



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département Sciences de l'environnement

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par :

M. BELHADJ TAHAR Kamel

Spécialité : Sciences de l'environnement

Option : écologie des écosystèmes aquatiques

Intitulé

**Contribution a l'étude des impacts anthropiques sur les
habitats côtiers de l'Ouest Algérien :approche SIG pour une
gestion intégrée de la zone côtière (GISCO)**

Soutenue le : 18/07/2021

Devant l'honorable jury composé de :

Président de jury : Mehtougui Mohamed Samir

(MCA UDL - Sidi Bel Abbès)

Examineurs: Benguedda-Rahal Wassila

(MCA. Univ – Tlemcen)

Baaloudj Affef

(MCA. Univ - Guelma)

Bendimerad Amine

(MCA. Univ – Tlemcen)

Meliani Hbib

(MCA . UDL - Sidi Bel Abbès)

Directeur de thèse: Kerfouf Ahmed

(Pr. UDL - Sidi Bel Abbès)

Dédicaces

Je dédie cette thèse :

A la mémoire de mon père, à ma mère, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, à ma femme. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

A mes deux enfants Mohamed et Lila,

Merci d'être toujours là pour moi..

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier mon directeur de thèse, le professeur Kerfouf Ahmed de m'avoir dirigé, conseillé dans ce travail de recherche.

Je remercie aussi, les membres du jury : Dr. Mehtougui Mohamed Samir, maître de conférences à l'université de Sidi Bel Abbes, d'avoir accepté de présider ce jury, ainsi que Dr. Benguedda-Rahal Wassila, Dr. Bendimered Amine, maître de conférences à l'université de Tlemcen, Dr. Baaloudj Affef, maître de conférences à l'université de Guelma, et Dr. Meliani Hbib, maître de conférences à l'université de Sidi Bel Abbes d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie chaleureusement mes collègues, proches et toute personne qui m'ont soutenue et encouragé à terminer cette thèse.

Résumé :

Le présent travail vise à montrer l'intérêt de l'utilisation des techniques SIG pour l'évaluation de la biodiversité faunistique côtières de l'Ouest algérien. La base de données exploitée se compose de variables socioéconomique, de paramètres océanographiques, édaphiques et biologiques. Les techniques SIG sont utilisées dans une première phase pour la cartographie et l'analyse de la distribution spatiale de chaque paramètre à part. Les différentes couches d'information sont superposées ensuite, pour délimiter des unités de gestion homogènes. L'inventaire taxonomique a montré une inévitabilité dans la distribution des niveaux taxonomiques (classes, ordres, familles et espèces). 1classes, 5ordres, 23familles et76 espèces de polychètes, 3 classes, 10ordres, 35familles et72 espèces de crustacées , 3classes, 15ordres, 19familles et 27 espèces de mollusques , 3classes, 5ordres, 6familles et 10 espèces d' échinodermes. Cette étude permet ensuite dans une deuxième phase la réalisation d'une banque de données des nuisances et polluants dans cette zone. La banque de donnée réalisée en utilisant les résultats des différentes études effectuées, est transformée en banque géo référenciée. Chaque carte est le résultat d'une compilation de l'information disponible, structurée dans une banque de données qui permet d'intégrer des résultats et de superposer les nouvelles informations collectées. Celle-ci forme un moyen de visualiser l'évolution naturelle de la région et est immédiatement utilisable pour la définition de la situation actuelle de l'écosystème des bancs côtiers oranais.

Mots clés : Biodiversité, inventaire faunistique, SIG, banque géoréférenciée, golf d'Oran.

abstract :

This work aims to show the interest of the use of GIS techniques for the assessment of the coastal fauna biodiversity of western Algeria. The database used is made up of socioeconomic variables, oceanographic, edaphic and biological parameters.

GIS techniques are used in a first phase for the mapping and analysis of the spatial distribution of each parameter separately. The different information layers are then superimposed, to define homogeneous management units. The taxonomic inventory showed an inequity in the distribution of taxonomic levels (classes, orders, families and species).

1classes, 5orders, 23families and76 species of polychaetes, 3classes, 10orders, 35families and72 species of crustacea, 3classes, 15orders, 19families and 27 species of molluscs, 3classes, 5orders, 6families and 10 species of echinoderms. This study then allows in a second phase the creation of a database of nuisances and pollutants in this area

The database produced using the results of the various studies carried out is transformed into a geo-referenced bank. Each map is the result of a compilation of the information available, structured in a database which allows the integration of results and the superimposition of the new information collected. This forms a means of visualizing the natural evolution of the region and is immediately usable for the definition of the current situation of the ecosystem of the Oran coastal banks.

Keywords: Biodiversity, faunistic inventory, GIS, georeferenced bank, Oran gulf .

ملخص :

يهدف العمل الحالي إلى إظهار أهمية استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية لتقييم التنوع البيولوجي للحيوانات الساحلية في غرب الجزائر. تتكون قاعدة البيانات المستخدمة من المتغيرات الاجتماعية والاقتصادية ، والمتغيرات الأوقيانوغرافية والتكوينية والبيولوجية. تُستخدم تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في المرحلة الأولى لرسم خرائط وتحليل التوزيع المكاني لكل معلمة على حدى. ثم يتم تركيب طبقات المعلومات المختلفة لتحديد وحدات التسيير المتجانسة. أظهر الجرد التصنيفي عدم تكافؤ في توزيع المستويات التصنيفية (الفئات والرتب والعائلات والأنواع). 1 فئة و 5 رتب و 23 عائلة و 76 نوعاً من متعدد الأشواك و 3 فئات و 10 رتب و 35 عائلة و 72 نوعاً من القشريات و 3 فئات و 15 رتبة و 19 عائلة و 27 نوعاً من الرخويات و 3 فئات و 5 رتب و 6 عائلات و 10 أنواع من شوكرات الجلد ثم تسمح هذه الدراسة في مرحلة ثانية بإنشاء قاعدة بيانات للأخطار والملوثات في هذا المجال. يتم تحويل قاعدة البيانات التي تم إنتاجها باستخدام نتائج الدراسات المختلفة التي تم إجراؤها إلى بنك ذي مرجع جغرافي. كل خريطة هي نتيجة تجميع للمعلومات المتاحة ، منظمة في قاعدة بيانات تسمح بتكامل النتائج وتراكب المعلومات الجديدة. هذا يشكل وسيلة لتصور التطور الطبيعي للمنطقة ويمكن استخدامها على الفور لتحديد الوضع الحالي للنظام البيئي للمناطق الساحلية بوهران .

الكلمات المفتاحية: التنوع البيولوجي ، الجرد الحيواني ، نظم المعلومات الجغرافية ، البنك الجغرافي المرجعي ، خليج وهران .

Liste des figures :

Figure 2.1. La gestion des données thématiques et spatiales par un SGF ou par un SGF couple à un SGBD	29
Figure 2.2. Les données thématiques et géographiques et les traitements possibles	30
Figure 3.1. Localisation géographique de la zone d'étude : baie d'Oran.....	37
Figure 3.2. Vue du port d'Oran.....	38
Figure 3.3. Situation géographique du bassin méditerranéen occidental	39
Figure 3.3. Circulation des eaux de l'Atlantique.....	44
Figure 3.5. Localisation des rejets d'eaux usées de la ville d'Oran.....	51
Figure 4.1. Répartition des 50 stations répertoriées dans le golfe d'Oran.....	55
Figure 4.2. Carte sédimentaire du golfe d'Oran.....	60
Figure 4.3. Variation spatiale de la profondeur du golfe d'Oran.....	61
Figure 4.4. Variation spatiale de la température du golfe d'Oran.....	61
Figure 4.5. Variation spatiale de la de la salinité du golfe d'Oran.....	62
figure 5.1. Carte de distribution d'abondance par station dans le golfe d'Oran.....	65
Figure 5.2. Carte de distribution de la richesse spécifique par station dans le golf d'Oran.....	65
Figure 5.3. Richesse spécifique des macro invertébrés benthiques du golfe d'Oran.....	66
Figure 5.4. Fréquence d'apparition en% du nombre total de station.	66
Figure 5.5. Variation spatial de la biodiversité de l'abondance (A), de la richesse spécifique (B) , de la richesse spécifique(margalef) (D), de l'indice de Piélou (J' ; E) et de la diversité de Shannon (H' ; F) aux stations.....	67
Figure 5.6. Variation spatiale de la richesse spécifique de la macrofaune benthiques du golfe d'Oran.....	68
Figure 5.7. Variation spatiale de l'abondance de la macrofaune benthique es du golfe d'Oran.....	68
Figure 5.8. Dendrogramme issu de la Classification Ascendante Hiérarchique effectuée sur l'ensemble des 50 stations.....	75
Figure 5.9. Représentation des stations (a) dans l'espace des dimensions 1 et 2 (b) dans l'espace des dimensions 1 et 3 de l'Analyse Factorielle des Correspondances.....	75
Figure 5.10. Représentation des espèces (a) dans l'espace des dimensions 1 et 2 (b) dans l'espace des dimensions 1 et 3 de l'Analyse Factorielle des Correspondances.....	76
Figure 5.11. Cartographie des peuplements benthiques en golfe d'Oran.....	81
Figure 6.1. Diagramme de valeur propre	84
Figure 6.2. Projection des variables sur le plan 1*2 1*3.....	84

figure 6.3. Projection des individus (stations) sur le plan 1*2 1*3.....84

Liste des tableaux :

Tableau 2.1. les avantages et les inconvénient de SGF et SGBD.....	30
Tableau 2.2. Un exemple de tableau dans un SGBD ou SGF relationnel.....	32
Tableau 3.1. Répartition des habitants de la zone d'étude (ONS, 2000).....	49
Tableau 3.2. Evaluation des déchets du littoral oranais (Sogréah, 1998).....	52
Tableau 4.1. Répartition des listes faunistiques selon les groupes de taxa considérés.....	55
Tableau 4.2. Les paramètres environnementaux disponibles et la proportion de stations pour lesquelles ils sont renseignés.....	57
Tableau 5.1. Pourcentages de la richesse spécifique des 4 groupes macrobenthiques.....	65
Tableau 5.2. nombre de Taxonomie des 4 groupes macrobenthiques.....	69
Tableau 5.3. La répartition des 4 groupes macrobenthiques.....	69
Tableau 5.4. Liste des principales espèces caractéristiques des Peuplements.....	79
Tableau 5.5. Liste des principales espèces contribuant à l'inertie de chacun des axes de l'A.F.C..	80
Tableau 6.1. Matrice de corrélation.....	85
Tableau 6.2. Qualité de représentation.....	85
Tableau 6.3. Projection des variables aux facteurs.....	85
Tableau 6.4. Contribution des variables.....	85

Résumé

Abstrat

ملخص

Liste des figures et tableaux

INTRODUCTION :	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I. NOTIONS D'HABITATS BENTHIQUES	
1. Notion d'habitat benthique :	4
1.1. Notion de macros invertébrées benthiques :	4
1.2. Notion de biocénose :	4
1.3. Eléments d'écologie benthique :	5
1.3.1. Rapports des organismes avec le substrat :	5
1.3.2. Collecte de la nourriture :	9
1.3.3. Reproduction et développement larvaire :	12
1.4. Méthodes de prélèvement de la faune benthique	14
1.4.1. Les types d'engins des substrats meubles :	14
1.4.1.2. Échantillonnage quantitatif : bennes et carottiers.....	15
1.4.2. Les types d'engins des substrats durs :	15
CHAPITRE II. NOTIONS DE SIG	
2.1.Introduction :	18
2.2. qu'est-ce qu'un SIG ?	19
2.2.1. L'origine et l'évolution des SIG.....	19
2.2.2. Les définitions d'un SIG.....	20
2.3. les fonctions des SIG.....	22
2.3.2. La consultation de la base de données et la recherche de données	23
2.3.3. L'analyse thématique et spatiale.....	24
2.3.4. La modélisation et la simulation	27
2.3.5. L'aide à la décision	27
2.3.6. La représentation cartographique.....	29
2.4.la gestion et la représentation des données dan sun SIG.....	29
2.4.1. Le système de gestion de base de données ou SGBD	30
2.4.2. Le modèle relationnel de gestion des données	33
2.4.3. La représentation de la réalité	35
2.5. conclusion.....	37
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE	
CHAPITRE III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	
3.1. Localisation géographique de la zone d'étude :	40
3.2. Géomorphologie et sédimentologie :	41
3.3. Les courants :	42
3.3.1. Masses d'eaux de surface :	44

3.3.2. Eaux Intermédiaires Levantines (EIL ou LIW) :	45
3.3.3. Eaux profondes :	45
3.4. Les houles :	46
3.5. Le Climat :	47
3.6. Les facteurs physico-chimiques du milieu :	48
3.6.1. La température :	48
3.6.2. La salinité :	49
3.6.3. Le carbone en Méditerranée :	49
3.6.4. Les éléments nutritifs (Phosphates, Nitrates et Silicates) :	50
3.7. Données socio-économiques :	52
3.7.1. Démographie :	52
3.7.2. Economie	53
3.8. Pollution :	53
CHAPITRE IV. COLLECTE DES DONNEES	
4.1.L'utilisation de données existantes	57
4.1.1.Introduction	57
4.1.2. La base de données golf d'Oran	57
4.1.Sélection des données	61
4.3.1 Quand la BD devient SIG	62
4.3.2 Caractérisation de site d'étude	64
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	
CHAPITRE V . STRUCTURE DES PEUPEMENTS	
5.structure des peuplements	68
5.1. Etude des assemblages de macrofaune	68
5.1.1. Diversité spécifique	68
5.1.2. Inventaire	73
5.2. Identification et caractérisation des assemblages de macrofaune :	77
5.2.1. analyses multivariées	77
5.2.2. Classification Ascendante Hiérarchique de l'ensemble des stations	78
5.2.3. Résumé détaillé	82
5.2.4. Analyse Factorielle des Correspondances	84
CHAPITRE VI . IMPACTS ANTHROPIQUES	
6 . Impacts anthropiques	88
6 .1. Introduction	88
6.2. Sensibilité de la richesse spécifique à différents types de variables	89
CONCLUSION :	95
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	97
PRODUCTIONSSCIENTIFIQUES :	116

INTRODUCTION

INTRODUCTION :

La Biogéographie et l'écologie et la statistique ont intimement liées lorsque l'on analyse des données concernant la répartition spatiale d'espèces car il existe des relations entre les espèces d'une part et entre les espèces et leur milieu d'autre part.

Faire des statistiques nécessite des interrogations sur le statut des données à traiter et notamment sur leur indépendance.

De par la complexité du monde vivant cette étape est primordiale en écologie et en biogéographie. Est-ce que les individus d'une espèce se répartissent de façon aléatoire ou existe-t-il des facteurs influençant cette répartition ? L'existence de multiples interactions entre les êtres vivants et leur milieu pose le problème de la part d'aléatoire et de déterminisme lors de la réalisation d'un événement. Dans la théorie du chaos, Gleick (1989) nous dit que "Pour comprendre la complexité de la nature, il fallait soupçonner que cette complexité n'était pas seulement un hasard, un accident.". Tout événement réalisé a donc des causes et des conséquences.

il a fallu introduire parmi les facteurs de répartition d'une espèce la présence d'autres espèces dans son voisinage. On s'est en effet rendu compte que les espèces interagissaient entre elles : relations prédateurs-proies, de compétitions ; intervention dans les phénomènes de reproduction telles que le transport des éléments sexuels de certaines plantes par certains animaux, etc... Est alors née une écologie de ces interactions, et une écologie des ensembles d'espèces, dite synécologie.

la macrofaune benthique se révèle comme un bon témoin des variations de l'environnement (Dauvin, 1993). Par la longévité, la sédentarité et la dynamique des espèces qui la composent, la macrofaune benthique intègre ces variations et permet d'obtenir un signal relativement clair, susceptible de détecter une perturbation du système (Glémarec & Hily, 1981 ; Dauvin, 1993)

L'étude des patterns spatiaux et temporels des organismes ainsi que le développement des bases de données permettant le stockage d'une grande quantité d'information, a ravivé l'exploitation de données biogéographiques existantes.

Les statuts des données issues de relevés ou des listes d'occurrences de macroinvertébrés benthiques principaux de littoral ouest de l'Algérie ne sont donc pas similaires(chapitre 1) ; il devrait alors en être de même pour les méthodes destinées à leur analyse (chapitre2). Dans ce rapport, nous discuterons donc de l'exploitation des listes

d'occurrences en écologie et en biogéographie ainsi que des problèmes méthodologiques que ce type de données peut poser.

Après une description du site d'étude, de la méthodologie développée et des analyses de données réalisées (Chapitre 3), un premier volet de l'étude (Chapitre 4) a été consacré à la macrofaune benthique du golfe d'Oran avec deux objectifs principaux : 1) réaliser un état des lieux de la macrofaune benthique à l'échelle du golfe d'Oran à partir d'une méthodologie identique quel que soit l'habitat considéré. Une stratégie d'échantillonnage stratifié prenant en compte l'hétérogénéité du milieu, en particulier les habitats non inclus dans les études précédentes, a été adoptée. Cet état des lieux rassemble des données géoréférencées à caractère qualitatif et quantitatif dans un Système d'Information Géographique afin de pouvoir être exploitées dans le cadre d'éventuels suivis. 2) identifier les principaux peuplements macrozoobenthiques, décrire leur structure et leur organisation spatiale au sein du golfe. La mise en relation de l'organisation des peuplements benthiques avec les principaux facteurs du milieu permet d'identifier les variables environnementales structurant les peuplements.. Le Chapitre 5 étend le champ d'investigation à une autre composante: les sédiments et la Macrofaune , sur une cinquantaine de stations réparties dans l'ensemble des strates. Cette étude, purement quantitative, vise à analyser les relations entre les compartiments « Macrofaune », et « sédiment » En conséquence, (Chapitre 6) les écosystèmes en général et les écosystèmes côtiers en particulier subissent une déstabilisation accrue résultant d'une pression anthropique croissante. La perturbation de ces écosystèmes a des répercussions sociales et économiques importantes qui engendrent de multiples conflits d'usages. Ces zones nécessitent donc une gestion intégrant les aspects juridiques, socio-économiques et écologiques (Dauvin, 2002). Afin de détecter l'impact écologique d'une perturbation, il est nécessaire de distinguer la variabilité naturelle à différentes échelles de temps (variations saisonnières, variations interannuelles cycliques (Gray & Christie, 1983) des variations liées à la perturbation de l'écosystème. Dans ce cadre, la macrofaune benthique se révèle comme un bon témoin des variations de l'environnement (Dauvin, 1993).

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I. NOTIONS D'HABITATS BENTHIQUES

1. Notion d'habitat benthique :

1.1. Notion de macros invertébrées benthiques :

Les fonds marins, depuis la ligne de rivage jusqu'aux plus grandes profondeurs de l'Océan, constituent le domaine benthique, par opposition au domaine pélagique, représenté par l'ensemble des eaux qui surmontent les fonds. Les organismes, végétaux ou animaux, qui vivent sur le substrat ou dans le substrat, ou même qui nagent dans son voisinage immédiat, forment le *benthos*.

Bien entendu, les végétaux chlorophylliens, capables d'édifier les matières organiques à partir de matières minérales, ne peuvent exister que dans les fonds auxquels parvient un éclaircissement suffisant pour permettre la photosynthèse. Ces fonds constituent le système littoral, appelé aussi, puisqu'il est caractérisé par la présence de végétaux, le système phytal. Par opposition à celui-ci, on appelle système profond, ou aphytal, l'ensemble des fonds depuis la limite inférieure de la végétation jusqu'aux plus grandes profondeurs de l'Océan (11 500 m environ). Le benthos est réparti en trois groupes :

Le Macrobenthique est composé de Mollusques, d'Echinodermes, de Crustacés, et d'Annélides Polychètes.

Le Méiobenthique se compose de Copépodes, d'Annélides interstitielles, de Nématodes et de Foraminifères.

Le Microbenthique comprend les Protozoaires, les Diatomées et les Bactéries.

1.2. Notion de biocénose :

Comme dans les biocénoses terrestres, chaque espèce marine, qu'elle soit végétale ou animale, a des exigences et des tolérances déterminées à l'égard des facteurs ambiants : température, salinité et teneur de l'eau en différents constituants secondaires, agitation du milieu, éclaircissement, pression hydrostatique (fonction de la profondeur), nature du substrat (pour les espèces benthiques seulement) ; ces facteurs inhérents aux milieux physique et chimique eux-mêmes sont appelés facteurs abiotiques (Encyclopédie Universalis 9).

Les biocénoses marines sont définies par une liste d'espèces dites caractéristiques, qui ne trouvent pas ailleurs les conditions de milieu correspondant à leurs exigences ; ces espèces ne sont pas forcément abondantes au sein du peuplement. Cependant, l'intensité plus ou moins grande de tel ou tel facteur du milieu peut, au sein d'une biocénose, conduire à la dominance plus ou moins marquée d'une espèce. Ainsi, sur les côtes rocheuses méditerranéennes existe en surface une biocénose dite des algues photophiles, riche en petits Invertébrés divers ; mais, lorsque la teneur des eaux en matières organiques, dissoutes et en

suspension, est particulièrement élevée, ou que l'agitation des eaux permet un important renouvellement de ces matières, les moules (*Mytilus edulis*) sont favorisées et arrivent à représenter l'essentiel du peuplement. On parle alors de *faciès* à *Mytilus edulis* de la biocénose des algues photophiles (Encyclopédie Universalis 9).

Certains faciès peuvent être saisonniers, par suite des différences accusées de température à l'échelle annuelle.

On peut définir les unités de peuplement, non plus sur la base d'une liste d'espèces caractéristiques, mais en fonction des espèces qui dominent par leur masse ou le nombre des individus.

Les biocénoses benthiques qui regroupent des espèces reposant sur le fond marin présentent, lorsqu'on en limite l'étude à la macroflore et à la macrofaune (ce qui est le cas le plus général), une stabilité assez remarquable dans l'espace, en raison du rôle majeur que joue dans leur constitution la nature du fond, d'où les analogies qu'elles présentent un peu partout dans l'Océan mondial, sur un type de fond donné. Ainsi, sur les fonds sableux littoraux, entre -10 et -20 m, on trouvera le plus souvent une biocénose comportant des Bivalves, Vénéridés et Mactridés, dont vivent des Gastéropodes prédateurs (*Natica*, *Oliva*, etc.), des crevettes, des crabes nageurs (*Portunus*, par exemple), des Annélides Polychètes (*Glycera*, *Nephtys*, etc). Les roches des niveaux les plus élevés, humectées seulement par les embruns et les plus fortes vagues, montrent toujours une communauté comportant un Lichen (*Verrucaria*), un Isopode du groupe des *Ligia* et un Gastéropode du groupe des *Littorina*. On pourrait donner bien d'autres exemples de ce parallélisme remarquable dans les mers les plus variées entre biocénoses correspondant à des biotopes analogues. Inversement, si ceux-ci viennent à être modifiés, par exemple par la construction d'une jetée, qui crée une zone de calme là où, précédemment, la houle se développait librement, on observe le remplacement d'une biocénose de fonds sableux par une autre, caractéristique des fonds vaseux.

1.3. Eléments d'écologie benthique :

1.3.1. Rapports des organismes avec le substrat :

Les rapports des êtres benthiques avec le substrat dépendent largement de la nature de celui-ci. Le fond peut être dur (roche, quais, coques de bateaux) ou meuble (sable, sable vaseux, vase). Les galets et les graviers peuvent être rangés dans l'une ou l'autre catégorie suivant les mouvements dont ils sont agités : un fond de galets dans un endroit calme sera l'équivalent d'un substrat dur, à ceci près que les interstices entre les galets ménageront des espaces propres à être peuplés, alors que de pareils galets remués par les vagues auront la valeur d'un substrat meuble (Encyclopédie Universalis 9).

1.3.1.1. Faune épigée :

Une part importante de la faune marine benthique vit à la surface du substrat ; les espèces qui mènent ainsi une vie « épigée » constituent ce qu'on appelle l'épifaune. Ces animaux, dits *épibiontes*, se répartissent en formes à mobilité élevée, ou vagiles, en formes sédentaires, de mobilité plus réduite (de quelques mètres à quelques dizaines de mètres), et en formes fixes

Formes fixes :

Nombreuses surtout sur les substrats durs, à la surface desquels elles sont attachées, les formes fixes sont dites sessiles : ce sont la plupart des huîtres, moules, *Chama*, Éponges, des Hydroïdes, des Anthozoaires, des Bryozoaires, diverses Annélides Polychètes (Serpulides, par exemple), divers Mollusques Bivalves et Gastéropodes (vermetes), Crustacés Cirripèdes, Ascidiés. Ces formes sessiles se rencontrent aussi sur les végétaux (Phanérogames et grandes algues) et sur les parties mortes des colonies de certains Invertébrés (Coraux, Gorgones, grands Hydroïdes, grands Bryozoaires). Sur les fonds meubles, les formes fixes sont beaucoup moins nombreuses. Certaines ne s'y trouvent que parce que la larve ou le jeune a rencontré un petit fragment dur où elle s'est attachée. Mais diverses espèces s'implantent sur les fonds meubles, soit par des sortes de racines superficielles (rhizoïdes), soit encore par un enfoncement dans le substrat de la partie inférieure du corps (Anthozoaires du groupe des Pennatulaires, et probablement aussi certains Crinoïdes pédonculés).

Formes sédentaires :

Les formes sédentaires peuplent plus volontiers, elles aussi, les substrats durs que les substrats meubles. Sur les premiers, elles sont représentées surtout par des formes rampantes : Mollusques (Polyplacophores, Gastéropodes), oursins réguliers, astéries, tous les animaux qui, surtout dans les niveaux superficiels plus ou moins intéressés par les vagues, ont un pouvoir adhésif élevé qui leur permet de ne pas être arrachés du support. Sur les fonds meubles, au contraire, où ce risque est moindre, les formes rampantes (quelques astéries, quelques Gastéropodes) sont peu nombreuses et les formes marcheuses (Annélides, Pycnogonides, Crustacés surtout) dominent ; ces derniers combinent d'ailleurs assez souvent la marche et la natation. Une catégorie particulière de sédentaires, où se trouvent réunis à la fois des glisseurs (essentiellement des Gastéropodes) et des marcheurs grimpeurs capables de nager sur de petites distances (principalement des Pycnogonides et des Crustacés), correspond aux formes sédentaires liées aux végétaux ou aux colonies d'Invertébrés (Encyclopédie Universalis 9).

Formes vagiles :

La mobilité élevée des formes vagiles les rend parfois capables de véritables migrations, notamment en fonction des variations saisonnières de température des eaux voisines du fond. Ce sont en général des animaux d'assez grande taille : Crustacés Décapodes, Céphalopodes, Poissons.

1.3.1.2. Faune endogée :

À l'opposé de cet ensemble de la faune épigée, on trouve tout un ensemble de formes endogées (endofaune), c'est-à-dire qui se logent dans l'intérieur du substrat et qui sont, évidemment, foreuses lorsque celui-ci est dur et fousseuses lorsqu'il est meuble.

Les espèces animales foreuses creusent les roches, la plupart du temps calcaires : les Éponges du genre *Cliona* agissent sans doute par dissolution chimique, les Annélides *Polydora* et la plupart des Bivalves paraissent mettre en œuvre des procédés mécaniques. Certains Bivalves du genre *Pholas*, dont une partie de la coquille a l'aspect d'une véritable lime, peuvent aménager leur logette jusque dans des marnes très compactes. Les bois immergés sont forés par les tarets, Mollusques Bivalves devenus vermiformes, mais aussi par des Crustacés (*Limnoria*, *Chelura*).

Les animaux fousseurs, infiniment plus nombreux, appartiennent aux groupes zoologiques les plus variés. Ce qu'on pourrait appeler leur « degré d'intimité » avec le sédiment est assez variable. Dans certains cas, l'animal enfoui se trouve en contact direct avec le sédiment que sa présence ne modifie pas ; c'est le cas de presque tous les Bivalves fousseurs (coques, praires, palourdes), de certaines Annélides comme les glycères, et aussi de divers Crustacés ou Échinodermes, par exemple divers oursins irréguliers du groupe des Spatangues. Dans d'autres cas, l'animal fousseur aménage au sein du sédiment un véritable terrier aux parois « cimentées » par du mucus ; c'est le cas de l'arénicole des pêcheurs, très commun sur nos côtes, de nombreux Vers du groupe des Échiurides, de divers Crustacés, par exemple l'Amphipode *Corophium*, et enfin de certains oursins irréguliers comme les *Echinocardium*. Très généralement, les animaux fousseurs restent en communication avec la surface du sédiment par un ou plusieurs orifices permettant la circulation, dans le terrier, de l'eau qui apporte les particules nutritives microscopiques et l'oxygène dissous nécessaire à la respiration. Le mécanisme de fouissage dépend des groupes : les Crustacés fouissent avec leurs pattes thoraciques, les pattes abdominales servant à chasser les déblais ; les oursins irréguliers et les Astéries fousseuses (*Astropecten*) utilisent leurs piquants ; les Mollusques et

beaucoup de Vers, notamment les Échiurides, fouissent en gonflant et dégonflant leur corps tout entier (Vers) ou une partie de celui-ci (« pied » des Mollusques) (Encyclopédie Encarta, 2006).

Dans les substrats meubles enfin, il faut distinguer une catégorie d'animaux généralement désignée sous le nom de « microfaune », car elle englobe des espèces de petite taille (moins de 0.5 mm). Les éléments dominants sont les Nématodes et divers groupes de Crustacés : Copépodes, Mystacocarides, Ostracodes, très petits Isopodes. Contrairement à la macrofaune fouisseuse, dont les représentants ne cherchent dans le sable ou la vase qu'un abri, mais restent tributaires de la surface du sédiment, ou de l'eau sus-jacente, pour la collecte de leur nourriture, les espèces de la microfaune dépendent exclusivement du milieu interstitiel lui-même, c'est-à-dire du milieu constitué par le sédiment et par l'eau qui l'imprègne.

D'une façon générale, dans les substrats meubles, le problème de la place disponible pour les espèces fouisseuses ne se pose guère, et l'étagement en épaisseur sur quelques centimètres (ou parfois sur un petit nombre de décimètres) des individus d'une espèce ou de diverses espèces permet des densités de population importantes. En revanche, sur les substrats durs, le problème se pose, car les espèces foreuses sont, en définitive, relativement peu nombreuses, alors que les sessiles et les sédentaires constituent l'essentiel du peuplement végétal et animal des substrats rocheux. C'est seulement dans les grands fonds, ou dans des cas très particuliers (par exemple, lorsque des roches peu profondes sont baignées par des eaux très agitées), que le taux de couverture d'un substrat solide peut être faible ; partout ailleurs il y a occupation à 100 p. 100. Ce problème de la place disponible devient si critique que les espèces sont amenées parfois à s'installer les unes sur les autres : par exemple un Invertébré colonial (Hydroïde, Bryozoaire, Ascidie composée) peut se fixer sur une autre espèce déjà fixée sur la roche elle-même ; on dit alors qu'il y a *épibiose* du second degré et il y en a d'innombrables exemples surtout quand l'espèce support est un végétal multicellulaire. Un autre procédé dont disposent les espèces sessiles, végétales ou animales, pour avoir une large surface d'échange avec le milieu extérieur tout en n'occupant qu'une faible surface du substrat, est de prendre une forme dressée (ou pendante) et même ramifiée. Bien entendu, ces formes fixées au substrat par une faible base, qu'elles soient ramifiées ou non, offrent au mouvement des eaux, et notamment des vagues, une surface importante ; il en résulte que, dans les stations des niveaux supérieurs, où l'agitation est forte, elles sont moins nombreuses que les formes aplaties en croûte ou en dôme, qui offrent moins de prise à l'arrachement ; certaines formes dressées ou ramifiées résolvent le problème de la résistance à l'agitation des eaux grâce à leur consistance cornée ou même souple, ce qui leur permet de plier sans rompre.

Une fois qu'ils ont trouvé une place sur ou dans le substrat, les êtres benthiques se heurtent à deux problèmes : se nourrir et se reproduire (Encyclopédie Universalis 9).

1.3.2. Collecte de la nourriture :

Ses modalités sont infiniment variées chez les animaux benthiques. On peut distinguer sommairement deux grandes catégories, les macrophages et les microphages, suivant que la taille des proies est relativement importante par rapport à celle de l'espèce considérée, ou qu'il s'agit au contraire de proies microscopiques.

