral côtier. *IFREMER*, 36 p.
- LACAZE, J.C. 1980. La pollution pétrolière en milieu marin. De la toxicologie à l'écologie. Ecologie appliquée et sciences de l'environnement. Masson 132 p.
- LACAZE, J.C. 1993. La dégradation de l'environnement côtier ; conséquences écologiques. Masson 149 p.
- LAUBIER, L. 1991. Les marées noires. Conséquences à long terme. *La Recherche*, 233 (22) : 814-823
- LAFURIE, M., NARBONNE, J.F. et GALGANI, F. 1992. Indicateurs biochimiques de contamination de l'environnement marin. *Analysis Magazine, Pollutions marines*, 20 (6) : M27-M33
- LUCZAK, C. et FRONTIER, S. 1996. Dynamique du recrutement au sein du peuplement à *Abra alba* dans la baie sud de la Mer du Nord : approche systématique. Thèse, Université de Lille, 283 p.
- MILLIGAN, T.G. 2000. Sort et effets de l'exploration des hydrocarbures et des résidus de production. Canada : 15-30
- PETTERSEN, H., NIF, C. and BROMAN, D. 1997. Impact of PAH outlets from an oil refinery on the receiving water area-sediment trap fluxes and multivariate statistical analysis. *Marine Pollution Bulletin*, 34 (2) : 85-95
- RICHER de FORGES, B. 1998. La diversité du benthos de Nouvelle-Calédonie ; de l'espèce à la notion de patrimoine. Thèse du Museum d'Histoire Naturelle, 321 p.
- WILLIAMSON, M.A., PICKRILL, R. et MAC ALPINE, K.D. 2000. La recherche géoscientifique à l'appui de l'exploitation extracôtère énergétique ; 4 p.
- ZEVENBOOM, W., ROBSON, M., MASSIE, M. and REIERSEN, L.O. 1993. Environmental effects of offshore mining discharges: a contribution to the 1993 quality status report of the North Sea..