1.3.2.1. Macrophages :

Les macrophages se rencontrent surtout parmi les espèces relativement mobiles : Poissons, grands Crustacés Décapodes, Mollusques Céphalopodes, qui chassent, ou guettent à l'affût, des proies très diverses. Les Poissons benthiques se nourrissent le plus souvent de Mollusques (surtout Bivalves), d'Annélides Polychètes et de Crustacés ; les Crustacés Décapodes macrophages mangent plutôt des Vers ou d'autres Crustacés, et parfois aussi des Éponges ou des Échinodermes ; les Céphalopodes (poulpes, seiches) se nourrissent surtout de Crustacés Décapodes. La macrophagie se rencontre parfois chez des espèces sédentaires ou même fixées : par exemple, beaucoup d'Actinies happent au passage le Crustacé ou le poisson imprudent qui est venu nager trop près de leur bouquet de tentacules garnis de cellules urticantes dont le venin paralyse la proie. De nombreux Gastéropodes (pourpres, *Murex*) perforent, afin de les dévorer, la coquille d'autres Mollusques. La plupart des Cônes, gros Gastéropodes tropicaux dont la belle coquille est très recherchée des collectionneurs, arrivent à paralyser et à ingérer entiers de gros Vers et Mollusques, et même des Poissons. La prédation aux dépens d'animaux relativement volumineux existe enfin, parmi les Invertébrés sédentaires, chez bon nombre d'étoiles de mer : ainsi les grosses *Asterias* à surface verruqueuse, communes sur nos côtes, se nourrissent de Bivalves dont elles entrebâillent légèrement la coquille avec leurs bras, afin d'y introduire leur estomac ; projeté à l'extérieur, celui-ci digère littéralement la victime au sein même de sa coquille. Certains de ces macrophages carnivores peuvent parfois, quand les proies vivantes manquent, se rabattre sur des cadavres (Santa, 1961).

Un grand nombre d'Oursins réguliers, et notamment les *Echinus* et les *Paracentrotus* comestibles de nos côtes, sont des mangeurs d'algues. C'est surtout aussi parmi les Gastéropodes Opisthobranches que l'on trouve les brouteurs d'Invertébrés, qui tondent littéralement les petits individus des colonies d'Hydriaires, d'Alcyonaires, de Bryozoaires, d'Ascidies composées. Quelques étoiles de mer paraissent être brouteuses d'Éponges (Encyclopédie Encarta, 2006).

1.3.2.2. Microphages :

En ce qui concerne les animaux benthiques microphages, la question qu'on doit se poser tout d'abord est celle de la nature des proies. Celles-ci peuvent être constituées, bien sûr, de tous les végétaux et animaux vivants de très petite taille, depuis de petits Invertébrés ou des larves jusqu'aux Bactéries, en passant par tous les Protistes. Mais il faut encore savoir si ces microphages peuvent aussi tirer parti des particules organiques mortes ou même des matières organiques en solution. L'utilisation de ces dernières paraît à l'heure actuelle à peu près prouvée dans un petit nombre de cas. Celle des particules figurées mortes reste douteuse et on estime assez généralement que leur assimilation par le tube digestif des microphages porte sur les Bactéries saprophytes, vivant aux dépens de ces matières organiques, plutôt que sur la matière organique morte elle-même.

Pour la collecte des proies microscopiques, le problème se pose un peu différemment chez les formes sédentaires et chez les formes fixes. Pour les espèces fixes (sessiles ou pivotantes) le système de l'attente passive, assez peu répandu, implique que l'animal vive dans des eaux agitées, donc suffisamment renouvelées. C'est le cas des Coraux (Hydrocoralliaires et Madréporaires) qui construisent les récifs côtiers des mers tropicales ; les polypes, exclusivement carnivores, étalent leurs tentacules (quand ils en possèdent) et les petits Crustacés qui viennent à toucher l'un de ceux-ci sont paralysés et ingérés ; chez les Coraux où les tentacules sont atrophiés, il y a une ciliation dont les battements font converger les courants vers la bouche et l'attente des proies ne peut plus être considérée comme tout à fait passive (Encyclopédie Encarta, 2006).

Le procédé de collecte par un courant d'eau entraînant les particules vers la bouche existe chez d'autres Invertébrés, notamment certains oursins irréguliers fouisseurs (Scutellidés) ou encore chez des Annélides Polychètes (Spionidés). Ces dernières ont deux longs palpes parcourus par une gouttière au fond de laquelle les particules cheminent vers la bouche, en même temps qu'elles sont engluées par du mucus. Le procédé qu'on pourrait appeler « d'englue » se retrouve assez souvent ; par exemple, chez d'autres Polychètes (Térebellidés) qui portent, en arrière de la bouche, un bouquet de longs filaments rétractiles et gluants sur lesquels les particules se collent ; l'animal rétracte ensuite les tentacules qu'il a laissé flotter dans l'eau ou traîner dans le fond et la bouche peut récupérer les proies. Certains Gastéropodes sessiles du groupe des vermetes sécrètent dans l'eau une sorte de nappe de mucus gluant sur laquelle se fixent les particules en suspension ; quand l'animal estime que la nappe est suffisamment garnie, il l'avale entière avec tout ce qui y adhère (Encyclopédie Encarta, 2006).

La plupart du temps, le procédé de collecte par courant d'eau entraînant des particules nutritives est complété par un système de filtration qui emploie grosso modo deux systèmes différents : le panier et le tamis.

Chez certains animaux, en effet, le courant d'eau est relativement faible et, pour compenser, la collecte des particules est assurée sur une large surface, quoique de façon assez imparfaite. C'est ainsi que procèdent, par exemple, les Polychètes Serpulidés et Sabellidés, chez lesquelles le segment du corps qui entoure la bouche porte une sorte de panache de filaments munis de branches latérales, ou pinnules. Les cils vibratiles qu'ils portent attirent l'eau au centre de cette sorte de panier ; lorsqu'elle sort en passant entre les ramifications des filaments, cette eau tiède cède au passage les particules, qui sont conduites, enrobées de mucus, vers la bouche ; elle cède aussi l'oxygène dissous, nécessaire à la respiration. Un dispositif analogue existe chez les holothuries à bras buccaux ramifiés comme les *Cucumaria*, chez les Hydraires et les Bryozoaires, chez les Crinoïdes ; le panache de cirres battant rythmiquement des Crustacés Cirripèdes (anatifes, balanes) fonctionne aussi à peu près de même.

Le système du tamis est beaucoup plus efficace. Il consiste à diriger un courant d'eau, généralement plus intense et bien délimité, sur une véritable grille filtrante à mailles serrées constituée par la branchie, au niveau de laquelle il y a toujours, à la fois, échange des gaz impliqués dans la respiration et arrêt des particules alimentaires qui sont enrobées de mucus et conduites à l'entrée du tube digestif par des courants ciliaires. C'est ainsi que procèdent notamment les Mollusques Bivalves et aussi les Ascidies ; les uns et les autres possèdent deux siphons distincts, l'un pour l'eau inhalée, l'autre pour l'eau rejetée, et des dispositifs divers qui permettent d'arrêter et de rejeter les particules impropres à servir de nourriture de par leur taille ou même de par leur nature (Encyclopédie Universalis 9).

La collecte par filtration a été étudiée avec un soin particulier chez les Bivalves et l'on peut y distinguer deux groupes, suivant que l'aspiration porte sur des particules qui sont en suspension dans l'eau, comme chez les moules, les coques (*Cardium*), les praires (*Venus*), ou au contraire sur des particules et des organismes microscopiques se trouvant dans la pellicule toute superficielle du sédiment qui est collectée par un siphon inhalant long et flexible que l'animal (tellines, scrobiculaires) promène autour de son gîte comme s'il employait le tuyau d'un aspirateur.

Sont encore microphages les brouteurs d'algues unicellulaires comme divers Mollusques Gastéropodes (patelles, gibbules, calliostomes) et Polyplacophores (chitons) qui rampent lentement sur la roche, ou sur les grandes algues, et râpent la couverture végétale microscopique (diatomées, petites algues vertes ou bleues) qui revêt le substrat (Santa, 1961).

Enfin, parmi les utilisateurs des particules organiques du sédiment, certains, la Polychète *Ophelia*, les holothuries synaptides, sont appelés *limivores* (mangeurs de boue). Ils ingèrent le sédiment sans tri préalable et leur muqueuse intestinale se charge de prélever au passage ce qui est assimilable. Quelques crabes des côtes tropicales (*Ocypode*, *Dotilla*) malaxent avec leurs pièces buccales de petites masses de sédiment qu'ils rejettent après en avoir épuisé la nourriture, sous forme de petites boulettes qui entourent l'orifice de leur terrier. Certaines petites espèces de Crustacés, notamment dans le groupe des Cumacés, sont même, à proprement parler, des « lécheurs de sable », car elles roulent dans leurs pièces buccales les grains de sable un à un, pour récupérer leur couverture d'algues microscopiques et de bactéries ; ces lécheurs de sable sont liés à des sédiments dont les grains ont des dimensions telles qu'ils puissent être manipulés efficacement.

1.3.3. Reproduction et développement larvaire :

Quand une espèce benthique a résolu ces deux problèmes, trouver à « se loger » et trouver une nourriture convenable en qualité et en quantité, il lui reste à assurer l'avenir, c'est-à-dire à se reproduire ; pour cela deux procédés sont possibles, la multiplication asexuée et la reproduction sexuée.

La *multiplication asexuée* est un processus relativement simple et, dans l'immense majorité des cas, plus rapide que la sexualité. Elle existe chez d'assez nombreuses algues unicellulaires, ou même supérieures, ainsi que chez certaines Phanérogames marines. Chez les animaux, elle caractérise bien entendu toutes les formes coloniales (Hydroïdes, Alcyonaires, Zoanthaires, Bryozoaires, Ascidies composées), mais aussi certaines formes dites sociales, chez lesquelles les individus sont seulement juxtaposés (diverses Polychètes, Phoronidiens, certaines Ascidies). La multiplication asexuée, répandue surtout parmi les formes sessiles, représente un processus avantageux pour l'occupation d'une surface maximale du substrat dans le minimum de temps.

La *reproduction sexuée* implique des mécanismes autrement complexes et délicats. Et, tout d'abord, il faut que l'individu se trouve dans une ambiance favorable, du point de vue de divers facteurs du milieu, notamment la température. Il y a des marges thermiques, souvent assez limitées, qui conditionnent toutes les phases de la reproduction sexuée : la maturation des produits sexuels, leur émission dans le milieu extérieur s'il n'y a pas accouplement, la fécondation, et, de façon plus stricte encore, les premiers stades du développement de l'œuf fécondé. Ainsi s'explique la distribution géographique des espèces, pas seulement benthiques du reste, dans les mers froides, chaudes, tempérées (ces dernières caractérisées par des écarts saisonniers plus ou moins importants de la température). Ainsi s'explique aussi que la plupart

des espèces ne se reproduisent qu'à une période déterminée de l'année, période qui correspond justement aux températures optimales des phases initiales de la reproduction énumérées précédemment. Chez les espèces benthiques, l'hermaphrodisme est assez répandu, surtout parmi les formes fixes ; il est évident que le rendement de la reproduction sexuée s'en trouvera doublé, bien que la fécondation croisée demeure la règle (Santa, 1961).

Une fois que les œufs ont été fécondés et que l'embryon a commencé à se développer, le problème de l'avenir de l'espèce n'est pas résolu pour autant. Évidemment, chez les espèces vivipares, ou chez celles dites à développement direct, espèces dont les jeunes sont identiques, à la taille près, à leurs géniteurs, ces jeunes se trouvent *ipso facto* libérés dans un milieu convenant à l'espèce puisque les géniteurs ont pu y vivre et s'y reproduire. Toutefois il faut souligner que cette sécurité relative du développement a une contrepartie dans le fait que, chez ces espèces, la fécondité est toujours assez faible. La plupart du temps, les œufs ont été libérés dans le milieu, soit qu'ils flottent au voisinage de la surface, soit qu'ils soient déposés sur le fond, groupés ou non en pontes (parfois protégées par des dispositifs divers). Au cours d'une première phase de développement, l'embryon vit aux dépens des réserves de l'œuf ; puis celui-ci éclôt et il en sort une larve, dont souvent la morphologie diffère profondément de celle de l'individu parfait, et qui mène pendant un temps plus ou moins long (de quelques heures à quelques mois) une vie planctonique ; arrivées au terme de leur vie planctonique, ces larves subissent une métamorphose, à la fois morphologique, écologique (passage de la vie pélagique à la vie benthique) et physiologique (portant en particulier, le plus souvent, sur un profond changement du régime alimentaire).

Ces larves, pour croître, se nourrissent généralement aux dépens d'autres organismes du plancton, mais il arrive aussi qu'elles se bornent à achever de consommer, au cours de leur vie pélagique, les réserves que l'organisme maternel avait accumulées dans l'œuf. Dans ce dernier cas, le « stage » dans le plancton correspond pour l'espèce à une phase de dispersion : les larves, transportées par les courants, peuvent étendre l'aire de distribution de l'espèce, pour autant qu'elles rencontrent, au moment de leur métamorphose, les conditions de milieu favorables à la vie des individus parfaits, notamment en ce qui concerne la nature du substrat ; les œufs, qui doivent être riches en réserves, sont gros et la fécondité sera donc faible. Dans le premier cas, au contraire, le stage planctonique correspond non seulement à des possibilités de dispersion de l'espèce (d'ailleurs beaucoup plus importantes, puisque le stage est plus long), mais encore à un accroissement de taille de la larve ; dans ce cas les œufs peuvent être petits car la larve, pour atteindre la taille correspondant à la métamorphose, tire sa nourriture du milieu extérieur, et non plus seulement des réserves de l'œuf ; l'ovaire peut donc introduire un plus grand nombre d'œufs ; la fécondité est élevée.

Ce type de développement – larves séjournant longuement dans le plancton et s'y nourrissant – est évidemment plein de dangers, car plus les larves restent longtemps dans le plancton, plus elles risquent d'y rencontrer des conditions de milieu défavorables (variations de température, de salinité), plus elles risquent aussi d'être entraînées par les courants loin des fonds propices à leur métamorphose et plus elles risquent d'être victimes d'autres animaux vivant dans le plancton, ou encore de ne pas trouver dans ce plancton, à un moment ou à un autre, la nourriture qui leur convient. Malgré tous ces inconvénients, qui entraînent parfois une « mortalité infantile » absolument extravagante et qui justifie le nombre prodigieux d'œufs produits par certaines espèces, le type de développement avec stage pélagique prolongé offre des avantages tels, du point de vue de la dispersion et de l'accroissement individuel des larves, qu'il est le plus répandu ; dans les mers tempérées, les espèces à larves séjournant longtemps dans le plancton et s'y nourrissant représentent environ les quatre cinquièmes de l'ensemble de la faune benthique, et la proportion est plus forte encore dans les mers tropicales ; c'est seulement dans les mers polaires, où la pullulation du plancton est brève, que ces espèces sont minoritaires par rapport aux formes à développement direct ou incubatrices (Santa, 1961).

1.4. Méthodes de prélèvement de la faune benthique

1.4.1. Les types d'engins des substrats meubles :

1.4.1.1. Échantillonnage qualitatif : dragues et chaluts

Les engins remorqués tels que les dragues et les chaluts fournissent des données qualitatives et parfois semi quantitatives, en normalisant les conditions et la durée du trait. Les dragues sont de lourds châssis métalliques munis d'un sac ou d'un gros filet et parfois d'un rebord qui gratte le fond. D'une conception plus simple, les chaluts, notamment les divers chaluts à perche, consistent en un long filet dont l'ouverture est assurée par une perche rigide et par des patins métalliques qui glissent sur le fond. Quant aux chaluts à panneaux, leur ouverture est assurée par deux panneaux ou portes. Pour les études benthiques, ces types d'engins simples sont utiles pour fournir une première indication de la nature générale de la faune et de la flore dans un habitat. Toutefois, comme ils ne sont pas aussi pratiques que d'autres engins pour effectuer des évaluations quantitatives, ils ne sont pas davantage décrits dans le présent rapport (Home et al, 1971).

1.4.1.2. Échantillonnage quantitatif : bennes et carottiers

On utilise les bennes pour étudier quantitativement l'endofaune benthique. On fait verticalement descendre la benne au bout d'un câble pour que ses dents « mordent » dans le

sédiment. Contrairement aux bennes, les carottiers sont des tubes qui pénètrent dans les dépôts et prélèvent une carotte de sédiment. Les carottiers étant habituellement plus petits que les bennes (0,008-0,05; normalement 0,15 m²), ils sont plus adaptés au prélèvement du méiobenthos. Dans le cas du macrobenthos, les carottiers entraînent souvent des effets de bordure, c'est-à-dire des dommages aux échantillons causés par leurs parois. Ils ne recueillent pas aussi facilement les gros organismes. Les carottiers à boîte qui couvrent une superficie d'échantillonnage allant jusqu'à 0,25 m² sont une exception, mais ils sont très gros, lourds, coûteux et difficiles à utiliser. De plus, ils nécessitent les installations d'un gros bateau. Weston (1990) a utilisé un carottier à bêche de 0,06 m², qui est peut-être approprié pour prélever la macrofaune, mais le présent rapport n'étudie pas les carottiers de façon plus approfondie (Home et *al*, 1971).

1.4.2. Les types d'engins des substrats durs :

1.4.2.1. Caméras :

Presque tous les prélèvements benthiques de substrats durs font appel à du matériel de photographie sous-marine, notamment des caméras vidéo et des appareils photo, portables ou télécommandés. De nombreux types d'appareils sont disponibles dans toutes les catégories, mais certains sont plus fiables que d'autres dans les conditions de travail difficiles.

1.4.2.2. Appareils photos portables :

Pour les travaux exigeant l'utilisation d'appareils photo portables, les appareils avec flash intégré de format 35 mm, entièrement étanches, semblent mieux convenir que les appareils photo et les flashes protégés par un caisson étanche. Ces derniers sont beaucoup plus encombrants et, par conséquent, subissent davantage l'effet des courants, ce qui les rend difficiles à déplacer et à positionner. Ils possèdent également moins de fonctionnalités et sont plus susceptibles d'absorber l'eau.

1.4.2.3. Appareils photos télécommandés :

Les appareils photo télécommandés sont toujours fabriqués sur mesure. Ils comportent normalement un cadre de superficie égale à la superficie photographiée, sur lequel sont montés un appareil photo et une ou plusieurs têtes de flash, à une distance permettant une mise au point précise. L'appareil est habituellement déclenché par une détente activée par le contact avec le fond. Les appareils à déroulement et à armement automatiques sont utiles, car on n'a pas à les remonter à la surface après chaque exposition. Les appareils de grand format, par exemple ceux prenant des photos de 10 cm x 10 cm, protégés par un caisson, sont souvent

employés dans ces situations, puisqu'on tente rarement de photographier de très gros plans et que les spécimens apparaissent petits sur le film. En outre, avec les appareils de grand format, on peut utiliser de grosses bobines de film pour obtenir 100 images ou plus. Comme ces appareils sont gros et encombrants, il faut utiliser un treuil pour les installer. Les courants peuvent aussi faire dévier l'appareil et le cadre. L'information sur le fonctionnement des bennes s'applique également à ce type d'appareil photo.

1.4.2.4. Caméras vidéo portables :

Les caméras vidéo ont plusieurs avantages par rapport aux appareils photo pour la prise d'images de benthos des substrats durs, mais sont limités en ce qui concerne d'autres aspects. D'abord, les caméras permettent de filmer une bande continue du substrat, c'est-à-dire un transect en bande. Le film obtenu peut ensuite être analysé à n'importe quel degré de détail requis, par arrêt sur cliché individuel. Ensuite, les caméras fonctionnent bien à des luminosités très faibles et, à des fortes luminosités, elles ont une meilleure profondeur de champ que les appareils photo. Par contre, le degré de détail des images est grandement réduit par rapport à celui des appareils photo, et les opérations de filmage sont difficiles. De plus, les caméras sont grosses, requièrent un caisson étanche, subissent davantage les effets du courant et sont généralement peu conviviales.

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE II. NOTIONS DE SIG

2.1.Introduction :

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) ont un champ d'application plus vaste que la seule gestion de l'eau. De nombreux auteurs insistent sur l'importance des SIG dans les domaines relatifs à la gestion du territoire. Cette introduction se situe donc dans un cadre plus large que celui du mémoire afin d'avoir une meilleure idée du potentiel de cet outil.

Dans « Environmental modeling with GIS », Eddy (dans Goodchild et al., 1993) nous présente le changement global auquel la Terre doit faire face et ce que les scientifiques peuvent faire pour mieux le gérer. L'auteur nous propose six impératifs à mettre en oeuvre dont « a global data and information system that makes environmental data, past and current, available to all who need it, in a form that they can use ». Les études environnementales seraient d'après lui beaucoup plus aisées à réaliser là où l'information scientifique est facilement accessible à tous ceux qui en ont besoin. Il propose donc un système global d'informations géographiques qui devrait être utilisable par tous les scientifiques dans une forme et un format standardisé et convivial.

Burrough et McDonnell (2000) ajoutent que le besoin en données spatiales n'est pas seulement nécessaire pour les scientifiques mais aussi pour les bureaux d'urbanisme, les départements de police, les organisations médicales, les ingénieurs, etc.

La variété d'utilisateurs possibles est donc vaste. De plus, les raccordements au gaz, à l'électricité, à l'eau, au téléphone... devraient être manipulés comme de l'information spatiale afin de faciliter leur cartographie et leur gestion. Naturellement, cette demande croissante d'information et de moyens pour la traiter nécessite l'utilisation d'un matériel informatique de plus en plus performant.

Ces différentes approches d'un même sujet par de nombreux auteurs ont permis de définir un outil de travail puissant appelé **système d'information géographique (SIG)** utilisant les techniques de gestion de base de données (spatiales) à l'aide d'ordinateurs. On parle également de SIT ou système d'information du territoire, ou encore de SIRS, système d'information à référence spatiale. Un SIT est alors un instrument de décision dans les domaines juridique, administratif et économique, qui est généralement axé sur une gestion des données cadastrales (Bédard, 1987 dans Thériault, 1996), alors que le SIG s'utilise pour étudier les milieux naturels et les activités distribuées sur le territoire. Le terme SIRS englobe le SIT et le SIG (Prélaz-Droux, 1995).

Malgré tous les progrès technologiques et informatiques constatés surtout dans les années 1990, on est encore loin du système global et homogène sur l'ensemble de la planète, souhaité par Eddy. L'utilisation des SIG est toutefois devenue plus courante : en 1995, 93 000 sites

étaient équipés sur l'ensemble de la planète (Burrough, 2000). Cette croissance du champ d'applications et de produits a aidé les SIG à devenir un outil accepté pour gérer et analyser des données spatiales.

2.2. Qu'est-ce qu'un SIG ?

Beaucoup d'informations indiquent que les SIG se sont rapidement répandus dans les années 1990. Mais d'où vient ce nouveau champ de travail et que représente-t-il ?

2.2.1. L'origine et l'évolution des SIG

La terminologie de Systèmes d'Information Géographique date des années 1960.

Globalement, le SIG est un environnement créé pour gérer des données spatiales numérisées et pour satisfaire certains besoins, dont les plus courants sont **l'analyse, la modélisation, la simulation et la représentation cartographique.**

Au Canada, lors d'un inventaire des utilisations du sol, une analyse rigoureuse démontrait que l'ordinateur était le meilleur outil pour effectuer des mesures de surface et des cartes digitales. Des mesures pouvaient ensuite se faire simultanément sur différentes cartes, par exemple : quelle est la surface des terres agricoles qui ne sont pas utilisées comme telles? Le système des **couches** d'information que l'on peut superposer était né : dans cet exemple, on a superposé une couche d'information des terres agricoles sur une couche d'information des terres non utilisées (Goodchild, 1993).

C'est surtout pour la planification sensible à l'environnement et l'architecture d'un paysage que l'on a commencé à utiliser ce système de couches dans les années 1960. On réalisait que le monde était composé de couches indépendantes qui représentent chacune une composante de l'environnement et donc d'une série de problèmes environnementaux. Ces couches sont par exemple les sédiments , les paramètres écologiques , etc.

Ensuite, les travaux des urbanistes, des démographes et le développement de la télédétection ont encore multiplié le nombre et la diversité de couches possibles.

Les Etats Unis avaient par contre des problèmes d'accès aux différents types de données nécessaires pour établir des modèles. Ils ont alors conçu les SIG comme des outils pour extraire les données spatiales appropriées de grandes banques de données, afin de les rendre disponibles pour **l'analyse**, et pour réaliser **des représentations cartographiques** des résultats. La production automatique de cartes a beaucoup d'avantages : une fois les données numérisées, il est beaucoup plus facile de manipuler, copier, éditer et transmettre l'information.

Quarante ans plus tard, ce sont encore les mêmes arguments qui justifient l'utilisation de SIG. Pendant les années '80, les SIG connaissent leurs premiers succès commerciaux. Ils étaient alors surtout utilisés pour faire de la gestion des ressources. A cette époque, on estimait que les ressources financières affectées à l'industrie globale des SIG augmenteraient d'un milliard de dollars par an.

Pendant les années 1990, plusieurs **développements techniques et organisationnels** ont aidé à développer l'application et l'appréciation des SIG.

En premier lieu, il y a eu la prise de **conscience** : on a réalisé qu'il était très efficace de pouvoir manipuler de grandes quantités de données spatiales. Ces dernières années, l'information (spatiale) et les outils pour la gérer et l'analyser ont ainsi gagné en importance dans les processus de décision auprès des gouvernements ainsi que dans le secteur privé (Worrall, 1991). Certains n'en sont néanmoins pas encore convaincus...

Deuxièmement, depuis 1995 la prolifération des ordinateurs personnels à prix modéré, qui ont en plus augmenté leur capacité de stockage et de traitement des données, a permis **l'utilisation plus répandue** des techniques informatiques par les individus et les entreprises à budget limité.

Troisièmement, beaucoup d'ordinateurs sont connectés à des réseaux électroniques. **L'échange de données** coûteuses et de logiciels a ainsi été facilité.

De nouvelles possibilités se sont aussi développées pour **l'analyse spatiale**. Elles devront être exploitées judicieusement pour assurer une amélioration de la qualité de la prise de décision, en particulier dans le secteur public.

Finalement, la standardisation des interfaces entre les programmes de base de données et les autres programmes a facilité le traitement des données spatiales. Actuellement, les utilisateurs s'attendent donc à une interface intuitive et conviviale à l'aide de laquelle ils peuvent interagir et formuler des requêtes.

2.2.2. Les définitions d'un SIG

Beaucoup d'essais ont été faits pour définir les SIG et il est donc difficile de sélectionner LA définition pertinente. Maguire et al. (1991) proposent par exemple onze définitions... Cette variété peut être expliquée par le fait que chaque définition d'un SIG dépend de qui la formule et de son point de vue (Heywood, 1998). Il s'agit donc de définitions assez subjectives selon l'auteur et ses préférences.

Selon Maguire et al. (1991), l'évolution rapide des SIG a causé de nombreux **problèmes** quant à leur définition. Ainsi, profitant des nouvelles opportunités sur le marché, beaucoup

delogiciels se réclament être des logiciels SIG, mais peu le sont en réalité. Le nombre de consultants en SIG a aussi considérablement augmenté, mais ils ne se valent pas tous et ils donnent parfois des informations contradictoires. Les applications d'un SIG sont extrêmement vastes et intègrent des idées développées dans les domaines les plus variés : on les utilise en botanique, en économie mais aussi en photogrammétrie, en mathématiques et bien sûr en géographie.

Il existe aussi un débat cherchant à définir l'élément clé des SIG: pour certains, ce sont les logiciels et matériels, pour d'autres le traitement de l'information et les applications qui en découlent.

Les définitions les plus courtes décrivent ce que **sont** les SIG.

Pour Rhind (1989) (cité par Heywood, 1998) un SIG est un système sur ordinateur qui peut contenir et utiliser des données qui décrivent des endroits sur la surface de la Terre.

Collet (1992) dit quant à lui que «globalement, un système d'information géographique est capable de gérer des informations à caractère spatial ».

Les définitions plus complètes, ajoutent ce que **font** les SIG.

Pour Burrough (2000), un SIG est **un set d'outils** pour collecter, stocker, organiser, transformer et afficher des données spatiales du monde réel pour une série de buts particuliers.

Les définitions ont pour la plupart été traduites de l'anglais. Si les définitions proviennent de Maguire (1991), p 10-11, les noms d'auteur sont suivis de '*'. Burrough (2000) reprend également quelques définitions dans son livre.

Le « Department of Environment » élaborera en 1987 la définition suivante : « un système pour obtenir, stocker, vérifier, manipuler, analyser et afficher des données qui sont rattachées spatialement à la Terre ».

Pour Parker* (1988), c'est une technologie d'information qui stocke, analyse et affiche des données spatiales et non spatiales.

D'autres définitions sont plutôt axées sur la base **de données** ou sur la base **organisationnelle** des **données** :

- Carter* (1989) : une entité institutionnelle reflétant une structure organisationnelle qui intègre une technologie avec une base de données, une expertise et un support financier continu dans le temps.
- Aronoff* (1989) parle d'une série de procédures manuelle ou basée sur ordinateur qui sont utilisées pour stocker et manipuler des données à référence spatiale.

- Smith* (1987) : un système de base de données dans lequel la plupart des données sont indexées spatialement et sur lequel un certain nombre de procédures peuvent être opérées pour répondre à des requêtes sur des entités spatiales de la base de données.
- Cowen* (1988) : un système d'aide à la décision qui intègre des données spatialement référencées dans un environnement de résolution d'un problème.
- Ozemoy, Smith et Sichertman* (1981): une série de fonctions automatiques qui procurent aux professionnels des capacités avancées pour le stockage, la recherche, l'extraction, la manipulation et l'affichage de données géographiquement localisées.

La liste de définitions n'est pas exhaustive... Les définitions ont néanmoins une caractéristique en commun : c'est le travail utilisant des données géographiques numériques.

Les **données géographiques** représentent des phénomènes du monde réel par leur position par rapport à un système de coordonnées connu, par leurs attributs et pour certaines applications, par leurs relations spatiales. Elles sont gérées directement dans le SIG ou par un système de gestion de base de données (SGBD), couplé au SIG. Les traitements plus complexes sur les données spatiales se font à l'aide d'un module, interne ou externe au SIG, permettant les analyses spatiales.

Les autres composantes essentielles des SIG sont, selon Ian Heywood (1998), associées au fait qu'il s'agit d'un **système basé sur un ordinateur** (hard- et software) et que des **tâches d'organisation et d'analyse** se font sur les données spatiales.

En conclusion, la demande accrue d'informations et d'outils pour les traiter a conduit au développement des SIG tels que l'on les connaît aujourd'hui.

Les SIG sont utilisés **pour augmenter** la **valeur** de données spatiales. En permettant aux données d'être organisées et visualisées efficacement, en les intégrant aux autres données, en permettant l'analyse et en créant de nouvelles données, les SIG créent de l'information **utile** à l'aide à la décision. Ceci sera développé dans les chapitres suivants.

La topologie est une géométrie sans coordonnées. En gérant la topologie des données, on évite la redondance. Les caractéristiques géométriques des objets ne changent alors pas lors de transformations et elles sont indépendantes d'un système de coordonnées et de l'échelle de mesure.

2.3. Les fonctions des SIG

Après cette présentation des SIG, il convient de décrire les fonctionnalités de cet outil. Quelles sont les utilisations possibles dans le but d'augmenter le degré d'intégration et de durabilité de, par exemple, la gestion de l littoral?

Selon Reynard (2001), le SIG est «simultanément un outil d'analyse, de gestion et de simulation. Il permet de décrire la structure de la réalité étudiée et de modéliser son fonctionnement. » On peut encore y ajouter la facilité de représenter des données, sous forme de cartes ou graphiques. Fedra (1993) conclut que les SIG ne sont pas «une source d'information mais plutôt un moyen de la manipuler». Crausaz (2000) complète cette vision en disant que pour maximiser les profits d'un SIG, il est nécessaire d'établir auparavant une méthode d'analyse ou un concept de gestion.

Toutes ces fonctions permettent aux informations récoltées (qui sont ensuite vérifiées, structurées, et régulièrement mises à jour), d'être gérées et manipulées pour **valoriser l'information et faciliter la prise de décision.**

Les applications des SIG sont diverses et se situent à différents niveaux de complexité : de la simple consultation de l'information caractérisant les objets spatiaux à la modélisation d'interactions spatiales de phénomènes. Nous commencerons par l'application la plus simple du SIG : la consultation et la recherche.

3.3.2. La consultation de la base de données et la recherche de données

Un SIG peut être une simple interface graphique permettant l'organisation de données spatiales. Ces données seront consultées lors de la recherche d'informations précises. On peut consulter la base de données et représenter les résultats dans des tables, des graphiques et des cartes.

Il existe trois types de questions : les questions élémentaires qui se demandent ce qu'il y a à un certain endroit ; les questions de niveau moyen où l'objet à trouver doit répondre à une combinaison d'attributs ; et des questions de niveau global où on se demande où on trouve un certain objet.

Il existe **différents moyens d'interagir** avec le SIG : par texte, par reconnaissance vocale, par des graphiques, des animations. L'entrée de **texte** dans des lignes de commande pour rechercher des informations est le plus utilisé. La recherche de données à partir de la base de données se fait alors à l'aide d'un langage qui a une sémantique et une syntaxe bien définie.

L'idée est que l'utilisateur spécifie les propriétés des résultats voulus dans le langage de recherche. Les combinaisons possibles sont basées sur des opérateurs logiques, tels que la conjonction, la négation, les opérateurs arithmétiques, etc. On peut faire des requêtes en langage courant et/ou **en langage SQL (structured query language)** ou, encore, par d'autres. Les bases de données non spatiales fonctionnent selon le même principe.

langages de programmation plus poussés. C'est cependant le langage SQL qui est le plus utilisé (voir également « 2.4.2 Le modèle relationnel de gestion des données »). L'avantage des langages de recherche est leur indépendance par rapport au contenu de la base de données et que l'on peut donc les utiliser pour n'importe quel type de base de données. On peut également installer des filtres lors des recherches pour avoir un plus grand contrôle sur les données. Les langages de recherche ont néanmoins des limites, dont la plus importante est que les concepts géographiques sont parfois difficiles à traduire en langage de recherche traditionnel. Ils sont souvent vagues, imprécis et non standardisés, comme par exemple qu'est-ce qu'une montagne?

Pour répondre à ce problème, **les fenêtres, les icônes, les menus et les outils pour pointer** sont d'autres moyens pour interagir avec le SIG et rechercher des informations. L'avantage est leur **composante visuelle**. Dans certains logiciels, des fiches thématiques apparaissent si vous double-cliquez sur un objet sur la carte. Elles décrivent les unités d'observation par leurs attributs qui ont une dimension :

- spatiale : localisation, forme, taille, topologie (attributs spatiaux)
- fonctionnelle : rôle physique, biologique, économique, social dans le système territoire (attributs thématiques)
- temporelle : version datée de l'entité (attribut thématique).

Ainsi, les informations sont directement accessibles et affichées. Les expressions SQL peuvent aussi être formulées à l'aide d'une combinaison d'icônes et d'objets sur la carte.

Nous pouvons donc conclure que par l'accès facilité au SGBD et l'utilisation conviviale du SIG, l'outil permet de **faciliter l'aide au service de la clientèle et la communication au sein de l'entreprise ou de la commune**.

La visualisation et la recherche de données ne suffisent cependant pas aux besoins des utilisateurs. D'autres applications des SIG permettent de mieux répondre à la demande : ce sont toutes les opérations d'analyse spatiale qui permettent par la suite la modélisation spatiale, les simulations et les différentes représentations cartographiques et graphiques. C'est ce que nous allons étudier maintenant.

2.3.3. L'analyse thématique et spatiale

Les SIG utilisent des techniques et des méthodes issues de différentes disciplines. Ces autres disciplines participent également au mouvement de diffusion de l'information. Il s'agit de la géomatique, la cartomatique et la télédétection. Cependant, les SIG complètent ces trois disciplines par leurs capacités de traitement de l'information géographique afin de simuler des

processus, faire de l'analyse spatiale et aider les décideurs (Thériault, 1996). En effet, la recherche de données stockées ne suffit souvent pas aux besoins. C'est pourquoi les utilisateurs veulent pouvoir combiner des données pour « voir » des distributions et des connexions entre les différentes données. A partir de données, on veut créer de nouvelles informations, transformer des données ponctuelles en données surfaciques, calculer de nouveaux paramètres, connaître les propriétés de distributions spatiales, établir des modèles, etc. pour finalement contribuer à l'aide à la décision. Joerin (1998) donne une définition simple : l'analyse spatiale est un ensemble de procédures de traitement des données décrivant le territoire, afin de comprendre et/ou modéliser la répartition spatiale des phénomènes et des processus qui s'y produisent. Fischer (dans Longley, 1999) parle de méthodes et de techniques pour analyser des événements à différentes échelles spatiales, dont les résultats dépendent de l'arrangement spatial des événements.

L'analyse spatiale permet également d'étudier des **relations spatiales** comme :

- l'adjacence : quoi à côté de quoi ?
- le voisinage ou la proximité : qu'est ce qui est proche de ?
- la connectivité : qu'est-ce qui est connecté à? Cela permet l'étude de réseaux.
- l'inclusion : qu'est-ce qui est inclus dans des îlots, des enclaves, etc. ?

Pour répondre à cette variété de demandes, **quatre opérateurs spatiaux** existent : les opérateurs **thématiques et statistiques** (pour analyser des phénomènes spatiaux), **d'analyses de distance, et d'analyses contextuelles** (par exemple pour calculer une pente).

L'ANALYSE THÉMATIQUE

Les opérateurs d'analyse thématique permettent des transformations indépendantes du voisinage et sans référence à la dimension spatiale. On les utilise souvent pour réaliser des opérations mathématiques, des opérations de sélection et des opérations de superposition.

La méthode la plus utilisée dans l'analyse thématique des données dans le SIG est **la superposition**. On intègre plusieurs couches thématiques, afin de générer une nouvelle couche d'information. Trois étapes sont à distinguer: Quelles couches veut-on combiner? A l'aide de quelles opérations? Pour atteindre quels résultats? Un exemple nous aide à illustrer le potentiel : pour trouver les terrains qui ont un risque d'inondation près d'une rivière, on combine la couche des zones à risque avec la couche du cadastre (voir aussi «2.2.1 L'origine et l'évolution des SIG»). Des superpositions sont possibles en mode raster et vecteur, mais les résultats ne sont souvent pas les mêmes car on utilise d'autres techniques. La combinaison de différentes couches d'information permet de trouver où un certain phénomène a lieu, de

chercher le meilleur endroit pour implanter une activité (par exemple où construire des réservoirs d'eau pour l'alimentation en eau des canons à neige?) et de faire une sélection simultanée de plusieurs sites.

LES STATISTIQUES SPATIALES

Les langages de recherche classiques n'offrent que des possibilités limitées pour combiner des données (superposition de tableaux et recherche d'attributs en commun). Pour trouver d'autres relations, des analyses mathématiques plus poussées sont nécessaires. Cela se fait alors souvent à l'aide de méthodes statistiques ou de calcul.

Une des applications les plus anciennes des analyses spatiales est constituée par les statistiques spatiales. Les statistiques spatiales diffèrent des statistiques normales car ce sont les observations localisées **proches les unes des autres** qui sont analysées. Leurs attributs ont alors tendance à avoir les mêmes valeurs (basées sur la non-indépendance). Ce sont les **associations spatiales** qui nous intéressent en particulier, ainsi que **l'analyse des patterns** (la distribution des points, de lignes ou de polygones). Le variogramme décrit la dépendance spatiale d'une variable régionale et est essentiel pour le krigeage, une technique à partie « 2.4.3 La représentation de la réalité ».

permettant d'estimer la valeur d'une variable régionale à partir de valeurs adjacentes en considérant la dépendance décrite dans le variogramme.

Le principal problème des analyses statistiques est l'information : les données sont souvent de mauvaise qualité, elles ne couvrent pas toute la zone d'étude, ne sont pas toujours appropriées, etc. Cela entraîne des problèmes d'échelle, des effets de poids spatial et des effets sur la délimitation de frontières.

LES OPÉRATEURS D'ANALYSE DE DISTANCE

Les opérateurs d'analyse de distance permettent de calculer des distances horizontales, des temps, des distances projetées et de rechercher des tracés optimaux. Ces opérateurs considèrent qu'un déplacement sur le plan n'est pas équivalent en tout point et en toute direction. On utilise souvent la notion de coût pour exprimer ces différences.

LES ANALYSES CONTEXTUELLES

Les analyses contextuelles se font surtout sur des variables continues. On peut par exemple calculer des pentes à partir de l'altitude, faire des études de visibilité ou délimiter les bassins versants à l'aide de logiciels spécialisés. Les opérateurs contextuels permettent aussi d'identifier les régions pour lesquelles une variable spatiale est constante. Les Modèles Numériques de Terrain ou d'Altitude (les MNT ou MNA) permettent le calcul de produits

dérivés tels que les pentes, la visualisation 3D, les profils en long. Les applications des MNT sont nombreuses en géologie, en hydrologie, ...

2.3.4. La modélisation et la simulation

En mode raster, un SIG est surtout utilisé pour faire de l'analyse et de la modélisation de la distribution spatiale d'un phénomène. La modélisation hydraulique et hydrologique peut par exemple se faire à l'aide d'un SIG. Cela permet de modéliser le comportement de l'eau pour résoudre des problèmes tels que la gestion de pollution de l'eau, de visualiser les précipitations et leur évolution dans le temps pour prédire contaminations, etc.

Depuis peu, les progrès dans la collecte de données et la technologie aident les scientifiques à mieux modéliser le comportement de l'eau.

La simulation consiste à faire varier les intrants d'un système dont on connaît le comportement pour en évaluer les extrants. Une prévision consiste à évaluer l'état futur d'un système en connaissant l'état présent et les règles d'évolution. Nyerges (1992) résume le couplage entre les SIG et les modèles de simulation de la façon suivante : ils se complètent car les SIG empruntent les capacités analytiques des modèles de simulation et les modèles de simulation empruntent les capacités graphiques et de gestion des données du SIG. De cette façon, le SIG a une fonction descriptive : saisie, assemblage, organisation, gestion, diffusion, mise à jour, manipulation et analyse, tandis que la simulation est plutôt dynamique : explication, expérimentation et prédiction de phénomènes.

Différents couplages entre les modèles de simulation et les SIG sont possibles.

Voici quelques exemples d'applications :

- Le réchauffement climatique entraîne un recul du permafrost et un changement de bilan hydrologique dans les océans ; en entrant les données temporelles spatialisées dans le SIG, des modèles permettent de suivre, voire d'anticiper, son évolution.

Les modèles d'analyse sont partiellement dépendants du SIG utilisé, par la richesse et la complexité des outils qu'il propose.

3.3.5. L'aide à la décision

Les SIG ont comme objectif de mettre à disposition des décideurs des informations pertinentes pour leurs tâches de gestion et d'aménagement du territoire. Dès lors, une des applications les plus importantes des SIG est la représentation et l'analyse des données qui serviront à l'aide à la décision pour des problèmes environnementaux.

Une décision peut être définie comme un choix entre des alternatives. Les alternatives peuvent être des localisations, des actions, des objets. On devra par exemple choisir quel est l'endroit privilégié pour implanter une usine de dessalement de l'eau ou l'endroit idéal pour l'infrastructure en tenant compte de , la géomorphologie, les habitats benthiques, les besoins à l'aval, etc.

Le processus de prise de décision se fonde d'ailleurs souvent sur un constat d'inadéquation entre un état souhaité et la réalité. Il implique alors le choix d'objectifs qui peuvent remédier à l'inadéquation, à l'élaboration de scénarii susceptibles de satisfaire les objectifs, finalement, de choisir le scénario satisfaisant les objectifs. Globalement, il existe deux catégories de décisions : les décisions de gestion et des décisions d'allocation de ressources.

Pour être rationnelles, les décisions doivent être basées sur un ou plusieurs critères: on procède alors à une évaluation multicritères. Cette méthode a ses limites car selon ses intérêts, chacun a tendance à prendre ses propres critères en compte pour arriver à une autre proposition de décision. La prise de décision et le mécanisme pour y arriver, sont donc essentiellement **subjectifs**.

L'approche traditionnelle de la prise de décision est basée sur des critères présents ou absents : les critères sont considérés selon une logique Booléenne d'aptitude. Cette logique est souvent utilisée dans des structures de données vecteur. On recherche alors des zones qui sont possibles ou impossibles pour localiser, par exemple, une STEP.

Une autre manière de procéder, consiste à considérer les critères quantitatifs comme des variables continues ou des facteurs. Les données sont alors standardisées et combinées selon leur poids. Une décision peut alors être trouvée en ordonnant les alternatives possibles et en sélectionnant les sites qui ont une plus grande probabilité de répondre aux objectifs. Cette approche est moins restrictive que l'approche « oui » ou « non » classique en mode vecteur et elle est utilisée dans les systèmes raster. L'incertitude de la règle de décision et des critères considérés peut entraîner des erreurs, qui impliquent un certain risque dans la prise de décision. Le poids à attribuer aux facteurs est également subjectif. Cette méthode n'est donc pas « sûre » non plus.

L'aide à la décision peut aider à planifier des travaux à entreprendre ou à changer la façon de littoral, etc. donc globalement à **optimiser la prise de décision**. A défaut de sélectionner la meilleure décision, l'aide à la décision permet de trier les différentes actions en actions possibles et impossibles. A la fin du processus de tri, seules les actions possibles seront conservées. La préférence du décideur sera ensuite orientée entre les diverses solutions

possibles (Reynard, 1999). Les méthodes d'analyse multicritères permettent de donner des notes aux différentes options.

2.3.6. La représentation cartographique

Le SIG permet d'intégrer, sous forme numérique, des données spatiales issues de thématiques variées. Celles-ci peuvent alors être affichées, manipulées, modifiées et analysées rapidement dans un nouveau format, disponible pour la visualisation ou la production de nouvelles cartes qui peuvent être imprimées sur différents supports.

La carte est donc un moyen pour **visualiser les résultats** de recherches et d'analyse. On dispose alors de résultats mis dans un contexte spatial et de mécanismes pour indiquer des localisations avec les outils pour pointer à n'importe quel endroit de la carte. Les cartes offrent **des moyens d'interaction** pour définir ou affiner des requêtes. On peut pointer des objets pour consulter des informations dans les fiches thématiques qui apparaissent ou modifier les données dans les tables.

Les cartes SIG diffèrent des cartes classiques, mais respectent ses conventions. La carte classique a trois composantes: une composante graphique (la carte avec son orientation), attributaire (la légende) et spatiale (l'échelle). Ses mises à jour sont difficiles. La fixité de l'échelle, la limitation de l'information et l'impossibilité d'interroger la carte de façon intelligente la rendent moins attractive que les cartes SIG qui sont directement mises à jour lorsque les données sont modifiées. Les logiciels cartographiques ont essayé de remédier à ces problèmes, mais ce sont les SIG qui ont pu résoudre les problèmes de la carte classique en associant deux bases de données: la BD graphique et la BD attributaire. **La production** (le choix de représentation des données), **la consultation** (la possibilité de zooms par changement d'échelle) **et les modifications sont plus faciles et plus rapides** avec les cartes SIG. De plus, on peut aisément créer **des cartes thématiques**. Ces cartes sont lisibles, synthétiques et adaptées à la fois au phénomène à représenter, au mode de représentation et aux outils graphiques utilisés. La représentation cartographique est le moyen de traduction d'une information numérique en une information graphique.

Par ses fonctions, on peut dire que les cartes que l'on peut faire à partir des SIG, sont **les meilleurs outils de communication** géographique que l'on connaît actuellement.

3.4. La gestion et la représentation des données dans un SIG

Pour faire fonctionner un SIG, il est nécessaire de collecter, de stocker et de traiter d'énormes quantités d'informations. Il faut ensuite élaborer une représentation numérique des données

spatiales. Restent les questions : comment gérer cette masse d'informations et comment représenter une réalité aussi complexe ?

2.4.1. Le système de gestion de base de données ou SGBD

La gestion des données spatiales et de ses attributs dans les SIG se fait à l'aide de systèmes de gestion de données (SGBD). Ce système de gestion de base de données permet **la saisie, le stockage, la structuration, la mise à jour, l'accès et la diffusion de l'information**. Il comprend donc des fonctionnalités de collecte, d'interrogations, de mises à jour et d'autorisations d'accès (en lecture ou écriture). Il est nécessaire de répéter que le SIG comporte deux ensembles complémentaires: les données thématiques et spatiales, et les traitements. Pour de petits projets, avec des données « non complexes » pour lesquelles un accès multi-utilisateurs n'est pas nécessaire, un système de gestion de fichiers (SGF) suffit car il offre les fonctions essentielles de gestion des données thématiques et spatiales. Dans un SGF, le logiciel SIG gère les données spatiales et attributaires dans respectivement, un fichier de données spatiales et un fichier de données non spatiales, dans un format qui lui est propre. La gestion de données complexes avec accès multi-utilisateurs n'est cependant pas possible. Pour de plus grandes applications, il est alors nécessaire, pour gérer les données attributaires, de coupler le SIG avec un SGBD externe au SIG, comme par exemple les logiciels Oracle ou Access (voir Figure 2.1). D'autres outils complémentaires spécialisés, par exemple pour le traitement d'images, pour la construction de cartes (Auto CAD), pour l'analyse statistique (S-Plus) ou encore pour des simulations, peuvent également se coupler à un SIG. Cela est illustré dans la Figure 2.2.

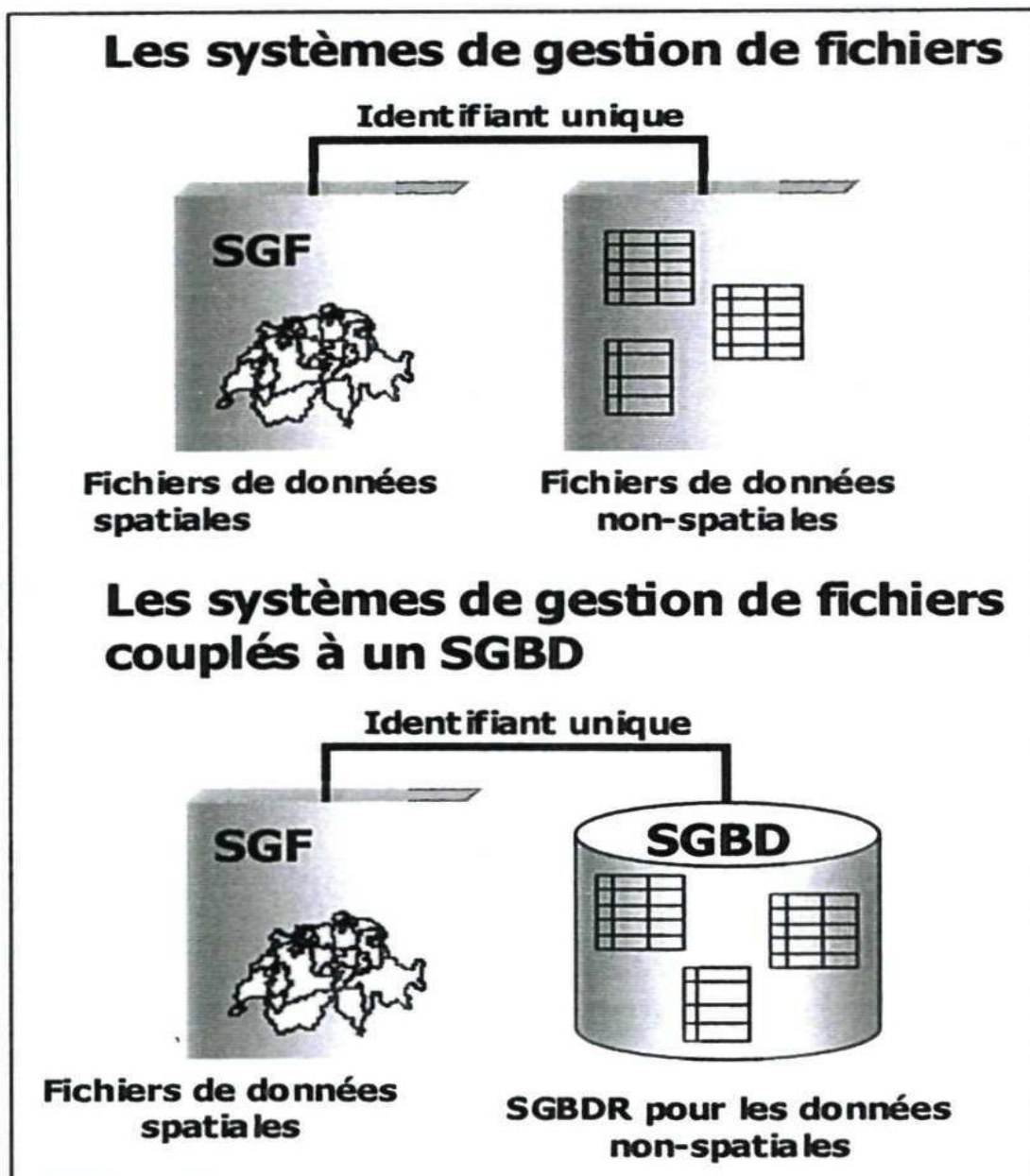


Figure 2.1 : La gestion des données thématiques et spatiales par un SGF ou par un SGF couple à un SGBD (Riedo, 2001).

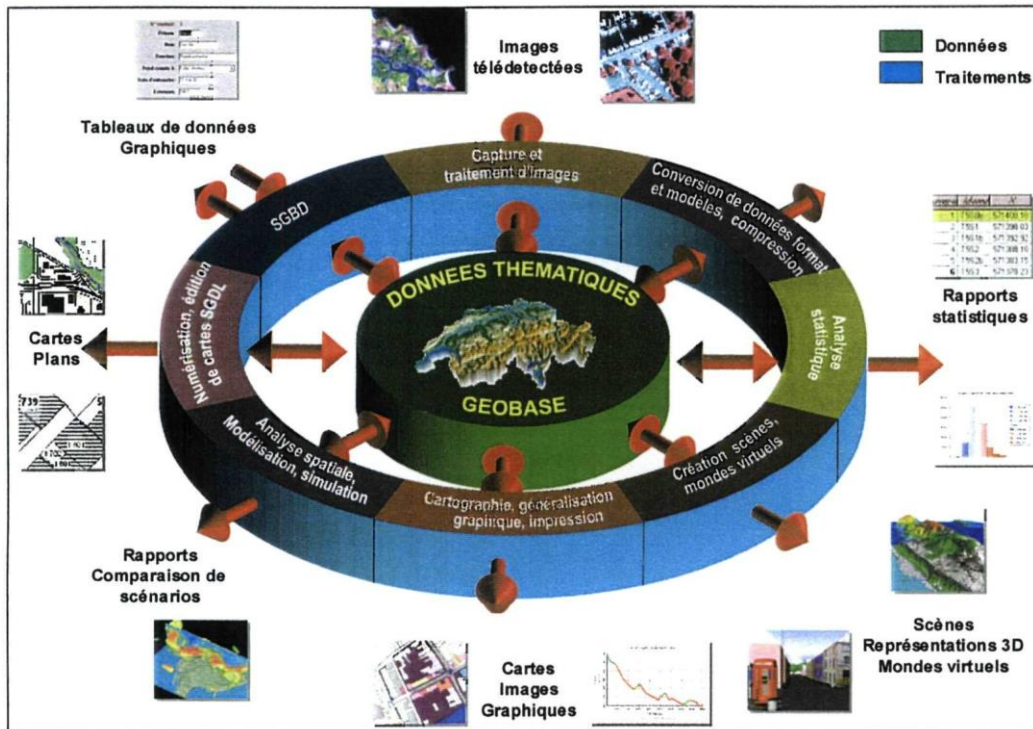


Figure 2.2 : Les données thématiques et géographiques et les traitements possibles (Riedo 2001, adapté de Eastman 1991).

Le tableau suivant (Tableau 2.1) résume les principaux avantages en inconvénients des SGBD et des SGF.

Tableau .2.1.les avantages et les inconvénient de SGF et SGBD (adapté de riédo ,2001)

	Les systèmes de gestion de fichiers	Les systèmes de gestion de base de données
Les principes	Chaque logiciel utilise ses propres données. Les données thématiques et spatiales sont stockées dans deux fichiers dans le logiciel SIG.	Bonne organisation et structuration des données Stockage des données attributaires.
Les avantages	Rapide Simple Performant pour des applications spécialisées	Homogénéité des données Simplification pour la gestion des données Accès, interrogation et analyse des données simplifiés Ouverture et facilité d'échange des données Normalisation Accès multi-utilisateurs
Les inconvénients	Redondance des données Difficulté de réutilisation des données Problèmes pour une gestion centralisée Problèmes de sécurité Problèmes pour l'échange de données	Plus complexe Plus coûteux

Selon Joerin (1998), trois objectifs sont à retenir pour assumer la gestion correcte de l'information :

- l'accès à l'information
- la cohérence des données et
- la maintenance de l'information.

Les SGBD constituent une interface entre les données et/ou les utilisateurs et/ou les applications. Les données sont donc **directement accessibles** par des fonctions d'interrogation.

Un SGBD peut faciliter le **contrôle de la cohérence** des données : on veut éviter les redondances et les informations contradictoires ou échues afin de faciliter le maintien et les mises à jour de la base de données. La cohérence est exprimée par des contraintes d'intégrité qui définissent les conditions auxquelles un objet doit répondre avant de l'introduire dans le système ou avant de pouvoir le modifier.

La maintenance de la base de données est aidée par les fonctionnalités décrites ci-dessus : les interrogations, la diminution des redondances et les conditions d'intégrité. De plus, les SGBD assurent aussi la sécurité des données lors de transactions. Les modifications se font totalement ou pas du tout. Ainsi, si une panne intervient en cours d'une mise à jour, il n'est pas possible que seule une partie des données soit modifiée. Grâce aux SGBD modernes, plusieurs utilisateurs peuvent travailler en même temps sur la même base de données et le SGBD est en mesure d'empêcher que deux personnes modifient en même temps la même donnée. La maintenance des données ainsi que les échanges entre applications sont facilités par l'homogénéisation des informations.

2.4.2. Le modèle relationnel de gestion des données

Plusieurs systèmes de gestion de base de données existent. Le système relationnel est actuellement le plus utilisé dans les logiciels de SIG (Arc/Info, Mapinfo, EDRISI etc.) (Joerin, 1998). Ses principes sont valables dans les SGBD et les SGF. Pour concevoir le SIG prototype, nous avons travaillé avec un SGF relationnel. Il faut cependant savoir que d'autres SGBD existent (par exemple, les bases de données orientées objet), mais que compte tenu de leur diversité et complexité, ils ne seront pas présentés ici.

Pour créer une base de données relationnelle, il est indispensable de connaître **les relations** entre les données à stocker. Le processus de création d'une base de données relationnelle se fait de la manière suivante.

On recherche tout d'abord les données. Cela peut conduire à accumuler une masse de données non structurées sur des flux d'informations, des relations et des entités possibles. Il est donc nécessaire de modéliser les données. Pour modéliser les relations entre les entités, on parcourra quatre étapes : l'identification **des entités** (les objets réels) ; ensuite, l'identification des **relations** entre les entités; l'identification des **attributs** ou des caractéristiques spécifiques des entités ; finalement, la construction de **tables** à partir des étapes précédentes.

Les SGBD **relationnels** stockent les informations sous forme de **tables**. Une table est constituée d'un certain nombre de **champs ou attributs** et contient une ou plusieurs lignes. Les **lignes** correspondent aux **objets réels (les entités)** et **les attributs** (dans les **colonnes**) sont les descripteurs de ces entités (voir Tableau 2.2)

Tableau 2.2 : Un exemple de tableau dans un SGBD ou SGF relationnel.

	Attribut 1	Attribut 2	Attribut 3	Attribut 4	Attribut 5
Entité 1					
Entité 2					
Entité 3					

Un accès à l'information se fait par n'importe quel attribut. Les informations stockées dans ces tables sont exploitées par l'utilisation **d'opérateurs relationnels**. Il existe six opérateurs relationnels de base : l'intersection, l'union, la différence, la jointure, la projection relationnelle, la restriction et la division. Ces opérateurs sont le plus souvent utilisés au travers du **langage SQL (structured query language)**. Les avantages du langage SQL pour les utilisateurs de la base de données sont sa complétude, sa simplicité, sa facilité de compréhension et ses applications variées. Par contre, les SQL ne sont pas encore assez développés pour répondre à des questions comme « près de », « éloigné de » ou « relié à » (voir également « 2.3 Les fonctions des SIG »).

Les bases de données relationnelles ont le grand avantage d'avoir une structure très flexible et de pouvoir répondre aux requêtes formulées à l'aide d'une logique Booléenne. Elles permettent à plusieurs données d'être recherchées, combinées et comparées. Il est également facile d'ajouter ou de supprimer des données. Les requêtes entre les différentes tables relationnelles se font en les joignant par des champs communs, Malheureusement, la base de données relationnelle ne peut pas toujours éviter la **redondance** de certaines données. Le modèle peut aussi être assez lent et difficile à implémenter. Des bases de données relationnelles doivent en conséquence être très bien organisées pour effectuer les requêtes à

une vitesse raisonnable. En outre, les données spatiales multidimensionnelles complexes sont difficiles à traiter dans les SBDG relationnels car ils ont été développés pour traiter des données relativement simples (la dimension « temps » est difficile à représenter) (Heywood, 1998). Ces données plus complexes devront être gérées par des SGBD **orientés objet** qui ne seront pas abordés lors de cette étude. La conception de la base de données est donc à **la base de la construction** d'un SIG.

3.4.3. La représentation de la réalité

La réalité est trop complexe pour être incorporée dans sa totalité dans un SGBD. Des choix devront être faits : quels éléments de la réalité souhaitons-nous représenter et quelles applications se feront sur ceux-ci ? Ce processus s'appelle **la modélisation de l'espace**. Ce concept ne sera pas expliqué ici, mais dans la partie pratique du SIG sur le littoral afin de mieux comprendre les enjeux de la modélisation,

Revenons maintenant à la réalité. D'une façon générale, l'espace peut être décrit de deux manières.

D'un côté, il y a la perception de l'espace étant occupé par des entités (les objets) qui sont décrites par leur propriétés ou par leur attributs et dont la position peut être cartographiée en utilisant un système de coordonnées géométriques (**le mode vecteur**). D'un autre côté, on peut imaginer qu'un attribut varie dans l'espace comme une fonction mathématique continue ou comme un champ (**le mode raster**).

Le plus commun est de considérer que l'espace contient différents **objets**. La définition et la reconnaissance de l'objet (une maison, une conduite, une rivière) sont les premières choses à faire. Ensuite, il faut lister ses attributs, définir ses limites et sa localisation. Les objets sont alors représentés sous forme **de points, de lignes ou de surfaces**.

Cette représentation de la réalité en mode vecteur est en général utilisée pour représenter des réalisations humaines, des objets artificiels et des formes géométriques simples. Ainsi, les points sont souvent utilisés pour représenter des objets ponctuels, telles que sources, les lignes pour des réseaux, tel que le réseau d'eau potable, et les polygones sont adaptés à la représentation de surfaces, tels que les bassins versants.

Le grand avantage du mode vecteur est **l'analyse des relations topologiques** entre les objets. On utilise donc des données vectorielles quand la modélisation explicite de la **connectivité** entre des objets à une dimension, la **modalité**, et **l'adjacence** de deux surfaces le long d'une même ligne, nous intéressent essentiellement. Une précaution est néanmoins La topologie est une géométrie sans coordonnées. En gérant la topologie des données, on évite la redondance.

Les caractéristiques géométriques des objets ne changent alors pas lors de transformations et elles sont indépendantes d'un système de coordonnées et de l'échelle de mesure.

nécessaire : tous les logiciels SIG ne permettent pas de gérer la topologie. ArcView gère la topologie par les attributs des entités.

Cette façon de représenter la réalité implique la délimitation des phénomènes perçus, mais ne permet par contre pas la modélisation directe des surfaces, ni la modélisation de phénomènes aux limites floues. Les systèmes d'information en mode objet trouvent par la suite leur terrain d'application **dans la recherche et dans l'extraction d'information** concernant les objets spatiaux, car ils permettent une bonne gestion et une bonne manipulation des bases de données géographiques. Goodchild (1993) ajoute que la vue en mode objet est aussi importante pour interpréter **les distributions** géographiques.

La technologie **image** travaille quant à elle avec des champs d'informations continus. On considère alors que l'attribut ne varie que peu et cela continuellement dans cet espace : les précipitations, la température et les altitudes en sont des exemples typiques. L'analyse d'une zone d'étude se fait en y superposant une grille numérique imaginaire où sont stockées les valeurs qui identifient les caractéristiques dans chaque partie de la grille. L'espace est ainsi discrétisé en petites surfaces qui forment les pixels (les unités spatiales d'analyse). La précision dépend fortement de la résolution de la grille, donc de la taille des pixels de la grille. Cette technologie est mal adaptée à la modélisation de phénomènes fortement anisotropes (limites, bordures, mer,..) et sera par la suite utilisée pour décrire les caractéristiques d'une surface, dont on veut faire **de l'analyse spatiale, de la modélisation ou de la simulation**.

La réalité est ensuite représentée par des **couches d'information**, telle que la couche « sédiment », la couche « température », la couche « pollution », etc. Une couche peut être définie comme un ensemble d'objets spatiaux, de types différents ou non, partageant le même espace géographique.

il est possible de **combiner ces diverses technologies** dans un même SIG. On peut, par exemple, choisir de représenter les données qui vont servir de plan de fond en mode vecteur, comme les courants . D'autres couches, qui ont des limites spatiales moins évidentes, peuvent alors être représentées en mode raster, telles que les sédiments. Des classes peuvent aussi être formées avec ces dernières pour les représenter en mode vecteur. Des conversions de mode raster en mode vecteur, et vice versa, sont possibles. C'est selon les besoins de l'utilisateur que les choix de représentation de l'espace doivent être faits.

2.5. Conclusion :

La mise en place d'un SIG nécessite la collecte de données qui seront intégrées dans une base de données que l'on interrogera entre autres par les fonctions du SIG. Lors de la conception d'une base de données, la réalité doit être perçue par l'utilisateur ou le concepteur du SIG.

Globalement, les SGBD se sont impliquées dans toutes les tâches de centralisation et de gestion de l'information. Ces systèmes ont donc des fonctionnalités permettant de **diffuser l'information, de maintenir sa qualité et sa cohérence**. Pour permettre un partage des données, un dictionnaire ou catalogue des données doit être établi. Ce dictionnaire forme les métadonnées des attributs et décrit la nature informatique, la source et l'organisation logique des données. Pour le SIG sur le littoral, un exemple d'un catalogue des métadonnées a été réalisé.

Pour représenter la réalité et lier les attributs avec les données spatiales, deux méthodes sont possibles : le mode vecteur (représentant l'espace par des objets discrets sous forme de points, lignes ou polygones) et le mode raster (représentant l'espace par une matrice (grille) composée de surfaces élémentaires (pixels)). Des différences pratiques existent dans ces différentes structures de données mais la différence théorique la plus importante est la suivante : **la structure raster stocke l'information à l'intérieur de surfaces et implique des limites, tandis que la structure vecteur stocke l'information sur les limites et implique l'intérieur**.

La large palette d'utilisations possibles du SIG permet beaucoup d'applications en écologie et en gestion de littoral . Les informations sont non seulement stockées dans une base de données où l'accès et les traitements sont faciles, mais on dispose aussi de nombreux outils pour la valoriser.

Il est possible de créer de nouvelles informations, d'analyser des données dans un contexte spatial et thématique, de voir les interactions entre différentes variables ou données, de tenter de simuler l'évolution d'une donnée et d'en prévoir les conséquences pour trouver une solution ou un changement de gestion à effectuer (scénario). Le SIG permet d'avoir une vue globale, mais aussi de détecter avec précision les points où il faut intervenir, etc.

Il s'utilise :

- lors d'une demande précise
- pour connaître l'état actuel d'un système donné afin de cerner où sont les points forts et les faiblesses
- pour spatialiser des phénomènes difficilement délimités géographiquement ou à frontière floue et tenter d'en comprendre les processus
- pour évaluer les impacts d'un changement
- pour préciser les interactions entre des phénomènes, variables ou données, etc. En pratique, le SIG peut alors servir à :
 - résoudre des problèmes
 - anticiper des problèmes
 - planifier des travaux ou des interventions
 - visualiser les données et les relations existantes entre elles d'un point de vue global
 - spatialiser des phénomènes
 - analyser des phénomènes spatiaux
 - simuler des processus
 - améliorer la communication et la connaissance.

Il s'agit donc globalement **d'un outil pour améliorer la gestion de systèmes complexes**, comme celui de l littoral et dont les applications ne sont limitées que par l'imagination des utilisateurs et par la puissance des machines.

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

3.1. Localisation géographique de la zone d'étude :

Le littoral oranais s'étend sur une centaine de kilomètres entre le cap Blanc situé à l'ouest de l'agglomération oranaise et la Pointe de l'Aiguille située à l'ouest d'Arzew (figure 3.1).

Le littoral oranais est un ensemble de forme de relief dont le façonnement dépend directement ou indirectement des actions de la mer. Il comprend la ligne de côte dont les plages et les falaises font partie ; ces dernières diffèrent d'une zone à une autre (Leclair, 1972).

La baie d'Oran occupe la partie centrale du littoral oranais et s'ouvre d'ouest en est ; elle est bordée sur 30km de terres élevées et dessine une demi circonférence à peu près régulière depuis le cap Falcon jusqu'au cap de l'Aiguille .

Du port d'Oran à la Pointe de Mers el Kébir, la côte est constituée essentiellement de hautes falaises (10 à 30 m de hauteur). A l'est du port d'Oran, la côte présente des falaises plus ou moins hautes interrompues de petites plages.

Deux des plus grands ports d'Algérie se trouvent dans cette zone : les ports d'Oran (figure 3.2) et de Mers el Kébir. Le port de Mers el Kébir occupe presque toute la partie occidentale de la baie d'Oran. C'est un port militaire et comprend un important chantier naval. La partie centrale de cette zone est occupée par le port d'Oran. A l'est de ce port se trouve le petit port de Kristel qui abrite une petite flottille de pêche artisanale.

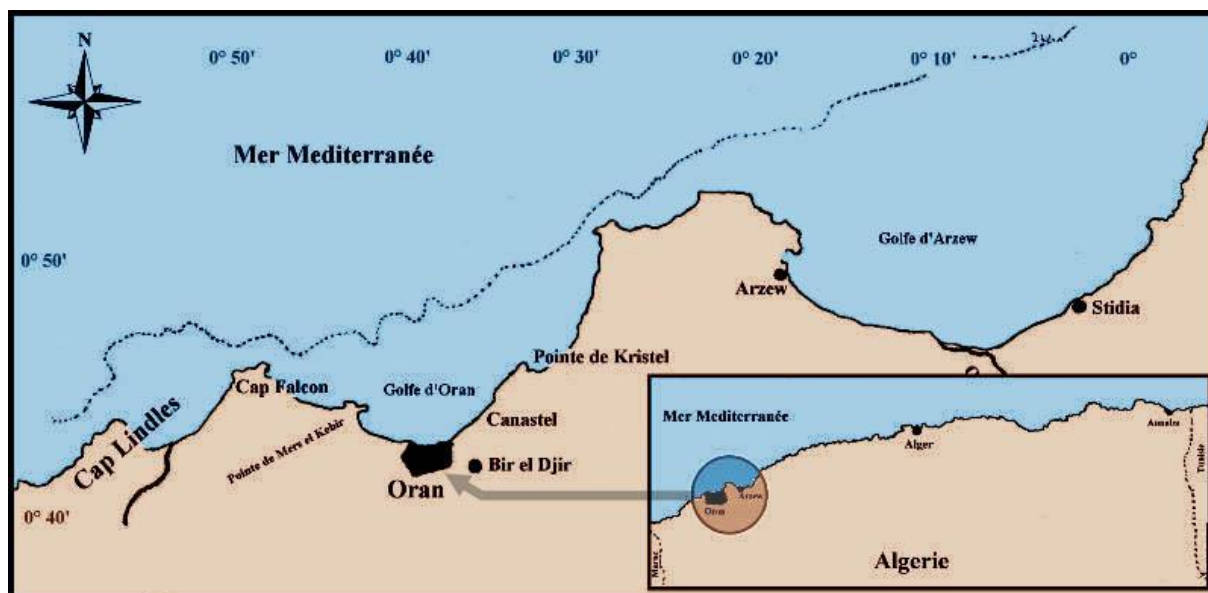


Figure 3.1: Localisation géographique de la zone d'étude : baie d'Oran



Figure 3.2 : Vue du port d'Oran

3.2. Géomorphologie et sédimentologie :

Comme toutes les terres émergées autour de la Méditerranée, l'extrémité septentrionale du continent africain se prolonge en mer par une bordure sous marine peu étendue, plus ou moins continue. Elle assure la transition avec les grands fonds du bassin algéro-baléares : la marge continentale ou le précontinent nord-africain, qui se prolonge depuis la frontière marocaine jusqu'à la frontière tunisienne (Leclaire, 1972).

Le littoral sud méditerranéen est constitué de 70 % de falaises abruptes entrecoupées de promontoires rocheux avec des saillies et des caps, les 30 % restants sont représentées par les plages sablonneuses bordées de cordons dunaires ou cadrées par des affleurements de roches éruptives (Leclaire, 1972).

La plate forme de l'ouest algérien est l'une des plus étroite de la Méditerranée, puisque sa largeur moyenne est de 7km ; ainsi le rebord de ce plateau s'abaisse sensiblement le long du golfe d'Arzew et remonte au voisinage des massifs d'Oran, où la couverture sédimentaire est de nature variée. Le calcaire est le constituant majeur des sédiments, car il forme un tapis recouvrant tout le plateau continental ; par contre les sédiments siliceux sont faiblement représentés. Les vases calcaréo-siliceuse qui couvrent une importante superficie de la baie d'Oran sont très riches en débris de roches et en coquilles fraîches et transparentes, alors que les boues argilo siliceuse ne représentent qu'un faible pourcentage aux rebords de cette baie (Leclaire, 1972).

Les fonds des îles Habibas au cap Falcon, sont de nature sablonneuse, vaseuse par endroit, coquillères et parsemés par de nombreuses roches. Du cap Falcon au cap de l'Aiguille, tous les sables et les graviers calcaires sont plus ou moins argileux. Ils se divisent

en deux types : les sables de la plate forme continentale et les sables du rebord. Enfin à l'est de notre zone d'étude entre la Pointe de l'Aiguille et le cap Carbon, la côte est essentiellement rocheuse (Leclaire, 1972).

Les matériaux constituant la couverture sédimentaire actuelle proviennent comme partout ailleurs de l'érosion continentale ou sous-marine, et de la production d'origine biologique, soit benthique soit planctonique. Le façonnement et la répartition de tous ces matériaux sont largement conditionnés par la nature même du milieu marin, c'est à dire par des caractéristiques physico-chimique et dynamiques

3.3. Les courants :

La Méditerranée est située entre 30° et 40° nord, c'est une mer profonde, presque fermée, communiquant avec l'océan atlantique par le détroit de Gibraltar (figure 3.3).

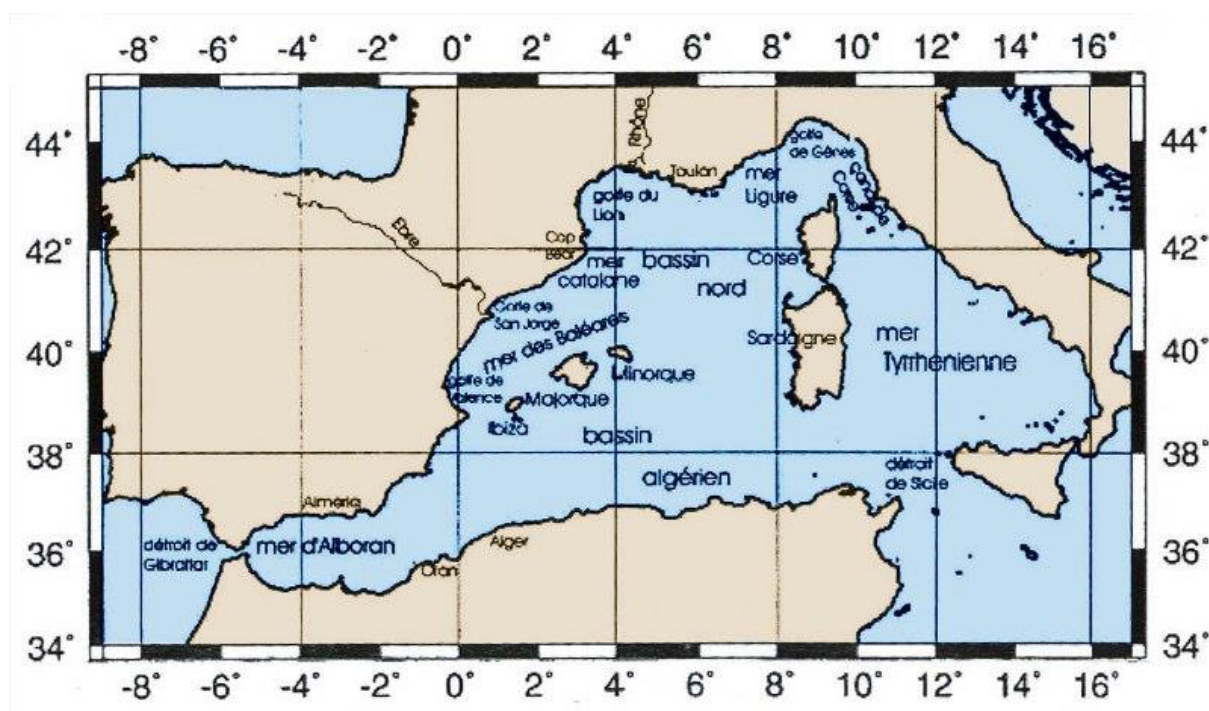


Figure 3.3 : Situation géographique du bassin méditerranéen occidental

En Méditerranée l'évaporation étant plus intense que les précipitations et les apports fluviaux, il existe un déficit constant ; mais les apports en provenance de la Mer noire via les Dardanelles et surtout de l'Atlantique par le détroit de Gibraltar, rétablissant l'équilibre, donnent à toute l'hydrologie méditerranéenne ses caractères les plus distinctifs. Ce flux permanent de l'Atlantique vers la Méditerranée est appelé courant atlantique ou courant algérien (Millot, 1985).

Pour équilibrer à la fois son bilan d'eau et son bilan de sel, le bassin méditerranéen fonctionne comme « une machine » qui transforme l'eau atlantique entrante, diluée par les précipitations et les apports des fleuves, en une eau dense et salée, typiquement méditerranéenne. Cette eau méditerranéenne, finalement s'écoule dans l'atlantique dans les parties profondes du Déroit de Gibraltar.

La Mer méditerranée est considérée comme un bassin semi fermé qui communique avec le reste de l'océan mondial par le Déroit de Gibraltar dont la largeur est en moyenne de 15 km et la profondeur de 250m au seuil. Le déroit de Sicile dont la profondeur est environ 1000 m au seuil, divisant le bassin en deux grands sous bassins, la Mer occidentale et la Mer orientale, sous divisées à leur tour en mers secondaires (Lascaratos, 1998).

Un certain nombre d'auteurs apportent des précisions sur la circulation des eaux en Méditerranée et le long des côtes algériennes (Bernard, 1958 ; Lacombe et al, 1960 ; Furnestin et al, 1969) :

- Un courant de surface ou courant atlantique qui va d'ouest vers l'est.
- Un courant profond ou courant oriental qui va de l'est vers l'ouest.

La valeur moyenne des eaux atlantiques entrantes en Méditerranée est en effet, de 1 million de m³/s (Lacombe et al, 1960). Ce flux détermine par son importance l'allure de la circulation générale de l'hydrologie et même des variations de niveau dans toute la Méditerranée occidentale. Parmi les principaux facteurs qui affectent la circulation générale, les vents, l'évaporation et la rotation de la terre paraissent jouer un rôle important. Les récentes investigations reposant sur l'imagerie satellitaire, ont précisé l'évolution du courant atlantique (Milot et al, 1989).

Ce courant pénètre sous forme d'une veine de 50km de largeur à 0°, de hauteur maximale 150m et d'une vitesse supérieure à 50cm/s. il long la côte et s'en rapproche sous l'effet de la force de Coriolis (figure 3.4).

A proximité d'Oran, les eaux atlantiques se resserrent près de la côte en s'enfonçant jusqu'à 100 - 200 m de profondeur et se dirigent vers l'est avec une vitesse moyenne de 0,6 nœuds.

Vers 4° à l'est, le courant se divise en deux branches dont l'une poursuit sa route vers l'est (Déroit sicilo-tunisien) en s'écartant de la côte et en diminuant de vitesse (0,5 m/s devant Alger), tandis que l'autre moins importante remonte vers le nord (bassin algéro-baléares, côte ouest de la Sardaigne et de la Corse). Orienté ouest/est tout au long du précontinent algérien, le courant atlantique induit au niveau des golfes et des baies des contres courants à vitesse très faibles tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.

D'après les mesures par flotteurs, la vitesse moyenne en surface de ces courants est de 0,3 Km/h à Arzew (Caulet, 1972) et à Alger (Grovel, 1960).

A proximité des fonds sous marins, la vitesse de ces courants diminue très rapidement et devient pratiquement négligeable : 1 cm/s (Millot, 1987).

Le flux d'eaux Océaniques entrant par le détroit de Gibraltar sous forme de méandres associe son effet avec d'autres phénomènes complexes pour engendrer des *upwellings* ou remontée des eaux profondes, d'où un apport en sels minéraux et éléments nutritifs qui permet le développement du phytoplancton et du zooplancton, premier maillon de la chaîne trophique marine nécessaire au maintien d'un équilibre stable de cet écosystème (Boutiba, 1998). Les *upwelling* côtiers contribuent au transfert et à la répartition des polluants (Aubert et al, 1982).

3.3.1. Masses d'eaux de surface :

Ce sont des eaux d'origine atlantique pénètrent en surface par le Détroit de Gibraltar quittant les côtes espagnoles pour rejoindre les côtes algériennes. Ce courant se déplace sur 1200 km de long et sur 50 km, ayant une salinité estimée à 36,25 ‰ et une température de 12 à 13 C°.

Le flux atlantique va traverser la mer d'Alboran puis les côtes algériennes sous forme de gyre anticyclonique (mouvement circulaire suivant le sens des aiguilles d'une montre) ; ce même courant (courant algérien) est souvent instable et à forte intensité engendrant des courants secondaires (méandres) qui vont se diviser en deux branches (Lascaratos, 1998):

- La première va se déplacer vers le nord en longeant les côtes de l'Italie, de la France et de l'Espagne (courant Liguro provençal) pour revenir à l'Atlantique via le Détroit de Gibraltar.

- La deuxième gagnera la Méditerranée orientale via le détroit de Sicile.

Les eaux de la Méditerranée subissent un refroidissement en hiver qui accroît leur densité et les oblige à plonger en profondeur, formant ainsi une couche intermédiaire épaisse de 50 à 100 m. Ces eaux circulent le long des côtes algériennes mais sans aucune orientation d'est en ouest (figure 3.4.A). Au niveau du bassin algérien l'eau levantine qui s'écoule du détroit de Sicile arrive sous forme de poches, entraînées probablement par des tourbillons d'intensité moyenne depuis les côtes de la Sardaigne (Millot, 1987).

3.3.2. Eaux Intermédiaires Levantines (EIL ou LIW) :

Les eaux de la Méditerranée subissent un refroidissement en hiver qui accroît leur densité et les oblige à plonger en profondeur, formant ainsi une couche intermédiaire épaisse de 50 à 100 m. Ces eaux circulent le long des côtes algériennes mais sans aucune orientation d'est en ouest (figure 3.4.B). Au niveau du bassin Algérien l'eau levantine qui s'écoule du Détroit de Sicile arrive sous forme de poches, entraînées probablement par des tourbillons d'intensité moyenne depuis les côtes de la Sardaigne (Millot, 1987).

3.3.3. Eaux profondes :

Les masses d'eaux superficielles et intermédiaires refroidissent encore et prolongent sous l'action des phénomènes atmosphériques d'hiver (figure 3.4.C), ces eaux sont très homogènes dans tout le bassin méditerranéen avec une température fixe de 12,7° C, une salinité estimée à 38,4 ‰ et une densité évaluée à 29,11 (Millot, 1985).

3.3.3.1. Le bassin de concentration :

La Méditerranée constitue un bassin allongé relativement étroit (détroit de Gibraltar : 15 km de largeur), comme nous l'avons cité précédemment le bassin Méditerranéen est divisé en deux grands bassins occidental et bassin oriental. Les pertes en eau enregistrées sont nettement supérieures que celles apportées par les précipitations et les fleuves d'où l'idée ou l'apparition du terme « bassin de concentration » (Lascaratos, 1998).

Les eaux de l'Océan atlantique pénètrent en surface par le Détroit de Gibraltar, sont moins salées. En raison de l'évaporation, elles deviennent plus salées (donc plus denses) et plongent à une profondeur intermédiaire pour regagner par la suite l'Atlantique ; de cette façon, les pertes en eaux sont compensées et la salinité maintenue constante. Le type de mouvements des eaux est dit « Lagunaire » (Lacombe, 1965).

3.3.3.2. Le bassin de dilution :

Par contre en Méditerranée il y a des endroits où les apports des précipitations et des fleuves sont supérieurs aux pertes d'eau par évaporation (ex : la Mer noire ou la Mer rouge), dans ces régions les eaux profondes sont plutôt douces et moins denses, de ce fait nous aurons un mouvement inverse du premier où les eaux profondes remontent à la surface pour réguler la salinité des eaux. Dans ce cas de figure nous employons le terme de « bassin de dilution » et le mouvement est dit *estuarien* (Lascaratos, 1998).

3.4. Les houles :

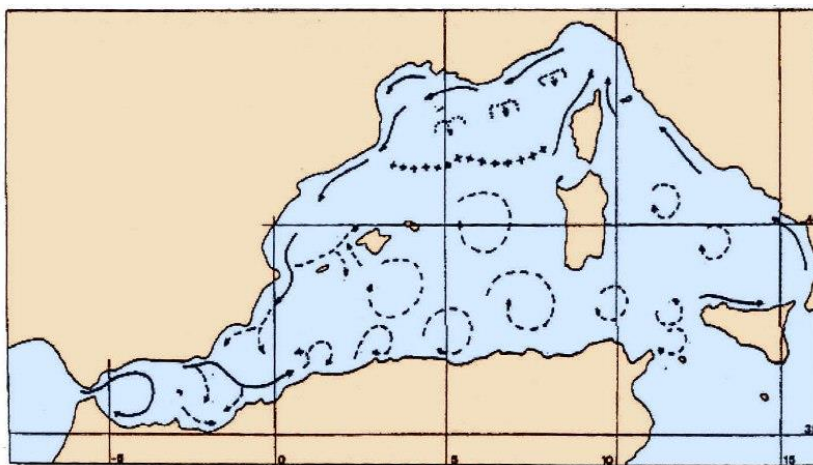
Les houles présentes au large et au niveau des côtes à la fois, agissent activement (jusqu'à 200m de profondeur) mélangeant et dispersant les différentes substances polluantes, favorisant la sédimentation et d'autres phénomènes complexes (Boutiba, 1992).

En plus de l'existence des marées et des courants permanents au large ou à la côte, les houles agissent de façon active parfois jusqu'à 200m entraînant la dispersion de substances polluantes, l'oxygénation, la rupture de stratification, et la sédimentation. Ces mouvements marins assez particuliers appelés « ondes externes » apparaissent généralement lorsque le milieu marin est soumis à une action externe qui perturbe son équilibre (Millot et al, 1989).

Le régime saisonnier des houles le long du littoral algérien présente deux principales directions (Leclaire, 1972):

- Une direction WNW (300°) ou 80% des houles se produisent pendant l'été.
- Une direction NNE (20-40°) ou la majorité des houles se produisent pendant l'hiver.

A



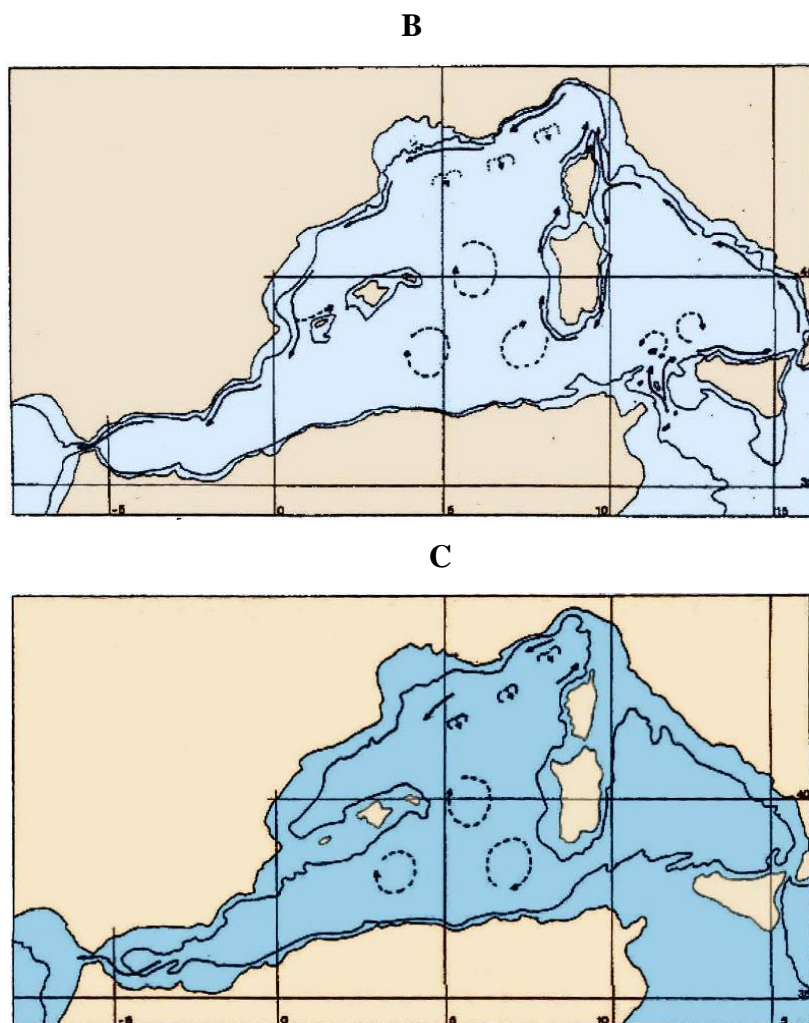


Figure 3.4 : Circulation des eaux de l'Atlantique (Millot, 1987)

A : Eau atlantique modifiée, **B** : Eau levantine intermédiaire, **C** : Eau atlantique profonde

3.5. Le Climat :

Le climat de la région est de type méditerranéen, notamment chaud l'été et doux l'hiver, avec une saison sèche très marquée entre la mi-juin et mi-septembre, ces conditions sont dues à l'alternance de brise de mer fraîche et humide et de brise de terre chaude et sèche (Saada, 1997).

La pluviométrie est variable d'une année à une autre, la pluviométrie de la région d'Oran reste une des plus faibles de l'Algérie du nord, elle varie entre 350 et 400mm, et elle peut ne pas dépasser 200 à 250mm en certaines années sèches.

Les caractéristiques des vents dans cette zone sont comme suite : les mois les plus pluvieux étant mois à prédominance des vents ouest et nord-ouest. Ces vents sont à l'origine de la tempête ayant frappée la ville d'Oran en 1980 alors que les mois de sécheresse sont les mois à prédominance des vents nord-est. Il existe par ailleurs des vents chauds ou *sirocco* provenant du sud-ouest. Ce sont des vents secs et chauds de 9 à 16 jours par an (Saada, 1997).

3.6. Les facteurs physico-chimiques du milieu :

3.6.1 La température :

A température des eaux marines en surface n'est pas constante, elle est liée étroitement à celle de l'atmosphère et par conséquent varie en fonction des saisons. En méditerranée, les eaux se caractérisent par des écarts de température entre les couches superficielles et les couches profondes relativement peu importantes. Sur le littoral algérien, l'eau de surface subit tout au long de l'année des variations thermométriques considérables.

La température moyenne des eaux de surface, en fin janvier est de 14,7° C, les valeurs des températures des eaux de surface sont comprises entre 14,4° C et 15° C. La température la plus basse est de 14,4°C. La température maximale des eaux de fond est de 15,2° C et la plus basse est de 14°C, relevée à une profondeur de 98 m. En général, l'écart entre les eaux de surface et ceux du fond est inférieur à 0,5°C. Dans les petits fonds il y a une homogénéité thermique des eaux. Les températures des eaux du fond sont en général supérieures à celles des eaux de surface. Les températures de surface les plus élevées sont localisées dans la partie orientale du golfe. Alors que les températures des eaux de surfaces les plus faibles sont situées au centre de la baie d'Oran (Kerfouf, 2001).

Les températures des eaux du fond les plus élevées sont localisées à la partie est de la baie. Par contre les eaux du fond des secteurs ouest et centre de la baie ont les plus faibles températures. La température côtière des eaux du golfe est supérieure à la température des eaux de fond du large (Kerfouf, 2001).

Pour le golfe d'Arzew situé à l'est de la baie d'Oran, la température des eaux de surface varie entre 14,4°c et 14,6° c et celle des eaux de fond est de 14,6°c en moyenne (Amar, 1998).

La température des eaux de surfaces et ceux du fond sont identiques entre la baie d'Oran et le golfe d'Arzew.

3.6.2. La salinité :

Les mesures de courants et de précipitations dans le bassin méditerranéen montrent que les apports fluviaux et atmosphériques sont insuffisants pour maintenir le taux de salinité et le niveau de la mer. D'après les données de la littérature, il existe d'importantes variations de la salinité entre les différentes masses d'eau qui se superposent dans le bassin algérien (Millot et al, 1989). L'eau atlantique superficielle est représentée par une salinité inférieure à 37.10 ‰.

A -20m, le taux de salinité de cette eau diminue nettement et atteint une valeur de 36.42 ‰. Les eaux de surface des côtes algériennes se caractérisent par une salinité avoisinant les (37‰), à 20m cette salinité diminue et atteint son seuil le plus bas au niveau côtes oranaises (36,42‰), la salinité décroît entre 50 et 100m car le courant algérien s'éloigne des côtes (36,38‰).

A 200m la salinité se caractérise par une légère baisse. Entre 300 et 500m la salinité est sous l'influence de l'eau levantine intermédiaire (EII ou LIW) qui donne un taux sel compris entre 38,3 et 38,6‰ (Boutiba, 1992).

La salinité moyenne des eaux de surfaces est de 36,4‰ les valeurs de la salinité des eaux de surface dans la baie d'Oran sont comprises entre 35,85‰. La salinité des eaux de fond est comprise entre 36,40 ‰ et 37,7 ‰. Les apports en eaux usées domestique du principal émissaire urbain de la ville d'Oran, et l'influence des eaux de port d'Oran, sont à l'origine du faible taux de salinité dans cette zone (Kerfouf, 2001).

La salinité des eaux de fond est plus faible près de la côte. Les mêmes valeurs de salinité sont observées dans le golfe d'Arzew (Amar, 1998)

La baie d'Oran est entièrement baigné par les eaux d'origine atlantique de faible salinité qui pénètrent par le Détroit de Gibraltar, et se mélange aux eaux superficielles de plus forte salinité. Ces masses d'eaux superficielles sont, en général, caractérisées par une salinité de 36,25 ‰ (Millot, 1989).

3.6.3. Le carbone en Méditerranée :

En Méditerranée, comme dans l'océan mondial, les carbonates (ou carbone inorganique) constituent 97% du contenu en carbone. Le carbone organique représente 3% du bilan, dont le carbone inorganique qui est constitué par 90% de l'ion bicarbonate, 9% de l'ion

carbonate et 1% du CO₂ dissous, les fractions respectives dépendant de l'équilibre du système des carbonates, l'étude du carbone dans la mer entre dans deux problématiques : la production biologique et le transfert de carbone des couches de surface aux couches profondes pour ce qui est du pompage océanique de l'augmentation anthropique du taux de dynamique de bassin de concentration, il peut paraître intéressant d'étudier le bilan de carbone pour tenter d'estimer la production biologique et le flux vertical de carbone ou la captation de CO₂ atmosphérique (Copin-Montégut, 1993).

Les mesures précises du carbone inorganique total, en mer d'Alboran, donnent une concentration moyenne de 2090µM dans le flux atlantique superficiel et de 2300µM dans le flux profond sortant de la méditerranée. Le bilan de carbone organique peut être établi à partir des concentrations respectives dans les couches de surface et profondes. Ces concentrations sont respectivement de 100 et 50µM, et le bilan dans le détroit de Gibraltar s'établit à $+1,25 \cdot 10^{12}$, outre le bilan net à travers le détroit de Gibraltar, le cycle du carbone en Méditerranée nécessite la connaissance des divers apports par l'atmosphère, les précipitations, les fleuves et la mer Noire, tous ces apports restent faibles par rapport aux flux de carbone entrant par le détroit de Gibraltar. Le bilan total des apports en carbone organique s'élève à $1,7 \cdot 10^{12}$ M/an, tandis que le bilan des pertes de carbone inorganique s'élève à $-1,7 \cdot 10^{12}$ M/an (Copin-Montégut, 1993).

La Méditerranée est un bassin de reminéralisation du carbone organique en carbone inorganique. L'estimation de la nouvelle production correspondante est 8,1gC M⁻²/an, valeur que nous retrouvons également à partir du bilan du phosphate (Copin-Montégut, 1993).

L'exportation dans l'eau profonde atlantique est cependant plus importante, puisqu'il correspond à $100 \cdot 10^{12}$ M⁻²/an. C'est la conséquence directe du fonctionnement en bassin de concentration avec formation hivernale d'eaux denses et transfert en profondeur vers l'Atlantique, par contre, le transfert en direct du CO₂ atmosphérique est d'environ $0,5 \cdot 10^{12}$ M/an (Copin-Montégut, 1993).

3.6.4. Les éléments nutritifs (Phosphates, Nitrates et Silicates) :

Le bilan des éléments nutritifs en Méditerranée fait intervenir les fractions minérales et organiques dans :

- Les apports superficiels dans l'eau atlantique entrante (faibles et mal connus).
- Les apports atmosphériques et telluriques (très mal connus à l'échelle des grands bassins).

Les données historiques fiables de concentration en éléments nutritifs dans le bassin méditerranéen occidental datent des années 1963 pour le phosphate ; 1969 pour les nitrates et 1972 pour les silicates. Cependant la répartition géographique des données est loin d'être homogène, tant sur la verticale qu'entre les différentes campagnes. En 1994, la campagne française « Sémaphore » menée à partir d'un navire océanographique de la marine nationale, entre Toulon et Gibraltar, a permis d'évaluer la variabilité spatiale des concentrations. Les données ont tout d'abord confirmé un profil vertical plus ou moins constant de 400 à 800m de profondeur (homogénéité des eaux profondes), et une homogénéité à l'échelle de tout le bassin algéro-povençal. On est donc en droit de comparer des données prises en différentes régions de ce bassin, à des périodes différentes. L'analyse statistique des données historiques a permis de confirmer une augmentation dans le temps des concentrations en phosphates, sur la période 1963-1994, et nitrates, sur la période 1972-1994 de l'ordre de 0,5% par an et pas de variations des concentrations en silicate (Béthoux et *al*, 1992 ;1998).

L'augmentation dans le temps des concentrations profondes ne peut s'expliquer que par celle des apports atmosphériques et telluriques, calculée de l'ordre de 3% par an, ces apports étant devenus très supérieurs aux apports atlantiques superficiels. L'augmentation des apports superficiels est à mettre en relation avec l'augmentation de la population des pays riverains, +1,6% par an entre 1960 et 1983 (UNEP, 1988), de leur niveau de vie (+4,7% par an) et des activités industrielles et agricoles. Une augmentation minimale de 3% par an signifie un doublement des apports tous les 25 ans, et par conséquent, un doublement de la production biologique, des phénomènes d'eutrophisation plus fréquents dans les zones d'apport de rivière (Adriatique, golfe de Gabés, golfe du Lion) et une augmentation de la consommation d'oxygène en profondeur (Béthoux et *al*, 1992).

Les bilans en phosphates et nitrates réalisés au niveau du Déroit de Gibraltar à partir des consommations profondes permettent une évaluation de la nouvelle production de 8,2gC M²/an pour l'ensemble de la Méditerranée. Par comparaison aux données disponibles pour les apports atmosphériques et telluriques, ces bilans permettent également de soulever différents problèmes de transferts aux interfaces :

Le phosphore apporté par les rivières est essentiellement sous forme particulaire ; le phosphate dissous apporté par les rivières ne pouvant représenter qu'environ 25% des concentrations marines (Smith, 1972).

L'azote dissous des fleuves et des pluies ne peut compenser qu'environ 50% du bilan en nitrates. Le complément peut venir de la captation d'azote atmosphérique par du bactérioplancton spécialisé. Différents programmes en cours sont focalisés sur deux thématiques : le

phosphore limitant la nouvelle production et la captation d'azote atmosphérique. Ces dernières peuvent être deux spécificités de la Méditerranée, une adaptation de l'écosystème à une mer continentale soumise à un fonctionnement climatique en bassin de concentration. Le résultat pourrait être le rapport molaire N/P, anormalement élevé en Méditerranée (22 à 24), alors qu'il est de 15 (le bien connu rapport de Redfield) dans la plupart des océans et dans les eaux de rivières (Smith, 1972).

3.7. Données socio-économiques :

3.7.1. Démographie :

Au fur et à mesure que notre population augmente et que l'industrialisation devient plus intense, le problème de la pollution s'aggrave. Quand la population augmenta et vécut dans des villes, des déchets commencèrent à empoisonner l'eau et l'air, ensuite le développement industriel apparut, causant de graves dommages. (Ramade, 1982).

La ville d'Oran, l'une des plus peuplée d'Algérie connaît une urbanisation relativement importante. Suivant les statistiques de 1987, le nombre des habitants était d'environ 932.473 avec une densité de 434,93 hab./km², et un taux d'accroissement de 3,22 %, une valeur supérieure à la moyenne nationale (2,45%) ; tandis qu'en 1998, le nombre des habitants est estimé de 115.544.6 habitants, avec un taux d'accroissement bas, qui est de 1,92% et une densité de 538,92 hab./km² On note que le taux d'accroissement national est estimé à 2,73% (Tarek, 2001) .

Les dernières statistiques en date, montre que le nombre des habitants a atteint 2 millions. (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Répartition des habitants de la zone d'étude (ONS, 2000)

Commune	Superficie Km ²	Hab. 1987	D 1987	Hab. 1998	D 1998	Taux 87-98	Hab. 2010
Oran	63.74	610382	9576.1	631350	9905.1	0.27	652112
Bir el Djir	41.55	20534	494.2	72639	1784.2	12.23	290.53
Ain el Türck	31.82	21366	671.5	30336	953.4	3.32	44895
Mers el Kébir	13.82	11462	829.4	14669	1061.4	2.33	19839
Gdyel	84.73	21317	251.8	29278	345.6	2.99	41694

3.7.2. Economie :

Oran est un port mixte très actif (le deuxième du pays) ainsi qu'un important centre commercial et industriel. Ses principales exportations sont le plastique, les produits chimiques, et les produits alimentaires.

L'industrie localisée dans la ville d'Oran et ses environs est très diversifiée : industries du textile et du cuir, industries chimiques et pétrochimiques, ainsi qu'agroalimentaires.

Les industries sont responsables dans la production d'environ 24935m³ /jour d'eau polluée soit 26.34% des eaux rejetées (Sogreah, 1998).

3.8. Pollution :

Les eaux littorales oranaises sont exposées aux différentes formes de pollution dont l'origine demeure : les industries, et l'expansion urbanistique non contrôlée.

La concentration touristique et le développement économique et social occasionnent la dégradation des milieux naturels et le cadre de vie des citoyens. On peut citer trois sortes de pollution au niveau du littoral oranais : la pollution d'origine industrielle, la pollution d'origine ménagère, domestique, et la pollution d'origine agricole.

Les trois prennent des formes différentes selon la nature des rejets (polluants liquides, solides et gazeux, eaux de lessivage et de ruissellement). La localisation et la description des sources de pollution seront traitées dans le chapitre 1 de la première partie de cette thèse. .

Oran, grande métropole méditerranéenne, est citée parmi 120 principales villes côtières du bassin méditerranéen, qui sont dépourvues de systèmes d'épuration efficace. Ces égouts où aboutit la majeure partie des déchets ménagers et industriels, rejettent à la mer des détergents et d'autres produits chimiques d'origine ménagère ou industrielle. La grande majorité sont très toxiques et touchent la croissance et la reproduction des organismes marins. On peut trouver également des déchets solides même dans les plages les plus éloignées du littoral oranais : Maddagh, cap Blanc, Ain el Türck à l'ouest, Ain el Franine et Kristel à l'est (kerfouf et *al*, 2001)

Les eaux véhiculées par les égouts de la ville d'Oran sont intégralement rejetées à la mer, les émissaires urbains sont au nombre de 11, trois principaux étant :

- à l'ouest, l'émissaire de fort Lamoune, se situe à l'extérieur du port d'Oran.
- à l'est, l'émissaire de la cheminée du petit lac.
- à l'est, le collecteur de ceinture du centre ville et Oran est.

Sur ces 11 émissaires, 7 se déversent dans le port (figure 3.5), mais ils sont de faible importance, ces derniers se répartissent à travers les différents bassins du port (bassin de Mostaganem : rejet très important, bassin de Ténès et le bassin de Bejaia). Ces rejets sont en provenance de la ville d'Oran et sont essentiellement des rejets d'eaux usées domestiques, de petits ruisseaux d'eaux usées débouchent sur les plages environnantes, soit à l'ouest de Mers el kébir, soit à l'est du port d'Oran.

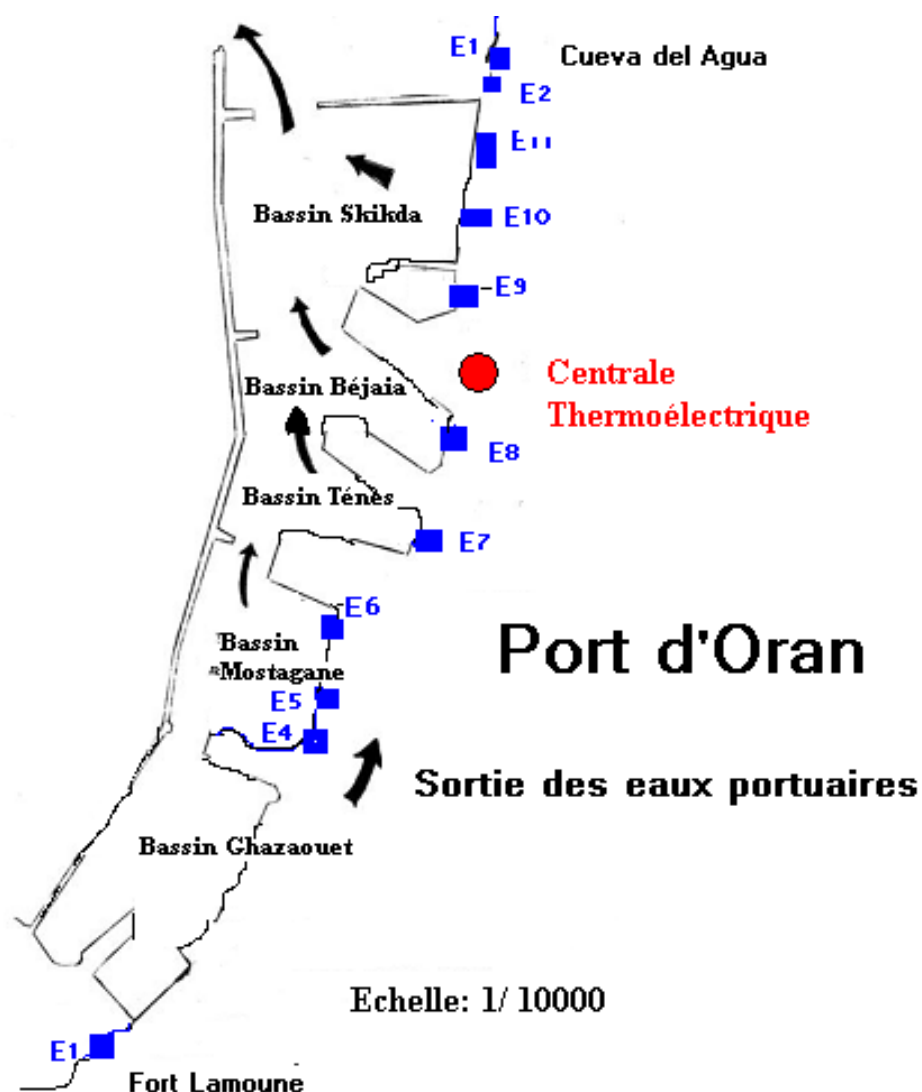


Figure 3.5 : Localisation des rejets d'eaux usées de la ville d'Oran

D'autres rejets d'eaux usées existent au niveau des ports de Mers el kébir et de kristel.

Les rejets industriels solides sont estimés de l'ordre de 242 tonnes/jour soit 23.33% de la quantité totale des 1037 tonnes/jour, les 76.66% de rejets restant sont constitués de déchets domestiques dont la part la plus importante provient de la ville d'Oran avec un taux de 43.98% (Sogreah, 1998).

Par ailleurs les eaux usées domestiques sont évaluées à 69704m³/jour, elles sont rejetées à travers une cinquantaine de sites recensés sur le littoral oranais (tableau 3).

Tableau 3.2 : Evaluation des déchets du littoral oranais (Sogréah, 1998).

Origine des déchets	Déchets liquides (m ³ /jour)	Taux %	Déchets solides (tonnes/jour)	Taux %
Industrie	24935	26.34	242	23.33
Activités ménagères	69704	73.65	795	76.66
total	94639	100	1037	100

Sur les 50 sites de déversements dénombrés sur le littoral 10 se retrouvent à l'ouest du littoral oranais au niveau des plages des Andalouses, cap Falcon et Ain el Türck avec une capacité d'assainissement quotidienne de 3896m³. Il s'agit principalement d'eaux utilisées par le complexe touristique des Andalouses et les centres urbains de cap Falcon, Ain el Türck et Mers el kébir.

Il existe entres autres deux autres sites de déversement dans la partie centrale du littoral, le premier se trouve au fort Lamoune avec une quantité d'eau déversée de 7966m³/jour constituée de mélange d'eau domestique et industrielle. Le deuxième site est le plus important, il reçoit 40175m³/jour. Les eaux usées proviennent des zones urbaines situées au centre, à l'ouest et au sud de la ville d'Oran (Sogreah ,1998).

Les autres sites de déversements, se concentrent dans la partie centrale du littoral oranais et s'étendent vers le littoral du golfe d'Arzew. Le réseau d'assainissement atteint 905km sur l'ensemble du littoral dont 300km pour la ville d'Oran. Il existe :

- un réseau séparatif destiné aux eaux pluviales.
- un réseau d'assainissement pour les eaux domestique
- un réseau dit unitaire destiné aux eaux domestiques en même temps

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV. COLLECTE DES DONNEES

4.1.L'utilisation de données existantes

4.1.1. Introduction

la distribution des invertébrés benthiques à l'échelle régionale s'appuient sur les travaux actuels sur des jeux de données d'au moins une centaine de stations. Ce qui représenterait, en admettant une erreur d'un facteur 5 dans un sens ou dans l'autre, entre 300 et 7500 jours de travail soit l'équivalent de l'activité d'une personne sur une période de 1 à 25 ans. Cela sans tenir compte de la campagne de prélèvement ni de la disponibilité des intervenants. L'étude des communautés d'invertébrés benthiques à l'échelle régionale s'appuie donc nécessairement sur l'analyse de données existantes. Celle-ci fait partie intégrante de la recherche en écologie. Il s'agit d'extraire de l'information nouvelle d'un ensemble de données qui n'ont pas été prévues pour être analysées ensemble et qui sont généralement très hétérogènes. Cela nécessite la mise en œuvre d'outils et de méthodes adaptées qui sont étroitement liés à l'évolution de l'informatique, de la puissance et de l'accessibilité des ordinateurs et des logiciels.

4.1.2. La base de données golfe d'Oran

Principes

En 1970, Edgar Frank Codd publia un article (Codd 1970) où il proposait de stocker des données hétérogènes dans des tables, permettant d'établir des relations entre elles. De nos jours, ce modèle est extrêmement répandu, mais à l'époque, cette idée était considérée comme une curiosité intellectuelle. On doutait alors que les tables puissent être jamais gérées de manière efficace par un ordinateur. Une base de données relationnelle, généralement appelée BD est donc un ensemble de tables structuré et organisé permettant le stockage de grandes quantités d'informations afin d'en faciliter l'exploitation (ajout, mise à jour, recherche de données). Elle se traduit physiquement par un ensemble de fichiers sur le disque dur d'un ordinateur et un logiciel d'exploitation (nous utilisons Microsoft ACCESS).

En écologie, les bases de données relationnelles ont contribué ces dernières années à déplacer l'usage des listes faunistiques depuis les études locales vers des études biogéographiques et de diversité régionales (Hughes *et al.* 1987; Rosenberg 1993; Cayrou *et al.* 2000; Cereghino & Compin 2001; Griffiths *et al.* 2003; Compin *et al.* 2005; Statzner *et al.* 2005). Alors que les listes faunistiques locales donnent accès à la distribution d'un très grand nombre de taxa, les études sur la diversité, la structure et le fonctionnement des communautés à échelles larges ou globale manquent souvent de données (Grassle & Stocks 1999). Ces données sont

importantes pour analyser les schémas d'organisation de la diversité et pour tester de manière explicite les théories écologiques et biogéographiques. Le cas idéal est bien entendu celui où la base de données est conçue avant l'acquisition des données avec une idée préalable des applications auxquelles elle sera destinée. Sa structure est alors adaptée pour stocker et exploiter l'information de manière optimale. Et les données acquises satisfont des critères afin de renseigner au mieux les différents champs de la base de données.

En réalité, comme c'est le cas dans ce travail, l'outil vient le plus souvent après les données. Il reste cependant le moyen de considérer ensemble des données de provenance diverses mais qui contiennent de l'information exploitable à une autre échelle ou pour d'autres sujets d'étude que ceux pour lesquels elle a été obtenue.

De nombreuses études écologiques y ont analysé les facteurs responsables de la biodiversité à une échelle locale (station, profondeur, sédiment).

Cette base de données est régulièrement alimentée depuis par les résultats des campagnes de terrain. Nous l'avons conçue avec un grand nombre de tables capables a priori de recevoir le plus de formes de données possible.

Contenu

Les données recensées dans la base de données proviennent de travaux publiés, de mémoires de Thèse, et de rapports de stages. La liste des travaux que nous avons utilisés est donnée dans Kerfouf *et al.* (1998, 1999).

La base de données rassemble 4 grands types d'informations associées aux peuplements d'invertébrés benthiques dans le réseau hydrographique :

- Les stations prospectées et leur localisation géographique.

Nous avons répertorié, codé et géoréférencé par un couple (X,Y) de coordonnées (Système Lambert II étendu), 50 stations de prélèvement issues de la bibliographie ou des campagnes de terrain récentes (Fig. 4.1).



Figure 4.1. Répartition des 50 stations répertoriées dans le golfe d’Oran.

Les listes faunistiques établies sur ces stations. ANEXE

Plusieurs prélèvements de faune ont pu être réalisés pour une même station. A chaque opération de prélèvement nous avons associé à la liste des taxons obtenue un code.

Tableau 4.1. Répartition des listes faunistiques selon les groupes de taxa considérés. Niveaux d’identification disponibles :

Niveau taxonomique	classe	s classe	infra class	ordre	s ordre	famille	s famille	genre	espèces
Nombre	10	12	7	35	20	83	41	116	184

le niveau d’identification des invertébrés varie selon les sites et les groupes taxonomiques (Tableau 4.1).

- Les mesures physiques et chimiques.

Nous avons relevé les valeurs des paramètres de milieu physiques et chimiques disponibles (Tableau 4.2) .

Tableau 4.2 :les valeurs des paramètres de milieu physiques et chimiques des stations

	Profondeur en m	Température de surface en ° celsius	Température de fond ° celsius	Salinité de surface mlg /l	Salinité de surface mlg /l
1.7	70	15	15	36,9	36,6
1.8	80	15	14.8	36,3	37.60
1.9	90	15	15	36,4	36,7
1.9'	92	15	14	36,4	37,5
1.10	102	15	14	36,4	37,7
2.1	46	15	15	36,4	36,7
2.2	73	15	15	36,4	37
2.3	81	15	14	36,4	37,2
2.4	82	15	14	36,5	37,2
2.5	87	15	14	36,5	37,2
2.6	98	15	14	36,4	37,7
3.1	61	15	15	36,4	36,8
3.2	73	15	15	36,4	36,9
3.3	81	15	14	36,5	37,1
3.4	82	15	14	36,4	37,3
3.5	91	15	14	36,1	37,3
3.6	91	15	14	36,4	37,5
4.1	42	14	15	36,3	36,5
4.2	66	14	15	36,4	37
4.3	74	14	15	36,4	37,1
4.4	77	15	15	36,4	37,1
4.5	77	15	14	36,4	37,2
4.6	82	17	14	36,4	37,2
4.7	84	15	14	36,4	37,1
4.8	110	15	14	36,4	35,6
5.5	56	15	15	35,9	36,5
5.6	60	14	15	35,9	36,9
5.7	70	14	14	36,3	36,4
5.8	82	14	14	36,5	36,7
5.9	94	14	14	36,4	37,1
5.10	106	14	14	36,4	37,2
6.4	39	15	15	36,3	36,6
6.5	55	15	15	36,4	36,7
6.6'	61	15	14	36,4	36,7
6.6	66	15	14	36,4	36,8
7.4	70	15	15	36,4	36,6
7.5	50	15	15	36,4	36,5
7.6	60	15	15	36,4	36.70
7.7	70	15	15	36,4	37,1
7.8	80	15	15	36,3	37,6
7.9	90	15	15	36,4	36,8
7.10	100	15	15	36,4	37,3
8.3	32	15	15	36,4	36,6
8.4	41	15	15	36,5	36,5
8.5	49	15	15	36,4	36,6

8.6	61	15	15	36,3	36,8
8.7	70	15	15	36,4	36,8
8.8	80	15	14	36,4	37,2
8.10	95	15	14	36,4	37,2

- La bibliographie relative aux stations et aux peuplements.

La synthèse des données biotiques et abiotiques dans la BD golfe d'Oran permet d'assurer la pérennité de « données papier » qui auraient peut être été oubliées avec le temps . Elle constitue également une mine d'information écologique directement disponible et potentiellement exploitable.

4.2. Sélection des données

L'étape de sélection des données est cruciale dans l'analyse des communautés écologiques, particulièrement dans l'exploitation de données existantes. Une force des bases de données relationnelles est d'offrir la possibilité d'extraire à volonté de l'information d'un vaste ensemble de données selon plusieurs critères par l'intermédiaire de requêtes multi-critères. Ces requêtes sont basées sur le langage SQL (Structured Query Language), langage universel d'interrogation et de mise à jour de bases de données. Elles permettent de croiser très rapidement et à volonté des informations provenant de plusieurs tables, tâche qui serait très complexe à réaliser manuellement. On pourra par exemple extraire l'ensemble des stations, contenant des listes faunistiques déterminées à l'espèce, pour les des ordres, échantillonnées au moins deux fois .

Ainsi, les requêtes facilitent grandement l'analyse critique des données, pré-requis indispensable à la sélection définitive des stations et des listes faunistiques qui seront utilisées pour dégager des modèles de distribution spatiale (Hughes *et al.* 1987). Finalement elles permettent l'obtention de sous ensembles de données homogènes à partir d'un ensemble très hétérogène (Tableaux 4.1 et 4.2).

4.3.1 Quand la BD devient SIG

Par l'intermédiaire des coordonnées des stations, l'ensemble des données de la base peut être cartographié et constitue de l'information exploitable dans un système d'information géographique (SIG).

Un SIG est un outil puissant pour prendre en compte les structures écologiques et biogéographiques à larges échelles (Markwick *et al.* 2002; Host *et al.* 2005). Il associe les données à des objets géométriques (un point pour une station, une ligne pour un étage bathymétrique, ...) structurés en couches d'information géographique. Il comprend, en plus des données, un logiciel d'exploitation (nous avons utilisé Mapinfo Professional 8) qui permet de cartographier les données mais aussi les requêtes sur les données et/ou les objets. Le logiciel offre aussi des fonctionnalités de mesure sur les objets géométriques, ainsi qu'un langage de programmation (MapBasic) qui permet de créer des fonctions personnalisées et d'automatiser certaines tâches.

Pour Hynes (1975), chaque cours d'eau est un individu unique dont les caractéristiques sont déterminées par la vallée dans laquelle il s'écoule. Cependant, à l'échelle d'un grand réseau hydrographique, l'étude de la distribution spatiale des invertébrés benthiques et des facteurs qui la gouvernent nécessite l'identification d'entités géographiques écologiquement homogènes, plus vastes, regroupant plusieurs cours d'eau ou tronçons de cours d'eau. La diversité spécifique des communautés d'invertébrés aquatiques dépend notamment de la diversité et de la stabilité spatiotemporelle des habitats (Cummins & Klug 1979; Ward & Stanford 1979). Celles-ci définissent l'hétérogénéité des niches écologiques et donc les possibilités de développement (Malmqvist & Otto 1987).

La théorie hiérarchique prédit que les variables physiques et biologiques considérées localement sont contraintes par d'autres variables agissant à des échelles spatiales plus importantes (Allen & Starr 1982); Ainsi les structures écologiques observées à micro-échelle seraient gouvernées par les structures géomorphologiques observées à large échelle (Frissell *et al.* 1986). La communauté présente en un site donné peut alors être vue comme le résultat du passage au travers une série de filtres s'échelonnant depuis le micro-habitat jusqu'au continent (Tonn 1990; Poff 1997; Vinson & Hawkins 1998)

Le climat, la géologie, vont donc être les principaux facteurs attendus dont dépendront le « pool » régional d'espèces c'est à dire la richesse spécifique maximale que l'on pourra observer localement. (Huet 1949; Illies & Botosaneanu 1963; Verneaux 1973; Omernik 1987;

Whittier & Hughes 1988; Tate & Heiny 1995). Un intérêt majeur de telles classifications est que la stabilité spatio-temporelle de ces associations peut être utilisée pour définir des sites ou des stations de référence pour la surveillance biologique des rivières (Hughes *et al.* 1986). Dans un cours d'eau, appartenant à une région caractérisée par un peuplement type, tout changement dans la composition des assemblages spécifiques pourra être la conséquence de modifications environnementales (Ward & Stanford 1983). Une limite majeure c'est qu'elle nécessite une connaissance précise des espèces présentes dans l'aire géographique étudiée, connaissance dont la difficulté d'obtention croît avec la surface de la zone d'étude considérée. Une autre approche possible de classification consiste en leur regroupement non plus d'après les communautés qui les peuplent mais d'après leur appartenance à des écorégions homogènes du point de vue de caractéristiques environnementales synthétiques telle que leur géologie, leur climat, leur végétation ou l'utilisation des sols par exemple (Wasson 1989). Des habitats similaires hébergeant des communautés similaires avec des fonctionnements écologiques proches (Pennak 1971), on admet dans ce cas que le paysage autour du cours d'eau est un des facteurs principaux qui en détermine les caractéristiques d'habitat et donc la structure et la composition des communautés aquatiques (Lammert & Allan 1999). Cette approche permet souvent de proposer des régionalisations « à priori » à des échelles plus larges (Ferréol *et al.* 2005) mais leur correspondance avec la distribution spatiale des communautés doit être vérifiée (Whittier & Hughes 1988).

Si les communautés ont une signification écologique générale, il doit être possible d'en dégager des lois d'organisation et de fonctionnement au-delà de la spécificité de leur composition taxonomique. Pour cela il faut s'appuyer sur des attributs communs à l'ensemble des communautés: leur densité; leur richesse en espèces mais aussi divers traits fonctionnels de leur organisation (Barbault 1992).

La richesse spécifique est un attribut des communautés indépendant de leur composition taxonomique (deux communautés de compositions spécifiques différentes peuvent abriter le même nombre d'espèces). Elle est influencée par un grand nombre de facteurs environnementaux (Voelz & McArthur 2000) dont l'histoire géologique, la stabilité des conditions environnementales (Ward & Stanford 1979; Cummins *et al.* 1984), la productivité de l'écosystème (Lavandier & Decamps 1984) l'hétérogénéité de l'habitat (Malmqvist & Otto 1987), la compétition et la prédation (MacArthur 1965; Pianka 1983; Feminella & Resh 1990).

De l'échelle locale à l'échelle régionale, les interactions de ces facteurs déterminent des motifs de variation de la richesse spécifique (Vannote *et al.* 1980; Minshall *et al.* 1985;

Vinson & Hawkins 1998) à partir desquels il est possible de construire une typologie des peuplements généralisable (Santoul *et al.* 2005).

4.3.2 Caractérisation de site d'étude

Caractérisation de sédiment

La teneur des sédiments en chacune de ces classes granulométriques a permis de qualifier les différents sédiments des stations (fig.4.2).

Zones de graviers dans les stations 7.4 7.5 7.6

Zones de sables dans les stations 4.7 3.5 3.4 et les stations du port

Zones de pélites dans les stations 4.6 4.8 3.6

Zones sables graveleux a l'est du port

Caractérisation de température salinité et profondeur

La relation est très claire entre température salinité et profondeur (fig4.3) (fig 4.4) (fig 4.5)

Une profondeur de 0 à 25 m la température sera entre 15,2 et 14,8 et la salinité $\leq 36,5$

Une profondeur de 25 à 50 m la température sera entre 14,8 et 14,6 et la salinité 36,7et 36,5

,Une profondeur de 50 à 75 m la température sera entre 14,6 et 14,4 et la salinité 37,1et 36,7

et Une profondeur de 50 à 75 m la température sera $\leq 14,4$ et la salinité 37,7 et 37,1

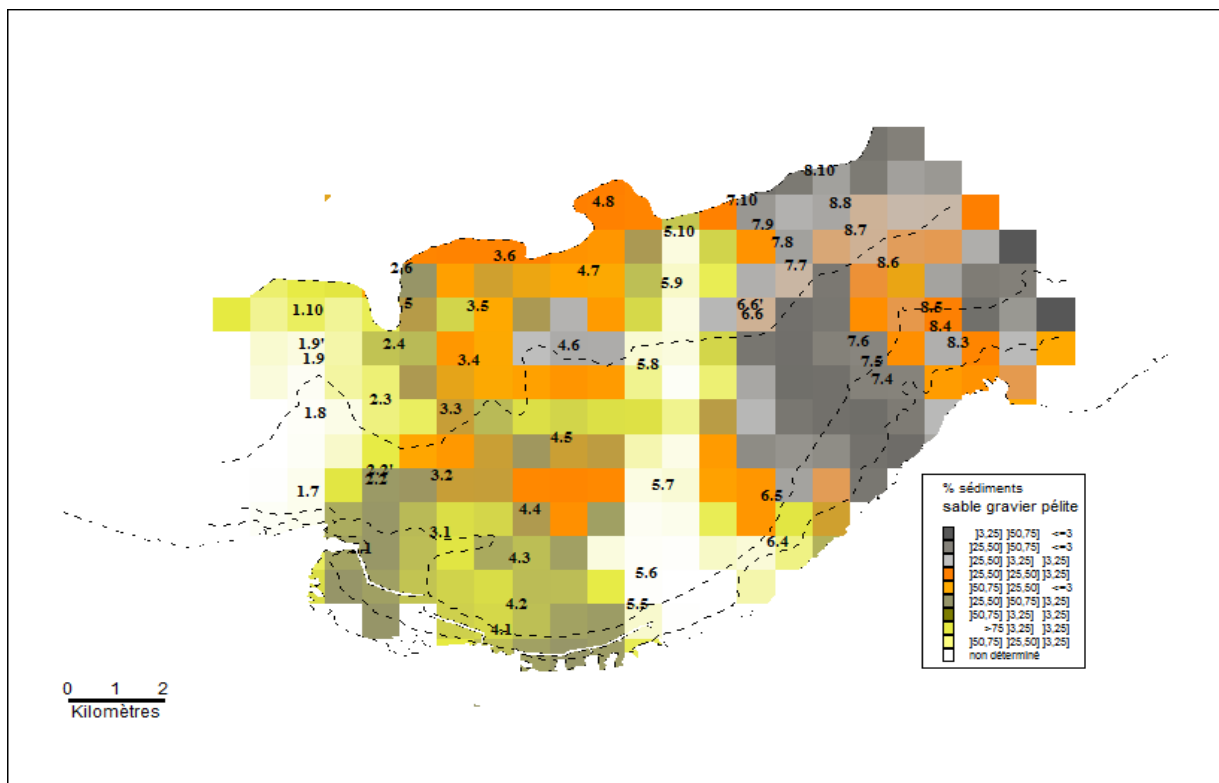


Figure 4.2. carte sédimentaire du golf d'Oran

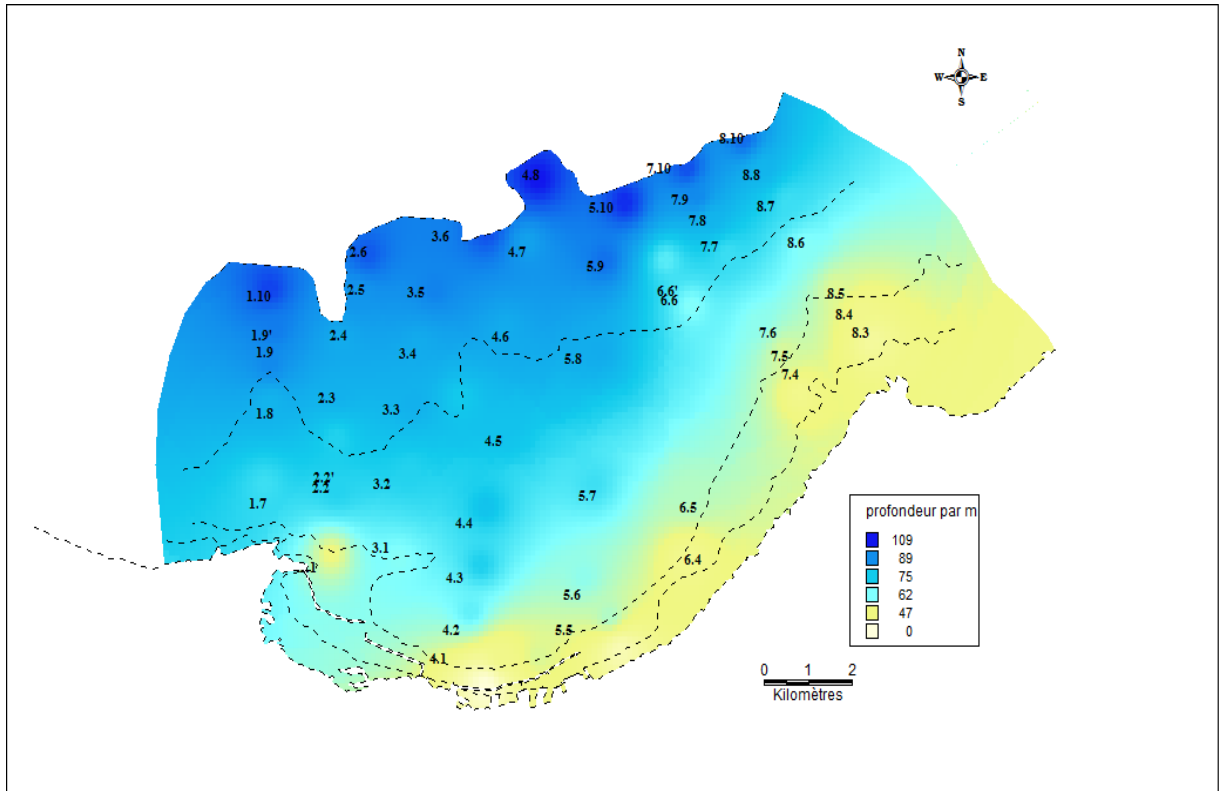


Figure 4.3. Variation spatiale de la profondeur du golf d'Oran.

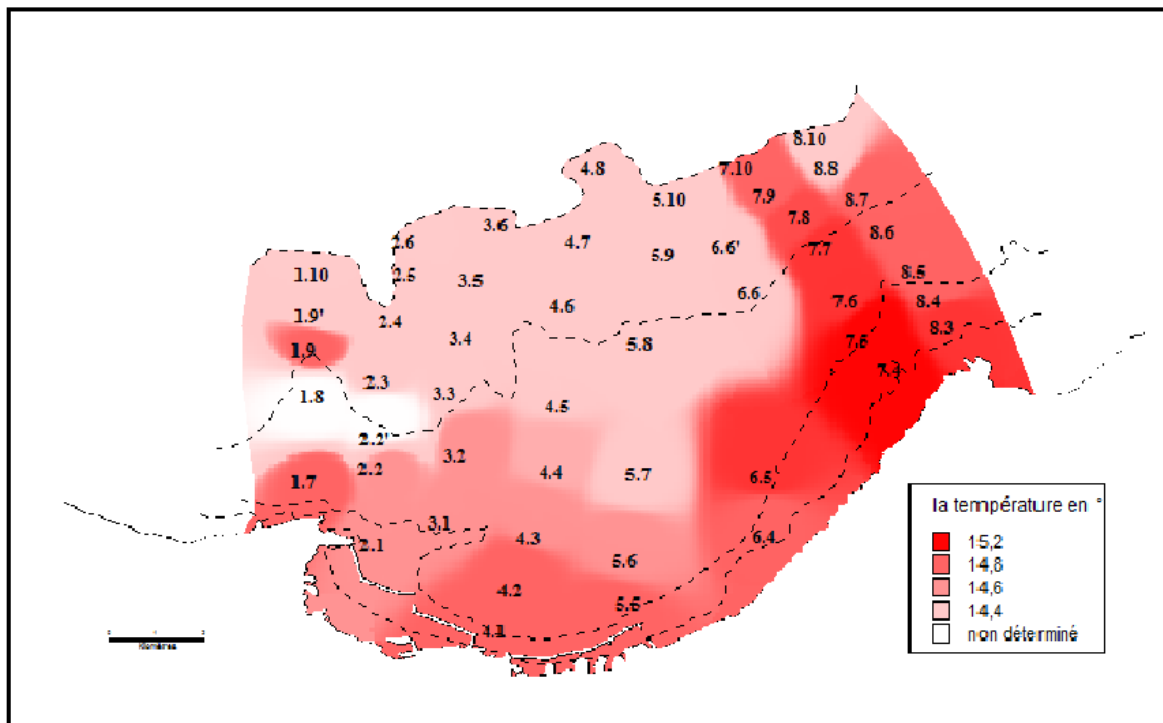


Figure 4.4. Variation spatiale de la température du golf d'Oran.

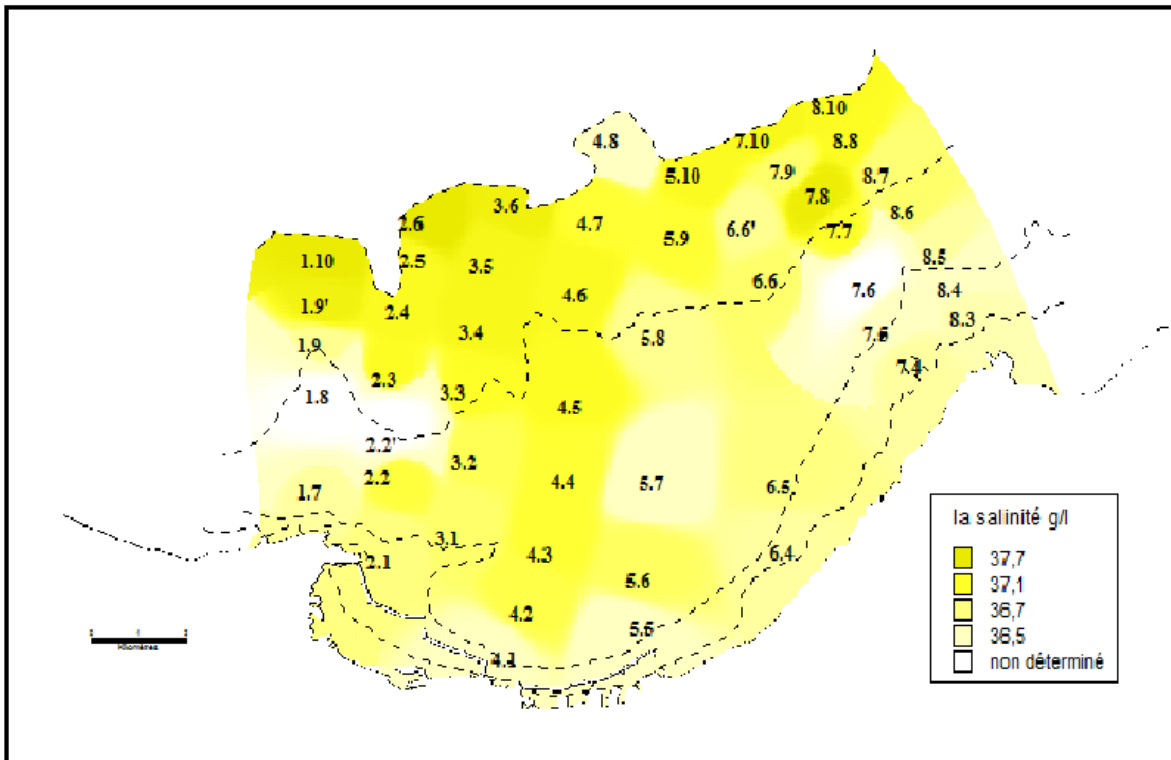


Figure 4.5. Variation spatiale de la salinité du golf d’Oran.

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE V . STRUCTURE DES PEUPEMENTS

5. Structure des peuplements

5.1. Etude des assemblages de macrofaune

5.1.1. Diversité spécifique

En écologie, la mesure de la diversité est une préoccupation constante des écologues et fait donc l'objet d'une littérature considérable où de nombreux indices plus ou moins utilisés et/ou plus ou moins complexes à calculer et/ou à interpréter ont été proposés (Piélou, 1975 ; Warwick & Clarke, 1995 ; Heip *et al.*, 1998 ; Gray, 2000 ; Ugland *et al.*, 2003). Afin de décrire et de comparer les assemblages de macrofaune que nous avons identifiés, nous avons sélectionné un nombre restreint d'indices de mesure de la diversité spécifique en fonction d'un certain nombre de critères parmi lesquels la simplicité d'utilisation, d'interprétation et leur universalité ont été déterminantes.

Le nombre d'espèces par station a été déterminé sur l'ensemble des deux échantillons réalisés dans chaque station. Cette valeur traduit la **densité spécifique (ou abondance d'espèces) (fig 5.1)** du peuplement ou du faciès de macrofaune, c'est-à-dire le nombre d'espèces récoltées sur m². La densité d'espèces est en effet fortement dépendante de la taille de l'engin d'échantillonnage, c'est-à-dire de la surface échantillonnée. La comparaison des densités spécifiques moyennes renseigne sur l'organisation des différents assemblages. Cependant, cette valeur ne traduit pas forcément la richesse en espèce d'un peuplement ou d'un faciès. En effet, la majorité des espèces étant rare, des assemblages dont la faune est très diversifiée peuvent apparaître relativement pauvres si cette diversité est évaluée à travers les seules densités spécifiques moyennes. L'utilisation de ce seul

indice est donc insuffisante. La **richesse spécifique totale** a donc été également prise en compte (**fig 5.2**). Elle correspond au nombre total d'espèces collectées sur l'ensemble des stations d'un peuplement ou d'un faciès. Cependant, le nombre de stations échantillonnées est disproportionné en fonction de l'assemblage considéré ; en d'autres termes, l'effort d'échantillonnage de la diversité de chaque assemblage est différent. La richesse spécifique totale varie en fonction du nombre de stations échantillonnées dans l'assemblage et/ou de la surface totale échantillonnée au sein de l'aire occupée par le peuplement ou le faciès (He & Legendre, 1996). Afin de remédier à ce biais, nous avons utilisé des **courbes aires – espèces cumulées** (ex : Ugland *et al.*, 2003). Ces courbes représentent l'effort d'échantillonnage, quantifié en nombre de stations (équivalent à une surface) en abscisses et, en ordonnées, le nombre cumulé d'espèces récoltées. La représentation simultanée des différents assemblages

sur une même figure renseigne visuellement sur la richesse spécifique totale potentielle de chaque peuplement ou faciès en fonction de la pente et de l'allure des différentes courbes et permet surtout de comparer *a priori* la richesse spécifique de deux assemblages pour un même effort d'échantillonnage. Dans ce type de représentation, l'ordre des stations selon l'axe des abscisses peut être une source de biais. Afin d'y remédier, chaque point de la courbe représente la moyenne de l'ensemble des permutations possibles entre les différentes stations d'un même peuplement. Ces courbes ont été obtenues en utilisant le logiciel PRIMER (Plymouth Laboratory) (Clarke & Warwick, 1994).

L'indice H' de diversité de Shannon ainsi que **l'indice J' d'équitabilité** de Piélou (1975), largement utilisés en écologie marine, ont été calculés à la fois sur les données de biomasse et d'abondance. Ces deux indices ont été calculés de la manière suivante :

$$H' = -\sum_{i=1}^N p_i \cdot \text{Log}_2(p_i)$$

avec :

H' , indice de Shannon ;

p_i , proportion (en abondance ou en biomasse) de l'espèce 'i' (p_i variant sur une échelle de 0 à 1) ;

N, nombre total d'espèces.

L'indice de Shannon intègre le nombre d'espèces ainsi que la proportion d'individus par espèce. La valeur de l'indice augmente quand le nombre d'espèces s'accroît et/ou lorsqu'il y a équirépartition du nombre d'individus par espèce.

$$J' = \frac{H'}{\text{Log}_2(N)}$$

avec :

J' , indice d'équitabilité.

Cet indice rend compte de l'équirépartition des individus par espèce. J' varie entre 0 (une seule espèce dans le peuplement) et 1 (le nombre d'individus par espèce est toujours le même).

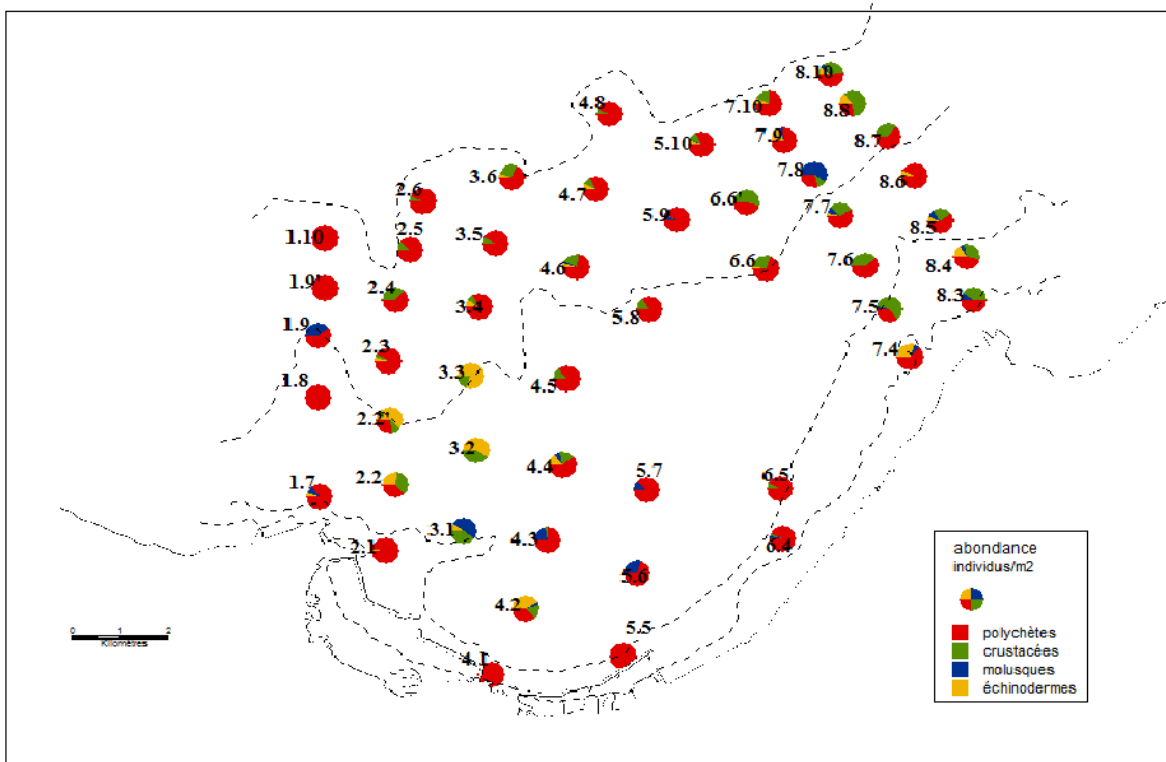


Figure 5.1 : carte de distribution d'abondance par station dans le golfe d'Oran

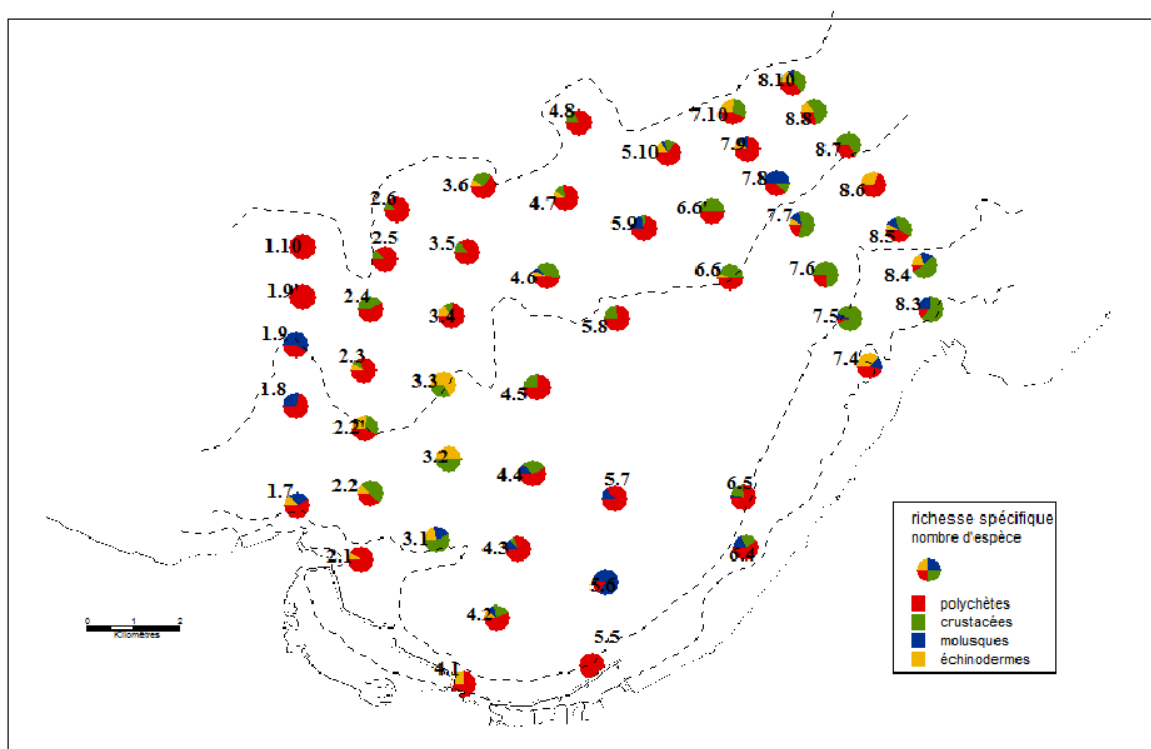


Figure 5.2 : carte de distribution de la richesse spécifique par station dans le golfe d'Oran

Tableau 5.1 pourcentage de la richesse spécifique des 4 groupes macrobenthiques

polychètes	crustacées	mollusques	échinodermes
76	72	27	10
41,30%	38,59%	14,67%	5,43%

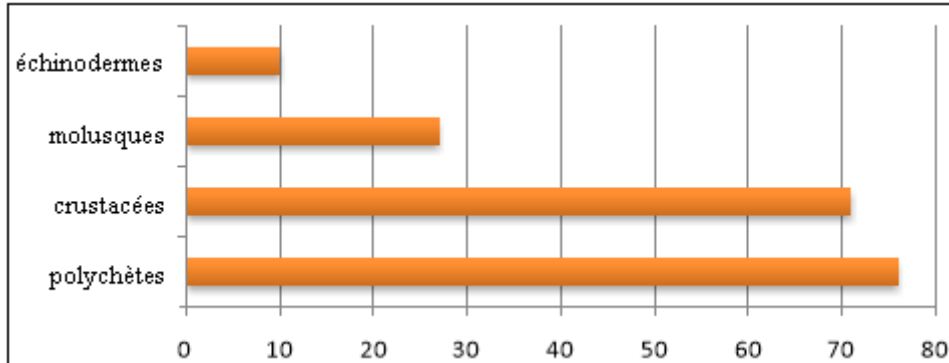


Figure : 5.3 Richesse spécifique des macro invertébrés benthiques du golfe d’Oran, et distribution des 185 espèces en taxa principaux.

L'inventaire de l'ensemble des espèces d'invertébrés benthiques signalées dans le golfe d’Oran a été réalisé à partir de la base de données. 185 espèces ont été recensées . 41,30% de ces espèces sont des polychètes, 39,67% sont des crustacées, 13,59% des mollusques, 5,43% des échinodermes (Fig : 5.3)

Trois types de distributions spatiales peuvent être distingués à l'échelle golfe d’Oran. La majorité des espèces (63,59%) sont considérées comme "rares", c'est à dire qu'elles ont été recensées dans moins de 5 % des stations. 31,52 % des espèces sont "communes", et présentes dans 6 à 20 % des stations.

Enfin, peu d'espèces (4,89 %) sont largement réparties (présentes dans 20 à 50 % des stations).(fig 5.4)

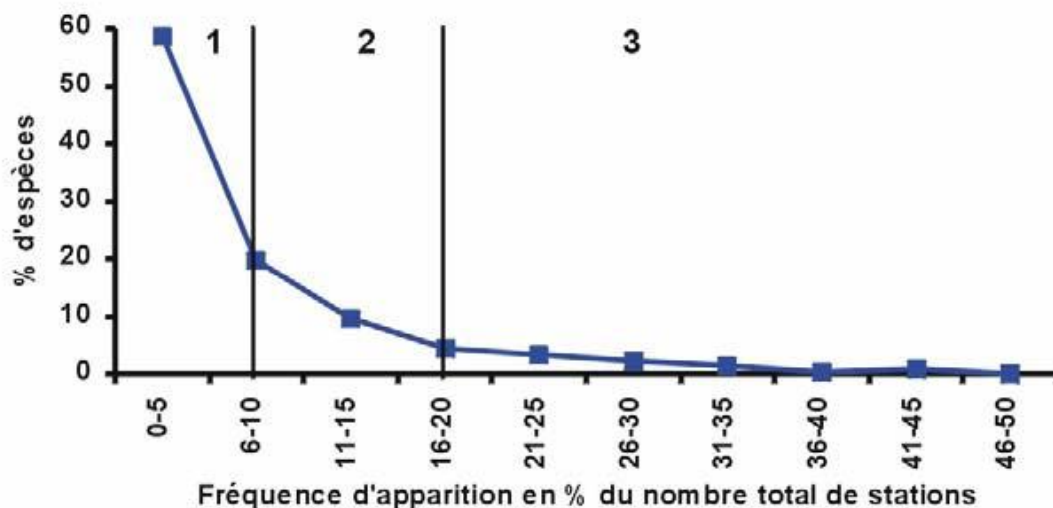


Figure : 5.4 fréquence d’apparition en% du nombre total de station.

Les stations étudiées montrent d'importantes fluctuations . Les paramètres faunistiques suivent la même tendance d'augmentation en été pour les cinquante stations (Figure 5. 5.A). La richesse spécifique fluctue entre 1et 29 espèces. Une tendance similaire a été observée pour l'abondance, avec des valeurs variant de 5 à 353 ind.0,3 m-2 .L'abondance a chuté dans 3 14 15 27 35 41 49 pour ensuite atteindre 353 ind.0,3 m-2 en 33(Figure 5. 5.B). L'indice de diversité de Shannon (H') représente des valeurs comprises entre 0 et 4(Figure 5. 5.D) . L'indice de Piéluou (J) montre des valeurs élevées (Figure 5.5.E). Les seuils de ces paramètres faunistiques reflètent un stade de transition où les espèces sont tolérantes, dominant et atteignent de fortes densités en été (Figure 5. 5.C), avec des valeurs de H' moyennes et des valeurs de J' élevées.

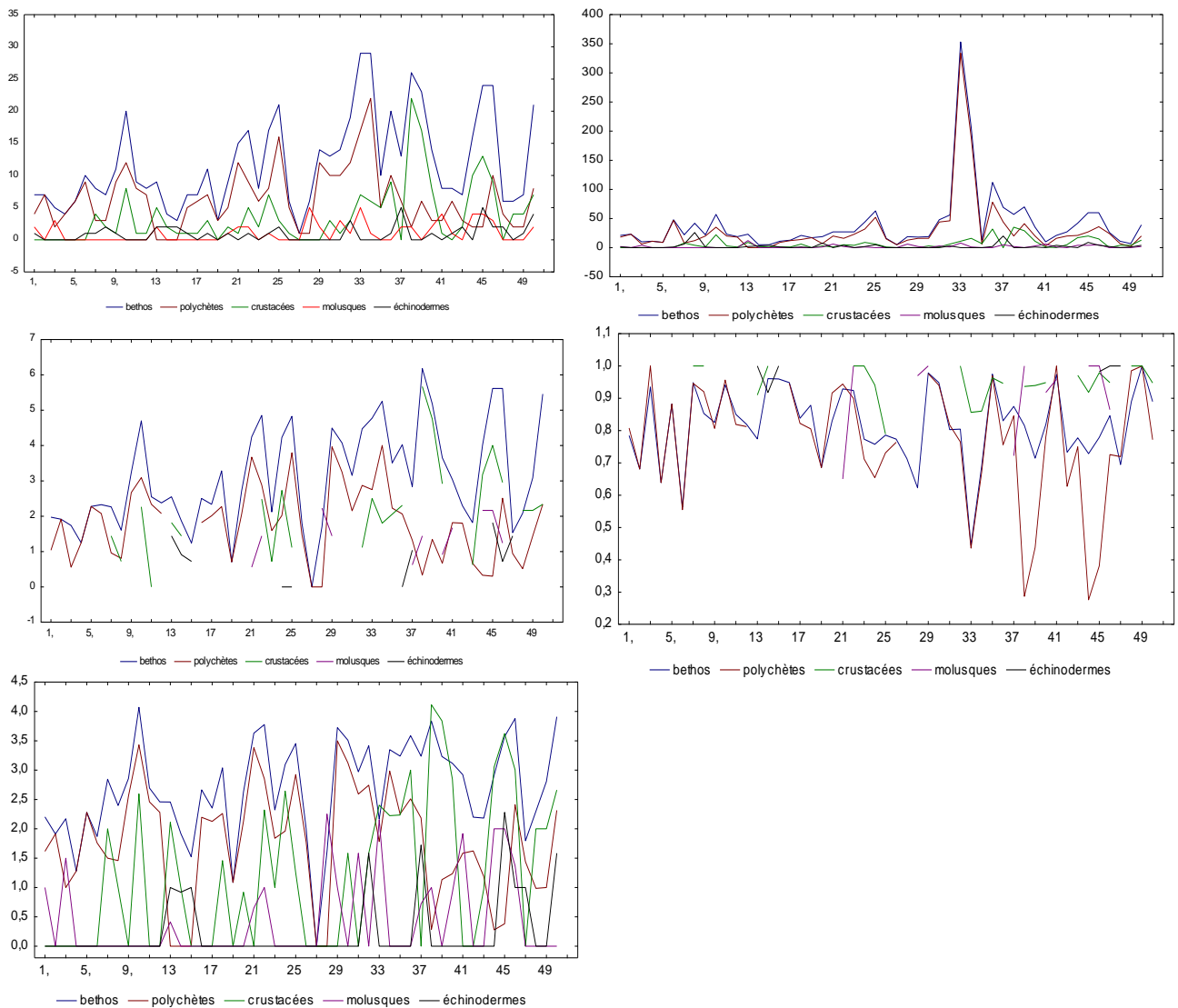


Figure :5.5 Variation spatiale de la biodiversité de l'abondance (A), de la richesse spécifique (B) , de la richesse spécifique(margalef) (D), de l'indice de Piéluou (J' ; E) et de la diversité de Shannon (H' ; F) aux stations

5.1.2. Inventaire

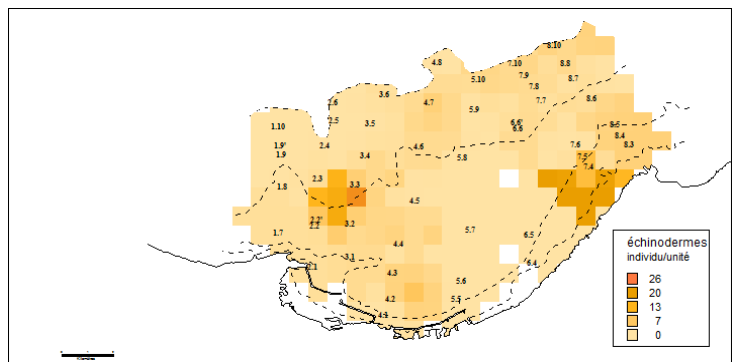
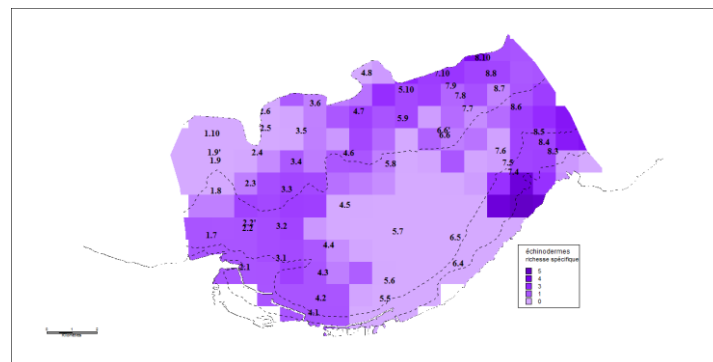
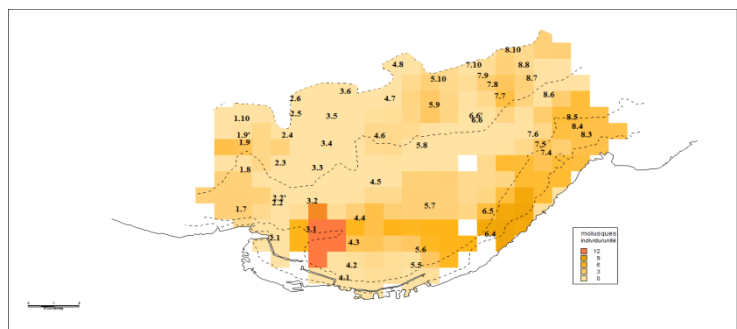
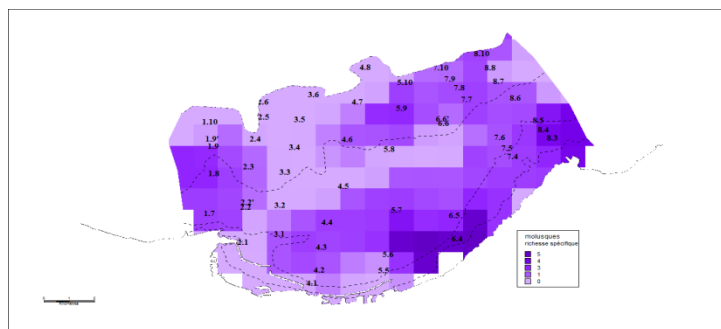
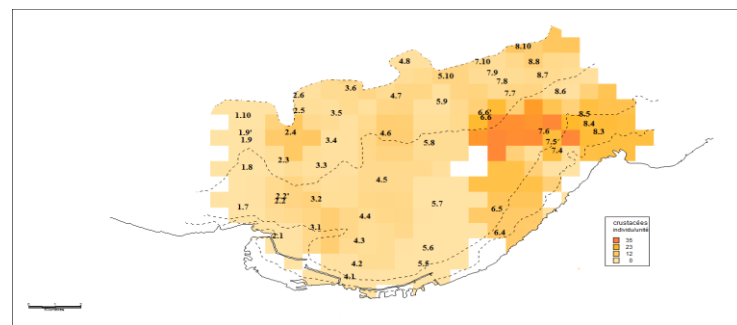
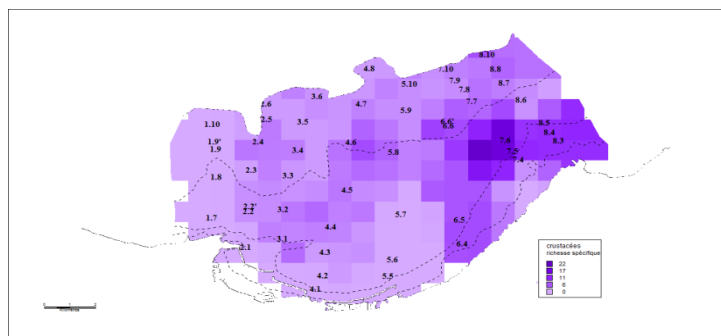
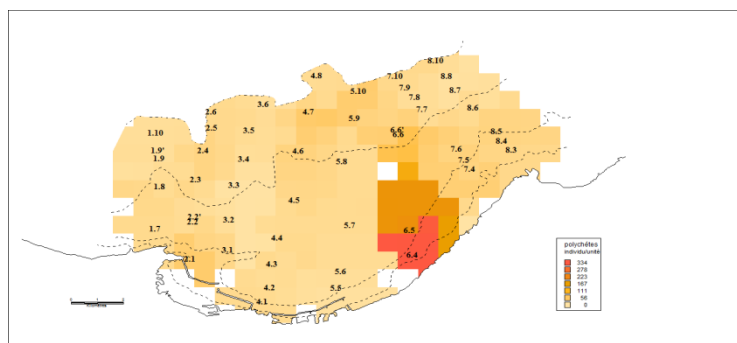
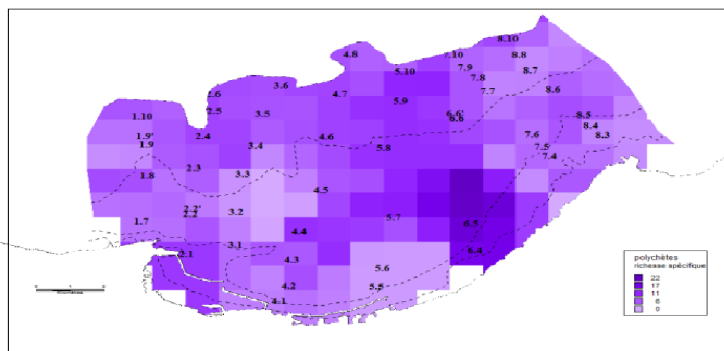
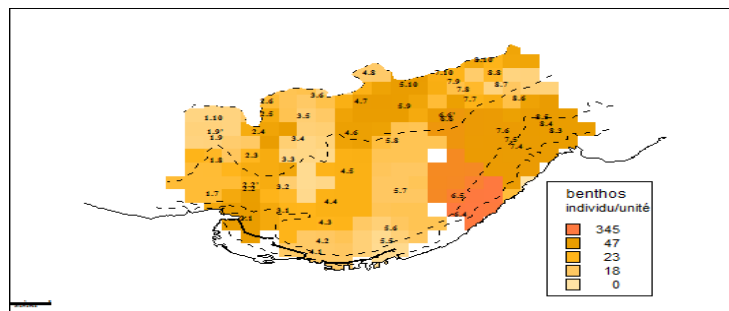
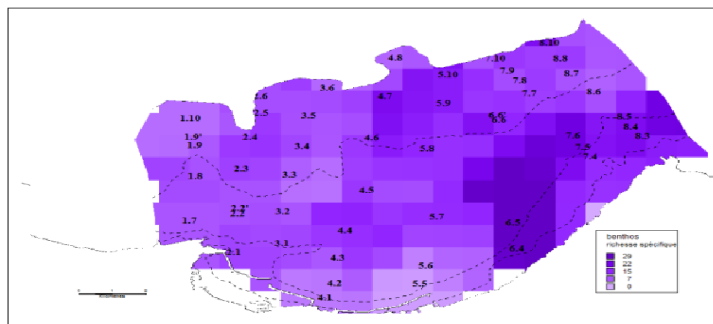


Figure 5. 6 : Variation spatiale de la richesse spécifique de la macrofaune benthiques du golfe d'Oran.

Figure 5. 7 :Variation spatiale de l'abondance de la macrofaune benthique es du golfe d'Oran.

Tableau 5.2. nombre de Taxonomie des 4 groupes macrobenthiques

	classe	s classe	infra class	ordre	s ordre	famille	s famille	genre	espèces
échinodermes	3	2	3	5	4	6	2	6	10
mollusques	3	4	2	15	1	19	7	23	27
crustacées	3	4	0	10	9	35	16	42	72
polychètes	1	2	2	5	6	23	16	45	76
	10	12	7	35	20	83	41	116	185

Les benthos du golfe d’Oran sont de 185 espèces 116 genres 83 familles 35 ordres et 10 classes (tableau 2) une forte d’abondance au stations 6.4 et 6.5 de 345 individus (fig 5.6a) ainsi une richesse spécifique de 29 espèces (fig 5.7a)

Les espèces macro benthiques sont généralement des polychètes crustacées mollusques et échinodermes

Tableau 5.3. La répartition des 4 groupes macrobenthiques

polychètes	crustacées	mollusques	échinodermes
76	72	27	10
41,30%	38,59%	14,67%	5,43%

Les polychètes :

- Les polychètes des substrats meubles du golfe d’Oran (0 et 100 m de profondeur) sont représentés par une seule classe, 5 ordres, 23 familles, 45 genres et 76 espèces (tableau 5.3). fig (5.6.b) fig (5.7.b)

- 41,30% des benthos récoltées sont des polychètes, dont plus de 34 % appartiennent à l’ordre des Phyllodocida (21 espèces) fournies essentiellement par les Syllidae (3 espèces), les Sigalionidae (3 genres et 3 espèces), les Polynoidae (3 genres et 6 espèces) les Phyllodocidae (2 genres et 4 espèces) et enfin les Glyceridae (1 genres 4 espèces). Les Nereididae (1 genres et 1 espèces)

- Les autres ordres sont assez équitablement représentés, notamment les Terebellida avec 16 espèces appartenant essentiellement aux Terebellidae (4 genres et 8 espèces) et aux Ampharetidae (2 genres et 3 espèces). Les Trichobranchidae (2 genres et 2 espèces) les Cirratulidae Flabelligeridae Pectinariidae sont représentées par (1 genres et 1 espèces)

Parmi les 20 espèces d’Eunicida recensées entre 0 et 110 m de profondeur sur les fonds meubles d’Oran, les Eunicidae (4 genres et 7 espèces) et les Lumbrineridae (2 genres pour 8 espèces) et les Onuphidae (2 genres pour 5 espèces).

- Les ordres les moins bien représentés sont Sabellida (2 familles, 1 genres et 4 espèces), les Amphinomida (Ctenodrilidae : 1 genre et 2 espèce),
- Les polychètes sont représentées sur les substrats meubles de la côte algérienne par 16familles.

Les autres familles sont les les Capitellidae (4 genres et 6 espèces) les Maldanidae (2 genres et 3 espèces) Les Euclymeninae (1 genres et 1 espèces) les Arenicolidae et les Opheliidae (1 genres et 1 espèces)

Les crustacées

Les crustacées sont représentés par, 3classes, 10 ordres, 35 familles,42 genres et 72 espèces (tableau 5.3). fig (5.6.c) fig (5.7.c)

Les crustacés fournissent 38.59% du stock spécifique total des Arthropodes des substrats meubles du golfe d'Oran,. Les crustacés sont le deuxième groupe taxonomique en terme de diversité spécifique après les polychètes.

L'ordre des amphipodes se distingue des autres. Ces groupe fournit

et 20 genres et 45 espèces soit, 62 % des espèces d'arthropodes. Quelques familles dominant numériquement : Ampeliscidae (1 genres et 14 espèces) Atylidae (1 genres et 3 espèces) Corophiidae (1 genres et 4 espèces) Gammaridae (2 genres et 3 espèces) Ischyroceridae (1 genres et 2 espèces)

Lysianassidae (2 genres et 3 espèces) Maeridae (2genres et 5 espèces) Urothoidae (1genres et 3 espèces) Phoxocephalidae Sophrosynidae Tryphosidae Unciolidae Uristidae Aristiidae Bathyporeiidae Leucothoidae (1 genres et 1 espèces)

Calanoida Pontellidae (1 genres et 1 espèces)

Cumacea Bodotriidae (1 genres et 1 espèces)

Leptostraca Nebaliidae (1 genres et 1 espèces)

Lophogastrida Lophogastridae (1 genres et 1 espèces)

Myodocopida Cypridinidae (1 genres et 1 espèces)

L'ordre decaoda presente 8 familles sont : Paguridae Processidae (1 genres et 2 espèces)

Alpheidae Diogenidae Galatheidae Inachidae Leucosiidae Polybiidae (1 genres et 1 espèces)

L'ordre Isopoda presente 4 familles Cirolanidae (2 genres et 5 espèces)

Sphaeromatidae Idoteidae Aegidae (1 genres et 1 espèces)

Mysida Mysidae (1 genres et 3 espèces)

Tanaidacea Apseudidae (1 genres et 3 espèces)

Les mollusques

Les mollusques sont représentés par, 3classes, 15ordres, 19 familles,23 genres et 27 espèces (tableau 3) fig (5.6.d) fig (5.7.d)

L'ordre Cardiida presente 4 familles Cardiidae Tellinidae (1 genres et 3 espèces)

Psammobiidae Astartidae (1 genres et 1 espèces)

Neogastropoda presente 2familles Buccinidae (1 genres et 1 espèces) Nassariidae (2 genres et 2 espèces)

Venerida presente 1 famille Veneridae (1 genres et 3 espèces)

Nuculida presente 1 famille Nuculidae (1 genres et 3 espèces)

Adapedonta Hiattellidae (1 genres et 1 espèces)

Anomalodesmata Lyonsiidae (1 genres et 1 espèces)

Chitonida Callochitonidae (1 genres et 1 espèces)

Limida Limidae (1 genres et 1 espèces)

Littorinimorpha Naticidae (1 genres et 1 espèces)

Lucinida Lucinidae (1 genres et 1 espèces)

Myida Corbulidae (1 genres et 1 espèces)

Mytilida Mytilidae (1 genres et 1 espèces)

Nuculanida Nuculanidae (1 genres et 1 espèces)

Pectinida Pectinidae (1 genres et 1 espèces)

Les échinodermes

Les échinodermes sont représentés par, 3classes, 5 ordres, 6 familles,6 genres et 10espèces (tableau 3) fig (5.6.e) fig (5.7.e)

L'ordre Amphilepidida représentés Amphiuridae (1 genres et 4 espèces) Ophiopsilidae (1 genres et 1 espèces)

L'ordre Ophiurida représentés Ophiuridae (1 genres et 2 espèces)

Camarodonta Parechinidae (1 genres et 1 espèces)

Clypeasteroida Echinocyamidae (1 genres et 1 espèces)

Paxillosida Astropectinidae (1 genres et 1 espèces)

5.2. Identification et caractérisation des assemblages de macrofaune :

5.2.1. analyses multivariées

Afin de classer le golfe d'Oran sur la base de la composition de leurs communautés animales ou végétales, les écologistes ont généralement une approche inductive. Le traitement de matrices [stations x espèces] par des analyses multivariées est utilisé pour visualiser des modalités de distribution spatiale des organismes (Tate & Heiny 1995). L'analyse de données consiste à construire des représentations simplifiées de données brutes, pour mettre en évidence les relations, les dominantes, la structure interne du nuage des observations. Les méthodes factorielles comme l'Analyses en Composantes Principales (ACP) et l'Analyses Factorielles des Correspondances (AFC; Benzécri 1973) sont les méthodes les plus répandues pour établir des typologies régionales (voir applications récentes dans (Cayrou *et al.* 2000; Giudicelli *et al.* 2000; Lounaci *et al.* 2000). Les méthodes factorielles sont essentiellement linéaires (James & McCulloch 1990); elles consistent à chercher des sous-espaces vectoriels, des changements de res, permettant de réduire les dimensions tout en perdant le moins d'information possible. Cependant, si la plupart des processus apparaissent linéaires à l'échelle locale, dans un intervalle limité (Green & Sadedin 2005), les données écologiques varient le plus souvent de façon nonlinéaire (Lek & Guegan 1999), particulièrement si on les observe à l'échelle régionale. Une méthode de projection non-linéaire peut donc être préférable (Blayo & Demartines 1991) pour révéler les facteurs responsables de l'organisation de ces données.

Les objectifs poursuivis étaient (1) d'identifier les différents assemblages de macrofaune benthique et de les caractériser (2) par un cortège d'espèces caractéristiques et (3) par leur habitat, trois niveaux d'analyses multivariées ont été utilisés lors de cette étude : une Classification Ascendante Hiérarchique, une Analyse des Correspondances et une Analyse Factorielle Discriminante. La Classification Ascendante Hiérarchique a permis tout d'abord de regrouper les différentes stations en un certain nombre de classes (ou groupes). Une Analyse Factorielle des Correspondances a été appliquée dans le but d'ordonner les stations (identifiées par leur groupe) et les espèces dans un même espace factoriel réduit à un petit nombre de dimensions afin d'identifier les principales espèces contribuant à la séparation des différents groupes de stations. Enfin, une Analyse Factorielle Discriminante a été utilisée afin de discerner les principaux facteurs environnementaux impliqués dans la différenciation des groupes (classes) de stations. Les deux premières analyses ont été réalisées sur les matrices

d'abondance stations \times espèces. Les données d'abondances ont été préalablement transformées en $\text{Log}_{10}(x+1)$ pour atténuer les phénomènes de forte dominance. Les abondances utilisées correspondaient à la somme des deux échantillons prélevés dans chaque station. Les espèces rares, c'est-à-dire celles qui apparaissaient dans moins de 2 stations, ont été retirées de la matrice.

5.2.2. Classification Ascendante Hiérarchique de l'ensemble des stations

Les 50 stations ont été classifiées en se basant sur la structure du dendrogramme (**figure 1**) issu de la Classification Ascendante Hiérarchique des stations selon le critère du χ^2 . Après élimination des taxons n'apparaissant que dans 1 stations ou moins, la matrice analysée regroupait 115 espèces sur un de total de 185 taxons identifiés dans l'ensemble des stations.

Cette Classification isole tout d'abord 6 ensembles de stations qui se regroupent à un bas niveau d'agglomération (ensembles 1, 2, 3, 4, 5 et 6) (**figure 5.8**). Ils s'opposent à un 7ème 8ème sous ensemble de stations (**figure 5.8**) qui s'agglomèrent à un niveau plus bas (**figure 5.8**). Ce bas niveau d'agglomération révèle une plus grande homogénéité de la composition faunistique de ces différentes stations. Parmi les 6 ensembles de stations clairement définis par la CAH.

Ces quatre ensembles sont les suivants (**figure 2.1**) :

- l'ensemble 1, qui correspond à l'intégralité des 23 stations échantillonnées 2.2' 5.6 4.2 3.1 2.2 4.3 5.5 8.8 7.8 6.6' 3.3 3.2 1.10 5.8 5.7 3.4 8.7 1.9 2.4 4.4 3.5 2.3 1.7 dans cet ensemble peut se divisé en 2 ensembles 1a de 5 stations 2.4 4.4 3.5 2.3 1.7 et un 2^{ème} ensemble 1b de 18 stations de l'ensemble 1 il s' agit de station de sédiments sableux et sableux graveleux
- l'ensemble 2 correspond à 13 stations 8.10 7.9 3.6 2.5 4.8 2.6 1.9' 7.10 7.7 8.6 4.5 4.1 1.8 avec de 2 sous ensembles l'ensemble 2a de 6 stations 7.10 7.7 8.6 4.5 4.1 1.8 et l'ensemble 2b de 7 stations 8.10 7.9 3.6 2.5 4.8 2.6 1.9' il d'agit de sédiment graveleux et pelites
- l'ensemble 3 comprend 10 stations 2.1 7.6 4.6 8.3 7.5 8.4 4.7 8.5 5.9 5.10 , toutes échantillonnées en sédiment de pelites
- l'ensemble 4, regroupe 2 stations correspondant aux 7.4 6.6 échantillonnées dans les sédiments sableux
- l'ensemble 5 il regroupe une station 6.5 de sables
- L'ensemble 6 inclut une stations 6.4 correspondant aux sédiment sableux pelite

A partir de la structure du dendrogramme (**figure 5.8**) se dessine déjà nettement l'existence d'au moins 6 peuplements principaux, correspondant aux 6 ensembles de stations bien définis par la CAH (ensembles 1, 2, 3, 4, 5 et 6).

. L'ensemble 1, quant à lui, présente une plus grande hétérogénéité de composition faunistique et la distinction de peuplements en son sein nécessite une analyse plus fine réalisable à partir d'une matrice plus réduite. De même, au sein des 6 premiers ensembles, le dendrogramme fait apparaître une organisation secondaire des principaux peuplements en différents faciès (**figure 5.8**). Ces faciès représentent autant d'aspects différents d'un même peuplement en réponse aux variations locales de certains facteurs environnementaux, la profondeur apparaissant comme un des principaux facteurs structurant le macrobenthos à l'échelle du golfe. Ces résultats préliminaires vont dans le sens de la grande majorité des études consacrées au macrobenthos qui se concentrent en général sur la macrofaune benthique du golfe d'Oran.

D'après le concept d'étagement en mer à marée développé par Glémarec (1973), les principaux processus physico-chimiques affectant le macrobenthos varient en ordre d'importance selon le niveau tidal considéré. En particulier, la durée d'émersion permet de définir au sein de la zone intertidale les étages supralittoral, médiolittoral et infralittoral (Glémarec, 1997a). Ce facteur, prédominant en domaine intertidal, est sans objet en domaine subtidal où d'autres facteurs vont devenir déterminants dans la structuration des peuplements benthiques. L'étude séparée de l'organisation de la macrofaune selon l'un ou l'autre se justifie donc également lorsqu'une discrimination et une hiérarchisation entre les différents processus biotiques et abiotiques structurant la macrofaune sont recherchées. Cette étude préliminaire permet de nuancer l'impact du caractère sédimentaire dans certaines conditions, Finalement, ces différents arguments : importance du caractère sédimentaire dans la structuration du macrobenthos de la lagune, nécessité d'une analyse plus fine de l'organisation des peuplements de macrofaune, recherche des facteurs environnementaux responsables de l'organisation secondaire de ces peuplements en faciès et le souci de comparaison avec la plupart des études existant sur la macrofaune justifient la description et l'analyse séparées dans la suite de ce chapitre. Il sera également montré que des différences d'ordre quantitatif (abondances, biomasses) justifient également le découpage effectué.

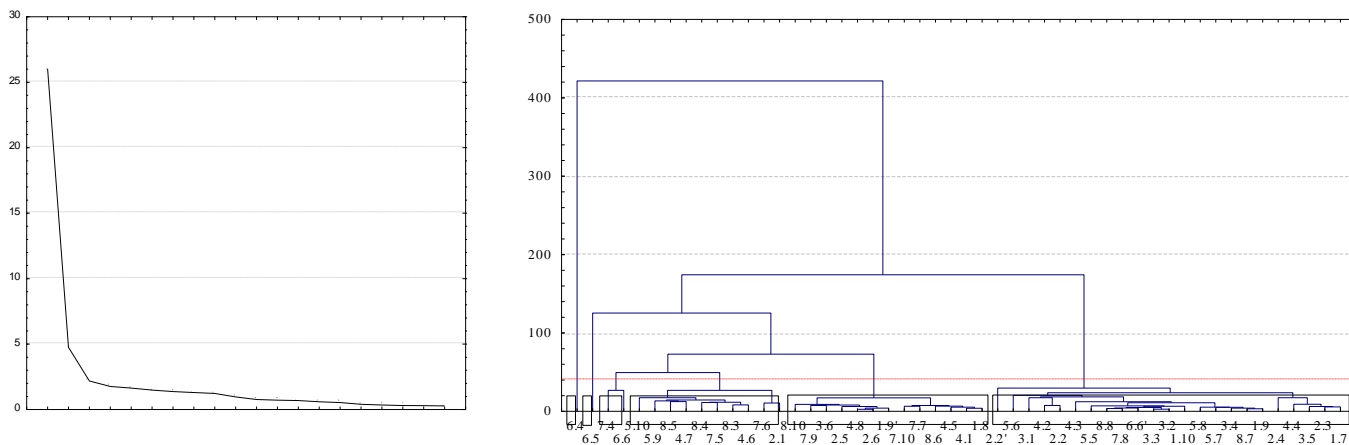


Figure 5.8: Dendrogramme issu de la Classification Ascendante Hiérarchique (distance du χ^2 ; méthode de Ward) effectuée sur l'ensemble des 50 stations.

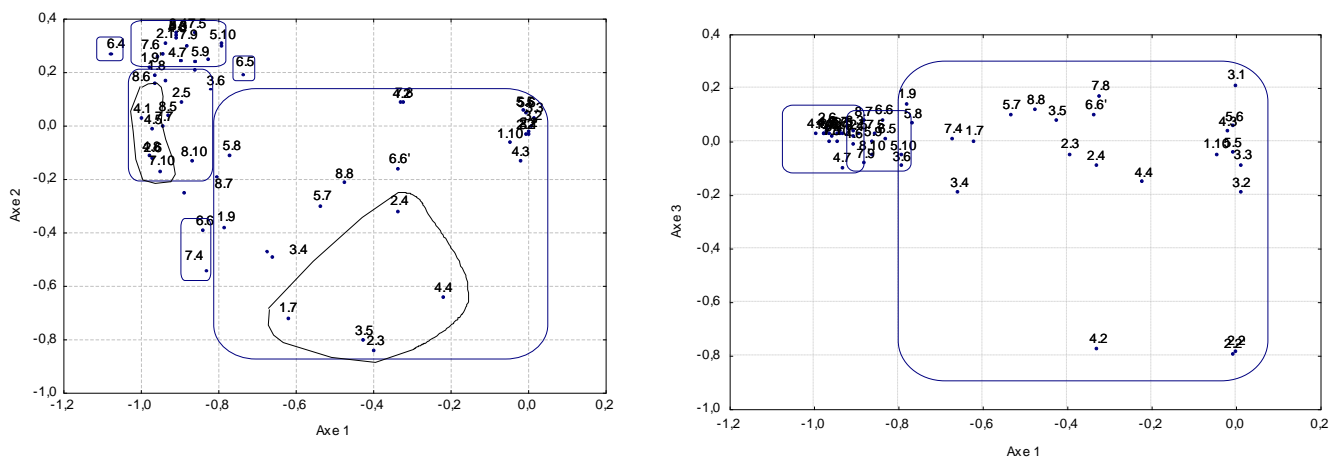


Figure 5.9 : Représentation des stations (a) dans l'espace des dimensions 1 et 2 (b) dans l'espace des dimensions 1 et 3 de l'Analyse Factorielle des Correspondances. Seules les espèces contributives ont été représentées sur la figure.

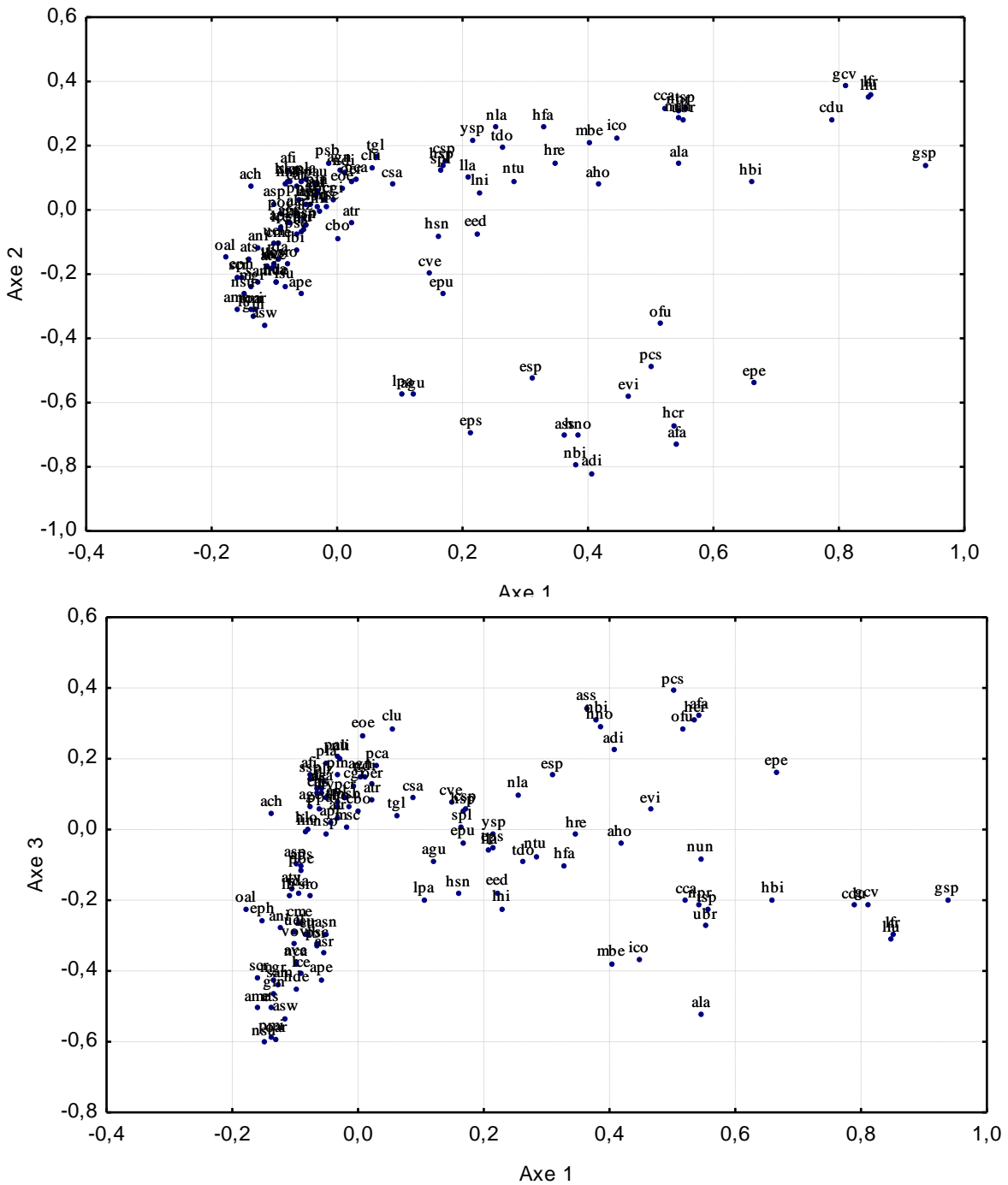


Figure 5.10. Représentation des espèces (a) dans l'espace des dimensions 1 et 2 (b) dans l'espace des dimensions 1 et 3 de l'Analyse Factorielle des Correspondances. Seules les espèces contributives ont été représentées sur la figure. L'espace représenté par les trois dimensions est le même et permet la représentation des espèces et des stations sur une même figure. Cependant, pour des raisons de clarté, les stations et les espèces sont présentées séparément .

5.2.3. Résumé détaillé

Le benthos, et la macrofaune en particulier, sont considérés comme de bons témoins des modifications de l'environnement (Dauvin, 1993). En effet, les peuplements de la macrofaune intègrent les variations du milieu, et leur aspect (composition, biomasses, abondances, diversité) au moment de l'observation est la résultante de ces conditions (Hily, 1983). L'évolution de la macrofaune benthique a été particulièrement bien étudiée à la suite de perturbations sévères de l'environnement ou de pollutions catastrophiques : pollution par les hydrocarbures (Dauvin, 2000), crises dystrophiques sévères (Lardicci *et al.*, 1997), importantes contaminations par les métaux (Warwick, 2001) ou invasions spectaculaires par une espèce allochtone (Chauvaud *et al.*, 2000).

Cependant, les études portant sur des écosystèmes moins perturbés sont moins nombreuses (Beukema *et al.*, 2000 ; 2002 ; Böstrom *et al.*, 2002).

Ce type d'étude nécessite une bonne connaissance préalable des peuplements benthiques, c'est-à dire un état de référence qui doit être à la fois qualitatif et quantitatif. C'est dans ce cadre que la macrofaune benthique du golfe d'Oran a été étudiée à travers un échantillonnage effectué selon 50 stations distribuées dans la zone selon une stratégie d'échantillonnage stratifiée.

Les objectifs de la présente étude consistaient tout d'abord à identifier et décrire les différents peuplements de la macrofaune benthique et leurs différents faciès à l'échelle du golfe d'Oran. Dans un deuxième temps, nous avons tenté d'identifier les principaux facteurs responsables de la structuration spatiale des peuplements et des faciès de la macrofaune benthique.

La méthodologie utilisée est détaillée dans le chapitre 1 (Matériel et Méthodes). Les assemblages de macrofaune ont été identifiés à partir de la partition du dendrogramme issu de la Classification Ascendante Hiérarchique (méthode de Ward) basé sur la distance du χ^2 entre les stations. Les principales espèces caractéristiques des différents assemblages ont été déterminées à partir de l'ordination des stations et des espèces obtenue par une Analyse Factorielle des Correspondances.

Enfin, l'importance de la qualité du sédiment, de la position des stations dans le gradient du golfe (salinité/température) et de la profondeur dans la structuration du macrobenthos a été étudiée à l'aide d'une Analyse en composantes principales.

Au total, 185 taxons différents ont été identifiés dans les 50 stations échantillonnées au cours de cette étude (**figure 5.8**). La CAH a permis d'isoler, au sein des sédiments meubles des chenaux du golfe d'Oran, 6 groupes de stations. La structure du dendrogramme fait apparaître

une organisation de la macrofaune benthique selon deux niveaux permettant d'identifier 6 peuplements de macrofaune (1, 2, 3, 4, 5 et 6) dont 2 (peuplements 1 et 2) présentent 2 sous ensembles : 1a – 1b et 2a – 2b. Chacun de ces 8 ensembles caractérise des groupes de stations d'effectifs différents. L'ensemble des caractéristiques des différents peuplements et faciès est résumé dans le tableau 5.4).

Le peuplement 1 rassemble 23 stations principalement caractérisées (espèces contributives) par les polychètes *eunice vittata* *hyalinoecia bilineata* et les crustacées *eurydice cf pulchra* et des mollusques au niveau de 1a caractérisé par *hinia reticulata* les abondances et la richesse spécifique de la macrofaune sont 1a (41 espèces, 140 ind.m-2 par 5 stations) et 1b (80 espèces, 275 ind.m-2 par 18 stations) (Tableau 5.4)

la richesse spécifique et l'abondance de la macrofaune du peuplement 2 (13 stations) sont 2a (31 espèces, 302 ind.m-2 par 5 stations) et 2b (25 espèces, 138 ind.m-2 par 18 stations) (Tableau 5.4)

les espèces caractéristiques sont similaires au ensembles précédent avec la présence du crustacées *harpinia crenulata cirolana borealis*.

La majorité des 10 stations de l'ensembles 3 sont éloignés Il est caractérisé par les polychètes *pista sp* *eunice vittata* *hyalinoecia bilineata* et les crustacées *maera grossimana galathea intermedia leptochirus bispinosus urothoe elegans* .La densité d'espèces (12 espèces par station, en moyenne) et l'abondance de la macrofaune (584 ind.m-2) y sont supérieures à celles des deux peuplements précédents.

L'ensemble 4 n'est représenté que dans 2 stations, caractérisé par les polychètes *lumbrineriopsis paradoxa* *eunice vittata* *hyalinoecia bilineata pista cristata* et les crustacées *harpinia crenulata* les mollusques *nucula nucleus* et les échinodermes *ophiopsila aranea* .La densité d'espèces (15 espèces par station, en moyenne) et l'abondance de la macrofaune (177 ind.m-2) (Tableau 5.4)

Le peuplement 5 et 6 (1 station) dans chaque ensemble. La composition faunistique du peuplement est assez proche (3 espèces caractéristiques en commun)les polychètes *lumbrineris fragilis* *eunice vittata* *hyalinoecia bilineata* les crustacées *apseudes holthuisi* et *anapagurus laevis* et les échinodermes *nucula sulcata* (Tableau 5.4)

Tableau 5.4 Liste des principales espèces caractéristiques des Peuplements

	S	N	Principales espèces caractéristiques
Peuplement 1a 5 stations	41	140	<i>eunice vittata</i> <i>hyalinoecia bilineata</i> <i>eurydice cf pulchra</i>
Peuplement 1b 18 stations	80	275	<i>eunice vittata</i> <i>hyalinoecia bilineata</i> <i>eurydice cf pulchra</i> <i>hinia reticulata</i>
Peuplement 2a 6 stations	31	302	<i>eunice vittata</i> <i>hyalinoecia bilineata</i> <i>harpinia crenulata</i>
Peuplement 2b 7 stations	25	138	<i>eunice vittata</i> <i>hyalinoecia bilineata</i> <i>chone duneri</i> <i>cirolana borealis</i> <i>eurydice cf pulchra</i>
Peuplement 3 10 stations	119	548	<i>pista sp</i> <i>eunice vittata</i> <i>hyalinoecia bilineata</i> <i>maera grossimana</i> <i>galathea intermedia</i> <i>leptocheirus</i> <i>bispinosus</i> <i>urothoe elegans</i>
Peuplement 4 2 stations	29	177	<i>lumbrineriopsis paradoxa</i> <i>eunice vittata</i> <i>hyalinoecia</i> <i>bilineata</i> <i>pista cristata</i> <i>harpinia crenulata</i> <i>nucula nucleus</i> <i>ophiopsila aranea</i>
Peuplement 5 1 station	30	353	<i>lumbrineris fragilis</i> <i>eunice vittata</i> <i>hyalinoecia bilineata</i> <i>apseudes holthuisi</i> <i>nucula sulcata</i>
Peuplement 6 1 station	28	206	<i>lumbrineris fragilis</i> <i>eunice vittata</i> <i>hyalinoecia bilineata</i> <i>anapagurus laevis</i>

5.2.4. Analyse Factorielle des Correspondances

Tableau 5.5: Liste des principales espèces contribuant à l'inertie de chacun des axes de l'A.F.C.. Les espèces signalées entre parenthèses ne contribuent pas 'significativement' à l'inertie de l'axe.

axe 1 (coordonnées négatives)	% d'inertie	axe 1 (coordonnées positives)	% d'inertie
<i>Oal ophiura albida</i> E	17,85	<i>gsp glycera sp</i> P	93,69
<i>eph eurydice pulchra</i> C	15,16	<i>lfr lumbrineris fragilis</i> P	84 ,99
<i>ani athanas nitescens</i> C	12,53	<i>lfu lumbrineris funchalensis</i> P	84,82
		<i>gcv glycera convoluta</i> P	80,99
		<i>cdu chone duneri</i> P	78,95
		<i>hbi hyalinoecia bilineata</i> P	65 ,96
axe 2 (coordonnées négatives)	% d'inertie	axe 2 (coordonnées positives)	% d'inertie
<i>adi ampelisca diadema</i> C	81 ,86	<i>Pcs pista cristata</i> P	39,06
<i>nbi nebalia bipes</i> C	79,43	<i>Gcv glycera convoluta</i> P	38,42
<i>afa atylus falcatus</i> C	73,20	<i>Lfr lumbrineris fragilis</i> P	36,08
		<i>lfu lumbrineris funchalensis</i> P	35,03

		<i>ass apseudes spinosus C</i>	34,52
		<i>afa atylus falcatus C</i>	32,12
		<i>cca capitella capitata P</i>	31,83
		<i>tsp gastrosaccus sp C</i>	31,44
axe 3 (coordonnées négatives)	% d'inertie	axe 3 (coordonnées positives)	% d'inertie
<i>nsu nucula sulcata E</i>	60,26	<i>nbi nebalia bipes C</i>	31,16
<i>oar ophiopsila aranea E</i>	59,42	<i>hno haplostylus normani C</i>	29,15
<i>pmi psammechinus</i>	58,72	<i>hcr harpinia crenulata C</i>	31,11
<i>microtuberculatus E</i>		<i>ofu owenia fusiformis P</i>	28,42

L'Analyse des Correspondances présentée a été réalisée sur une matrice réduite rassemblant 115 taxons et 50 stations. Les trois premiers axes de l'Analyse des Correspondances ont été retenus. L'ensemble de ces trois axes extrait 32,96 % de l'inertie du nuage de points. Le premier axe extrait 26,02 % de l'inertie du nuage. Les stations de la plupart des peuplements sont organisées autour de celui-ci (figure 5.9). Celles-ci sont arrangées selon un gradient assez net observable le long de cette première dimension : de la partie négative vers la partie positive de l'axe 2, les assemblages 1, 2, 3, 4, 5, 6 se succèdent avec un minimum de chevauchement. Les principales espèces contribuant à cette organisation des peuplements sont *glycera convoluta lumbrineris fragilis lumbrineris funchalensis chone duneri glycera sp hyalinoecia bilineata* pour la partie positive de l'axe, et, principalement, *ophiura albida eurydice pulchra athanas nitescens* pour la partie négative de l'axe (Tableau 5.5) (figure 5.9).

Le second axe extrait quasiment autant d'inertie que le premier axe (4,76%). Celui-ci met surtout en évidence le peuplement 1a 4 3 ainsi que les espèces contribuant à la partie négative de cet axe (tableau 5.5), principalement : *ampelisca diadema nebalia bipes atylus falcatus* et pour la partie positive *glycera convoluta lumbrineris fragilis lumbrineris funchalensis capitella capitata gastrosaccus sp* . Finalement, la troisième dimension (2,18% d'inertie extraite) mélange les stations des assemblages 2, 3 et de celles des faciès 5, 6 (figure 5.9.b). Les principales espèces contribuant à la séparation des ces stations sont indiquées dans le (tableau 5.5.) et sur la figure 5.10.b. Les espèces contribuant le plus au positionnement des stations dans la partie négative de l'axe 3 sont principalement, *nucula sulcata ophiopsila aranea psammechinus microtuberculatus* et Les stations situées dans la partie positive de cet axe sont caractérisées par *nebalia bipes haplostylus normani atylus falcatus harpinia crenulata owenia fusiformis apseudes spinosus pista cristata* (tableau 5.5.).

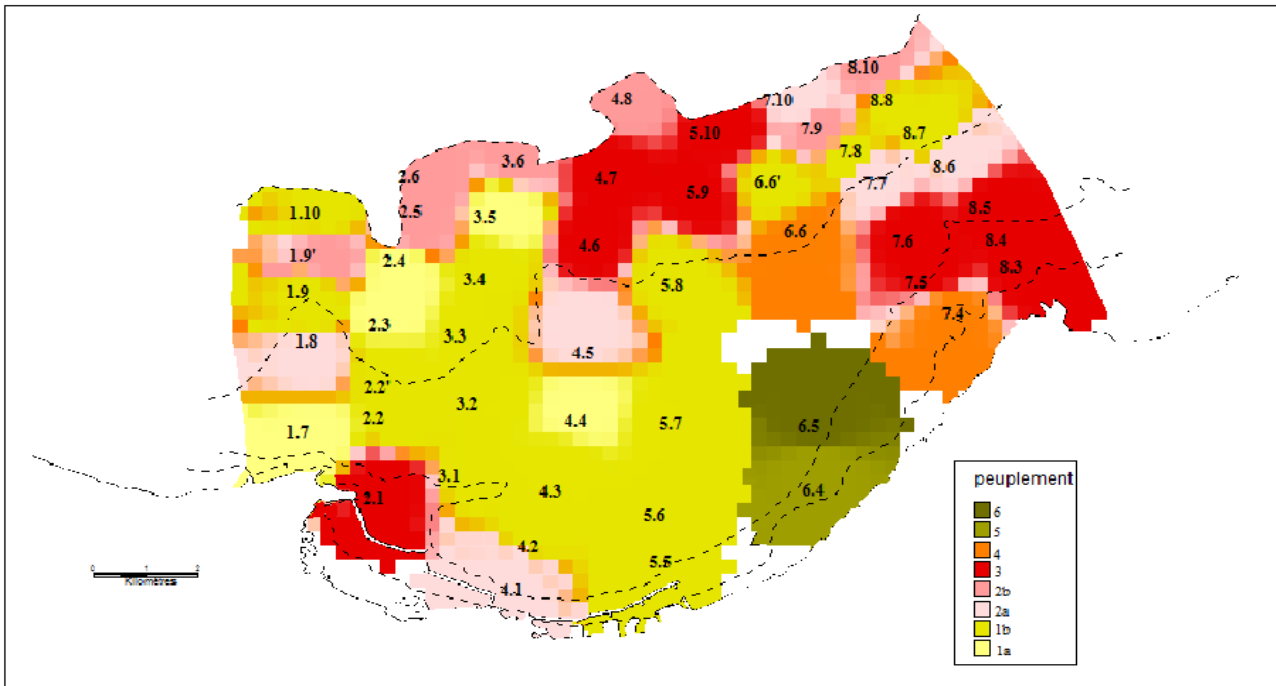


Figure 5.11. : Cartographie des peuplements benthiques en golfe d'Oran

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE VI. . IMPACTS ANTHROPIQUES

6 . Impacts anthropiques

6 .1. Introduction

L'homme occupe une place de plus en plus importante dans les écosystèmes en général (Vitousek *et al.* 1997) et dans les écosystèmes aquatiques en particulier. La société humaine utilise la mer comme ressource en eau ou comme exutoire pour un grand nombre d'activités de pêche, agricoles industrielles et transport et à longterm négligé leur qualité d'écosystème. Ces activités entraînent des perturbations qui se traduisent – entre autres impacts – par des modifications des caractéristiques structurelles et fonctionnelles des communautés biologiques (Karr & Chu 2000; Baron *et al.* 2002; Strayer 2006).

Cependant on prend conscience aujourd'hui qu'un écosystème aquatique fonctionnellement intact et biologiquement complexe est susceptible de procurer des services économiquement rentables et bénéfiques à long terme à la société (Allan & Flecker 1993; Baron *et al.* 2002). Afin d'évaluer l'intégrité des écosystèmes aquatiques, leur « santé écologique » ou « river health » (Norris & Thoms 1999), les méthodes basées sur l'étude des organismes sont de plus en plus courantes (Bunn & Davies 2000). Elles s'appuient le plus souvent sur la comparaison de caractéristiques des communautés mesurées ou prédites pour des stations de référence et observés dans des stations perturbées.

Des caractéristiques structurelles et fonctionnelles des communautés d'invertébrés, sont ainsi largement utilisées en tant qu'indicateur des changements environnementaux à moyen et long terme (Hellawell 1978).

Parmi les caractéristiques structurelles la composition spécifique : associations spécifiques espèces plus ou moins sensibles et caractéristiques d'un type de milieu C'est le cas par exemple de la « reference condition approach » (RCA, (Norris & Hawkins 2000; Bailey *et al.* 2003) Parmi les caractéristiques structurelles, la richesse spécifique des invertébrés est fortement influencée par les perturbations dues à l'homme qui peuvent entraîner la disparition de taxa (Brittain & Saltveit 1989) et être à l'origine de discontinuités spatiales dans les gradients longitudinaux attendus (Ward & Stanford 1979, 1983). En 1995, Stéphane Charvet du Cemagref de Lyon à observé que la richesse spécifique des ordres de larves d'insectes, de crustacés, de mollusques, de sangsues et de planaires. sont particulièrement sensibles aux impacts humains et constituent de bons indicateurs des conditions environnementales dans les mers. Par exemple la mesure de la richesse spécifique des EPT est souvent utilisée aux Etats-Unis comme un indicateur de la qualité biologique pour une région donnée (Barbour *et al.* 1996; Lenat & Penrose 1996). Ainsi la richesse spécifique d'un nombre restreint de taxa peut être un bon descripteur de l'influence des perturbations sur les mers à condition toutefois de prendre en compte les particularités biotiques et abiotiques de la région étudiée.

La classification des invertébrés benthiques en groupes fonctionnels basés sur leurs

comportements alimentaires et la nature des proies ingérées, “Functional Feeding Groups” (FFG, Merritt & Cummins 1996) est également très prometteuse pour évaluer les modifications des communautés engendrées par les variations des conditions environnementales (Merritt *et al.* 2002). A l'échelle du réseau hydrographique le « River Continuum Concept » (RCC, Vannote *et al.* 1980) offre un schéma conceptuel de référence qui décrit les variations de la composition fonctionnelle des communautés avec leur position dans le continuum amont aval en relation avec la nature des ressources disponibles dans la mer. Ces ressources sont étroitement dépendantes de la nature du milieu. L'homme modifie considérablement la nature de la mer et les caractéristiques des communautés aquatiques (Allan 2004a, b) qui en dépendent. En ce qui concerne les mers, les modifications des sédiments des températures des salinités, ont un impact sur la diversité des communautés aquatiques (Sponseller *et al.* 2001; Palmer *et al.* 2002; Moore & Palmer 2005) et sur leur composition en groupes fonctionnels (Maridet *et al.* 1998; Merritt *et al.* 2002; Fleituch 2003).

Après avoir défini des régions regroupant le golfe d'Oran comparables par leur caractéristiques sédimentaires et abiotiques, nous nous proposons d'évaluer l'impact des activités humaines mesurées par la présence de pollution sur la diversité et la composition des communautés d'invertébrés. Ceci afin d'estimer si ces variables abiotiques peuvent être utilisées efficacement pour l'évaluation de la qualité des écosystèmes aquatiques dans le contexte économique et social actuel.

6.2. Sensibilité de la richesse spécifique à différents types de variables

Afin de tester l'impact des activités humaines sur la diversité des communautés d'invertébrés benthiques, nous avons étudié l'effet environnemental sur la richesse. Chaque station a été caractérisée par 5 variables abiotiques : la profondeur, la température du fond, la température de surface, la salinité du fond, la salinité de surface, et une variable biotique c'est la richesse de chaque station. Afin de s'affranchir des variations de la richesse spécifique dues à la position des stations dans les différentes régions géomorphologiques caractérisées précédemment, nous avons réalisé une analyse en composante principale (ACP) pour les cinq variables mesurées aux 50 stations et groupé ces stations selon leurs coordonnées sur les axes principaux. Les groupements de stations obtenus permettent de différencier 3 groupes :

le premier groupe A de stations avec de températures de fonds élevées et de richesse spécifique importante ce groupe renferme 3 stations sont les résultats de l'AFC 4 5 6 et le reste sont la plus part de groupe 3

le 2eme groupe B regroupe les stations de salinité c'est un groupe des stations de surface le 3eme groupe C sont les stations de profondeur et salinité de fond sont la plus part des stations de groupe 2

Analyse en composantes principales :

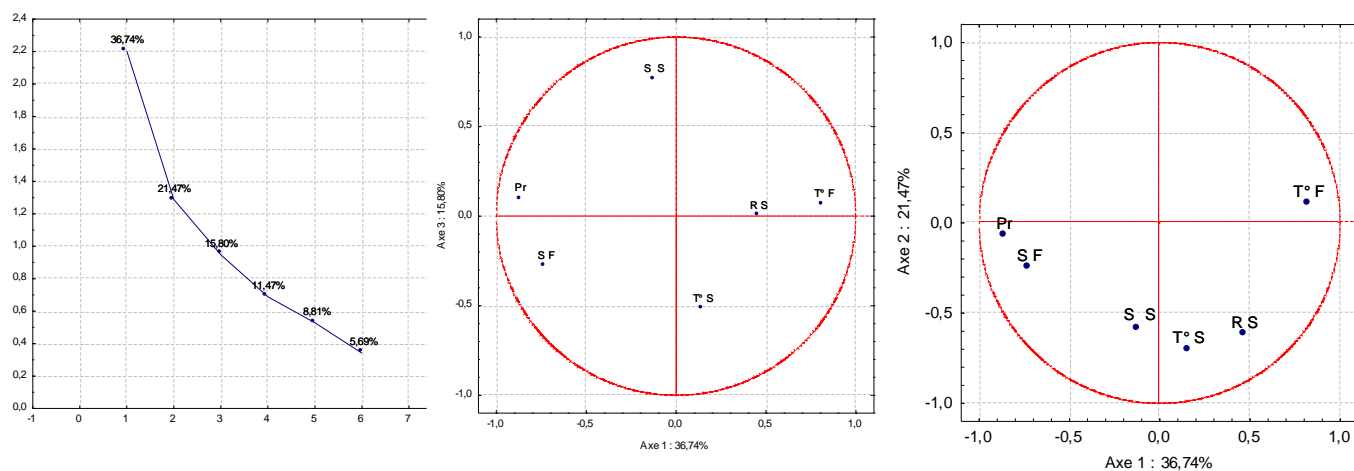


Figure :6.1diagramme de valeur propre fig :6.2 projection des variables sur le plan 1*2 1*3

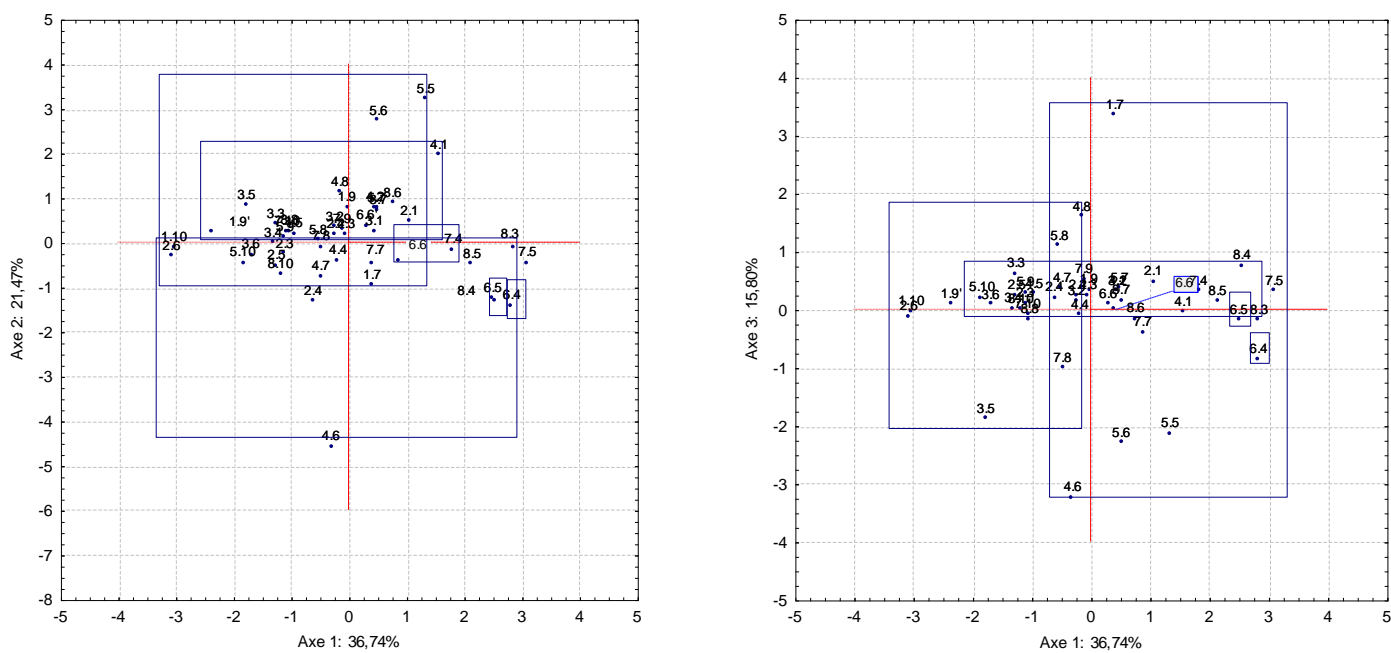


Figure:6.3 projection des individus (stations) sur le plan 1*2 1*3

Tableau 6.1 matrice de colleration

	P	T S	TF	SS	SF	R S
P	1,000000	-0,100119	-0,622120	0,150153	0,486191	-0,330602
T S	-0,100119	1,000000	0,076189	0,075680	0,063244	0,261102
TF	-0,622120	0,076189	1,000000	-0,051517	-0,434780	0,217936
SS	0,150153	0,075680	-0,051517	1,000000	0,025594	0,152653
SF	0,486191	0,063244	-0,434780	0,025594	1,000000	-0,180511
R S	-0,330602	0,261102	0,217936	0,152653	-0,180511	1,000000

Tableau 6.2 qualité de représentation

	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	2,210819	36,84698	2,210819	36,8470
2	1,278369	21,30614	3,489187	58,1531
3	0,948625	15,81041	4,437812	73,9635
4	0,665639	11,09399	5,103451	85,0575
5	0,554623	9,24371	5,658074	94,3012
6	0,341926	5,69876	6,000000	100,0000

Tableau 6.3 projection des variables aux facteurs

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
P	-0,865440	-0,119822	0,092271	0,001751	-0,152875	-0,452514
T S	0,192270	-0,687640	-0,552076	0,374568	-0,212322	-0,003780
TF	0,807000	0,128848	0,029554	0,282584	0,382108	-0,324678
SS	-0,079223	-0,615308	0,732580	0,244694	0,089603	0,102679
SF	-0,706187	-0,248429	-0,312689	-0,058431	0,575697	0,083477
R S	0,518305	-0,578136	-0,001211	-0,618217	0,026637	-0,119229

Tableau 6.4 la contribution des variables

0,338782	0,011231	0,008975	0,000005	0,042138	0,598869
0,016721	0,369884	0,321295	0,210776	0,081282	0,000042
0,294574	0,012987	0,000921	0,119965	0,263254	0,308300
0,002839	0,296162	0,565738	0,089951	0,014476	0,030834
0,225572	0,048278	0,103070	0,005129	0,597571	0,020380
0,121512	0,261459	0,000002	0,574174	0,001279	0,041575

Nous utilisons pour cela le tableau 6.2. Le critère de Kaiser nous conduit à sélectionner un seul axe, qui retient 36,84698 % de l'inertie totale. L'axe 2 retient tout de même 21,30614 % de l'inertie, L'axe 3 retient tout de 15,81041, ce qui n'est pas négligeable, et qui conduit à un taux d'inertie expliquée de 73,96 %, ce qui est un bon résultat. Il peut être donc intéressant de l'étudier aussi. Nous le retiendrons si nous pouvons l'interpréter

Axe 1

utilise le tableau 6.3 : on compare les valeurs de la colonne Prin1, coordonnées du premier axe factoriel, à la racine de la contribution moyenne $1/\sqrt{6}=40\%$, le signe donnant le sens de contribution. On obtient :

-	+
Pr SF	TF

L'axe 1 oppose les individus du fonds et de salinité à ceux qui préfèrent la température

L'axe 1, et donc la première composante principale, mesure la répartition profondeur et température. Toutes ces variables sont bien représentées sur l'axe (tableau 6.4)

Individus : De même, les individus contribuant le plus à la formation de l'axe 1 sont ceux dont les coordonnées sur cet axe sont les plus élevées en valeur absolue. Pour repérer les contributions significatives, on utilise le tableau 5 : on compare les valeurs de la colonne Prin1, coordonnées des individus, à la racine carrée de la première valeur propre $\sqrt{2,21}=1,48$, le signe donnant le sens de contribution. On obtient :

-	+
1.9' 1.10 2.6 3.5 3.6 5.10	6.4 6.5 7.4 7.5 7.6 8.3 8.4 8.5

Le premier axe met donc en opposition les stations de l'est et l'ouest

Axe 2 :

-	+
TS SS RS	

L'axe 2 est défini par les variables TS et SS. la deuxième composante principale peut être considérée comme essentiellement liée à les paramètres du surface.

Les variables, à l'exception de TS SS et de RS (dans une moindre mesure) sont assez mal représentées sur l'axe (tableau 6.4). La deuxième composante principale n'explique donc qu'un aspect très particulier.

Individus : Pour repérer les individus ayant une contribution significative, on utilise le tableau 6.3 : on compare les valeurs de la colonne Prin2, coordonnées des individus sur l'axe 2, à la racine de la deuxième valeur propre $\sqrt{1,278}=1,13$, le signe donnant le sens de contribution. On obtient :

-	+
1.7 2.4 4.6 6.4 6.5 8.4	4.1 5.5 5.6

Axe 3 :

-	+
TS	SS

L'axe 3 est défini par les variables TS et SS. la deuxième composante principale peut être considérée comme essentiellement liée à les paramètres du surface.

Les variables, à l'exception de TS SS et de RS (dans une moindre mesure) sont assez mal représentées sur l'axe (tableau 6.4). La deuxième composante principale n'explique donc qu'un aspect très particulier.

Individus : Pour repérer les individus ayant une contribution significative, on utilise le tableau 6.3 : on compare les valeurs de la colonne Prin2, coordonnées des individus sur l'axe 2, à la racine de la deuxième valeur propre $\sqrt{0,94}=0,97$, le signe donnant le sens de contribution. On obtient :

-	+
7.8 5.5 5.6 4.6 3.5	5.8 4.8 1.7

Le cercle de corrélation montre que l'axe 1 est corrélé positivement à la température par contre il est corrélé négativement à la salinité du fond et profondeur. l'axe 2 est corrélé négativement à la salinité et température du surface et la richesse spécifique(figure 6.2). L'axe 3 quant à lui, est expliqué positivement à la salinité du surface et négativement à la température du surface (figure 6.3). La projection des paramètres physique et des groupes de stations dans le système d'axe 1, 2 et 3 défini par l'ACP indique que : Les ensembles 4 5 et 6 inférieur représenté par les stations 6.4 6.5 7.4 et 6.6 sont caractérisés par des valeurs élevées de température du fond .ainsi les stations 7.5 7.6 8.3 8.4 8.5 alors que les stations 1.9' 1.10 2.6 3.5 3.6 5.10 sont caractérisées par des valeurs élevées de salinité du fond et profondeur ,les stations 1.7 2.4 4.6 6.4 6.5 8.4 sont caractérisées par des valeurs élevées de salinité et température du surface et la richesse spécifique, les 7.8 5.5 5.6 4.6 3.5 caractérisées par des températures du surface et les stations 5.8 4.8 1.7 par les salinités du surface.(fig .6.3)

CONCLUSION

Conclusion :

Cette étude propose un état des lieux du système benthique du golf d'Oran sous l'angle structurel et fonctionnel. Elle a tout d'abord permis d'acquérir une base de données implantée sur un Système d'Informations Géographiques. Celle-ci contient à la fois les informations relatives au milieu (fractions granulométriques du sédiment, profondeur, température et salinité) et les données qualitatives (liste d'espèces) et quantitatives (abondances, biomasses, densité d'espèces) concernant la macrofaune benthique associée. Cette base de données biosédimentaires représente un état de référence actualisé de la macrofaune benthique. Cet outil pourra être utilisé pour répondre aux demandes d'informations concernant la qualité actuelle du milieu et servir de base pour la réalisation d'études d'impact en réponse à une demande dans la tendance actuelle en écologie aquatique qui vise à utiliser les biocénoses comme des indicateurs de la qualité des eaux.

Cette étude fournit également une description qualitative et quantitative ainsi qu'une localisation des principales unités de peuplements benthiques en fonction des principaux facteurs environnementaux. Elle constitue de ce fait un élément de repère et de réflexion dans le cadre du projet de surveillance benthique (REBENT) ou dans celui d'un suivi de la dynamique temporelle du benthos.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques :

Allan 2004a, J.(2004a). Landscapes and rivers capes: the influence of land use on stream ecosystems Annual Review of Ecology ,*Evolution and Systematics* 35(1):257-84.

Allan J.D. & Flecker A.S. (1993). Biodiversity Conservation in Running Waters. *Bioscience*, 43, 32-43.

Allen T.F.H. & Starr T.B. (eds.) (1982). Hierarchy : Perspectives for Ecological Complexity. *University of Chicago Press, Chicago*.

Aronoff, S. (1989). Geographic Information Systems: A Management Perspective. *WDL pub., Ottawa. 294 pp.*

Avison D.E., Myers M.D., La recherche qualitative en systèmes d'information in Faire de la recherche en systèmes d'information, (Eds, Rowe F. et coll.), *Paris : Vuibert, 2002, pages 57-66.*

Avison D.E., Myers M.D., La recherche qualitative en systèmes d'information in Faire de la recherche en systèmes d'information, (Eds, Rowe F. et coll.), *Paris : Vuibert, 2002, pages 57-66.*

Bailey R.C., Norris R.H. & Reynoldson T.B. (2003). Bioassessment of freshwater ecosystems using the reference condition approach. *Kluwer Academic Publishers, New York*.

Barbault R. (1992). Ecologie des peuplements. Structure, dynamique et évolution. *Masson, Paris*.

Barbour M.T., Gerritsen J., Griffith G.E., Frydenborg R., McCarron E., White J.S. & Bastian M.L. (1996). A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 15, 185-211.

Baron J.S., Poff N.L., Angermeier P.L., Dahm C.N., Gleick P.H., Hairston N.G., Jackson R.B., Johnston C.A., Richter B.D. & Steinman A.D. (2002). Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications*, 12, 1247-1260.

BARON-YELLÈS, N., GOELDNER-GIANELLA, L. et VELUT, S., dir. (2002). *Le littoral. Regards, pratiques et savoirs. Paris, Éditions Ens, Rue d'Ulm, 376 p. (ISBN 2-7288-0276-9).*

Belbachir, N. 2012. Contribution à l'étude écologique de l'herbier à *Posidoniaoceanica* (L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem: Etat de santé et relation entre plante et échinoderme. *Mémoire de Magister en Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Mostaganem , Algérie.*

Bentir, M., 1996. L'épuration des eaux usées urbaines en Algérie : Etat actuel et perspectives. *Edil. Inf. Eau, trimestre N°11 : 4-6.*

Benzécri J.P. (1973). L'analyse des données. T.I : la taxonomie. T.II : l'Analyse des correspondances. *Dunod, Paris*.

- Benzohra, M & Millot, C., 1995-** Characteristics and circulation of the surface and intermediate water masses off Algeria. *Deep-Sea Res.*, 42(10), 1803-1830.
- Benzohra, M., 1993-** Les structures hydrodynamiques le long des côtes algériennes. Dans : Circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes des pays du Maghreb. *Rabat, 1992.*
- Beukema J.-J., Cadée G.C. & Dekker R., (2002).** Zoobenthic biomass limited by phytoplankton abundance: evidence from parallel changes in two long-term data series in the Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, 48: 111-125.
- Beukema J.-J., Essink K. & Dekker R.,(2000).** Long-term observations on the dynamics of three species of polychaetes living on tidal flats of the Wadden Sea: the role of weather and predator-prey interactions. *Journal of Animal Ecology*, 69: 31-44.
- Blayo F. & Demartines P. (1991).** Data analysis: how to compare Kohonen neural networks to other techniques ? In: IWANN'91 Int. *Workshop on Artificial Neural Networks (ed. Prieto A).* Springer Verlag Granada, Spain, pp. 469-476.
- Bodin N., 2005.** Contamination des crustacés décapodes par les composés organohalogénés. Etude détaillée de la bioaccumulation des PCB chez l'araignée de mer *Maja brachydactyle*. *Thèse de doctorat à l'université de Bretagne occidentale France.* p. 148.
- Boström C., Bonsdorff E., Kangas P. & Norkko A., (2002).** Long-term changes of a brackishwater eelgrass (*Zostera marina* L.) community indicate effects of coastal eutrophication. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55: 795-804.
- Bouderbala, M., 1997.** Etat de la pollution marine par les métaux lourds et son impact sur les Cétacés dans le bassin algérien. *Thèse de Magister, ISN, Université d'Oran : 147p.*
- Boutiba ;Z. ;** place de pays de Maghreb dans la protection de la méditerrané laboratoire réseau de la biosurveillance , *université Oran Es-sénia le Quotidien d'Oran Algeria ;pp.24*
- Boutiba, Z., 1992-** Les mammifères marins d'Algérie. Statut, Répartition, Biologie et Ecologie. *Thèse de Doctorat. Université d'Oran, Algérie, 575 p.*
- Boutiba, Z., Taleb, M. Z., Bouderbala, M. & Abdelghani, F., 1996.** La pollution : Menace sur le peuplement marine en Méditerranée. 3ème colloque national Climat- Environnement : «l'environnement côtier », *ARCE, Complexe des andalouses, Oran, 16-17 décembre 1996 : 15p.*
- Boutiba, Z., Taleb, M.Z, et Abi-Ayed, S.M., 2003 -** Etat de la pollution marine de la côte oranaise. *Edition: Dar El-Gharb. Oran. 69p.*
- Brittain J.E. & Saltveit S.J. (1989).** A review of the effect of river regulation on Mayflies Ephemeroptera. *Regulated Rivers Res. Manage.*, 3, 191-204.
- Bryden, H. L., J. Candela, and T. H. Kinder (1994),** Exchange through the Strait of Gibraltar, *Prog. Oceanogr.*, 33, 201 – 248

- Bunn S.E. & Davies P.M. (2000).** Biological processes in running waters and their implications for the assessment of ecological integrity. *Hydrobiologia*, 422, 61-70.
- Burrough, P.A. and McDonnell, R.A. (2000).** Principles of Geographical Information Systems; Spatial Information Systems and Geostatistics. *Oxford University Press, Oxford*, 333 p.
- CABANE F., 2007-** Documentation sur l'Environnement et de l'Aménagement du Littoral: Lexique d'écologie, d'environnement et d'aménagement du littoral, Version 13, Ed. *IFREMER environnement, France*, 283 p.
- Caloz R., (1992)** . Télédétection satellitaire", cours système d'information géographique I et II, *Institut d'aménagement des terre et des eaux, EPFL*.
- Cartet I.R.(1989).**On defining the geographic information system", *Fundamentals of Geographical Information Systems: A Compendium. ASPRS/ACSM, Falls Church, 1989, pp 3-7.*
- Cayrou J., Compin A., Giani N. & Cereghino R. (2000).** Species associations in lotic macroinvertebrates and their use for river typology. Example of the Adour-Garonne drainage basin (France). *Ann Limnol-Int J Lim*, 36, 189-202.
- Cereghino R. & Compin A. (2001).** Biodiversité des communautés d'invertébrés benthiques du réseau hydrographique Adour - Garonne. Phase II. Convention n°990. *Rapport final In. CESAC - Agence de l'Eau Adour Garonne, p. 54.*
- Chauvaud L., Jean F., Ragueneau O. & Thouzeau G., (2000).** Long-term variation of the Bay of Brest ecosystem: benthic-pelagic coupling revisited. *Marine Ecology Progress Series*, 200: 35-48.
- Chevalier-Luszla C.,** Ethnologie et recherche comptable in *Encyclopédie de Comptabilité Contrôle de Gestion et Audit, Paris : Economica, article 50, 2000, pages 677-686.*
- Clarke K.R.C. & Warwick R.M.,(1994).** Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. *Natural Environment Research Council, UK.*
- Codd E.F. (1970).** A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. *Communications of the ACM*, 13, 377-387.
- Collet ,(1992).** Geographic information systems (GIS) and remote sensing in aquatic botany: *methodological aspects Volume 58, Issues 3-4, October 1997, Pages 209-228*
- Compin A., Park Y.S., Lek S. & Céréghino R. (2005).** Species spatial distribution and richness of stream insects in south-western France using artificial neural networks with potential use for biosurveillance. In: *Modelling Community Structure in Freshwater Ecosystems* (eds. Lek S, Scardi M, Verdonschot PFM, Descy JP & Park YS). *Springer-Verlag Berlin, Germany, pp. 221-238.*

- Cummins K.W., Minshall G.W., Sedell J.R., Cushing C.E. & Petersen R.C. (1984).** Stream ecosystem theory. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22, 1818-1827.
- D evernal A.**, Paléontologie, note des cours préparées en collaboration de Julie Leduc UQAM 2000 .DESPOIS, J. & R. RAYNAL -1972- Géo- graphie de l'Afrique du Nord-Ouest. 2e edit. Payot, Paris. 570 p.
- Dauvin J.-C., (1993).** Le benthos : témoin des variations de l'environnement. *Océanis*, 19: 25- 53.
- Dauvin J.-C., (2000).** The muddy fine sand *Abra alba*-*Melinna palmata* community of the Bay of Morlaix twenty years after the Amoco Cadiz oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 528-536.
- Demorais, L., 2004-** Spatio-temporal variability of fish assemblages in the Gambia Estuary (West Africa) observed by two vertical hydroacoustic methods: moored and mobile sampling. *Aqu. Liv. Res.*, 17: 47-55.
- Diaz del rio, V., 1991-** El margen Continental Bético-Mediterráneo. Extremo Bético oriental: Cuenca de Murcia-Escarpe de Mazarrón. Publ. Espec. *Inst. Esp. Oceanogr.*, n° 6
- Dolédec, S. & Chessel, D., 1989.** Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. II. Prise en compte et élimination d'effets dans un tableau faunistique. *Acta Oecologica Oecologica Generalis* 10: 207-232.
- Fedra, K. (1993)** .Software Tools for Environmental Planning and Management. In: Managing the Mediterranean - Information for Decision Making. *Proceedings of the Joint ESF-CEC Workshop. 18-20 November, 1993. Venice, Italy. pp. 139-142.*
- Feminella J.W. & Resh V.H. (1990).** Hydrologic Influences, Disturbance, and Intraspecific Competition in a Stream Caddisfly Population. *Ecology*, 71, 2083-2094.
- Ferréol M., Dohet A., Cauchie H.-M. & Hoffmann L. (2005).** A Top-down Approach for the Development of a Stream Typology Based on Abiotic Variables. *Hydrobiologia*, 551, 193-208
- Fleituch T. (2003).** Structure and functional organization of benthic invertebrates in a regulated stream. *International Review of Hydrobiology*, 88, 332-344.
- Frissell C.A., Liss W.J., Warren C.E. & Hurley M.D. (1986).** A hierarchical framework for stream habitat classification: *Viewing streams in a watershed context Environmental Management*, 10, 199-214.
- Frontier, S. & Pichod-Viale, D., 1993.** «Écosystèmes, structures, fonctionnement, évolution». *Masson, Paris.*
- Frontier, S., 1973.** Etude statistique de la dispersion du zooplancton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 12: 229-262.

- Giudicelli J., Bouzidi A. & Abdelaali N.A. (2000).** Contribution to the faunistic and ecological study of the blackflies (Diptera : Simuliidae) of Morocco - IV. The blackflies of the High Atlas mountain range. Description of a new species. *Ann Limnol-Int J Lim*, 36, 57-80.
- Glémarec M., (1973).** The benthic communities of the European North Atlantic continental shelf. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 11: 263-289.
- Glémarec M.,(1997a).** Le concept d'étagement en mer à marée, In : Les biocénoses marines et littorales françaises des côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord : synthèse, menaces et perspectives, J.-C. Dauvin (ed), *Service du Patrimoine naturel / IEGB / MNHN*, 45-46.
- Glémarec, M. & Hily, C. (1981)** Perturbations apportées à la macrofaune benthique de la baie de Concarneau par les effluents urbains et portuaires. *Acta Oecologica Applicata*, 2, 139-150.
- Goodchild, M.F. and Densham, P.,(1993).** Initiative 6: Spatial decision support systems (1990-1992) (*Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis*).
- Grassle J.F. & Stocks K.I. (1999).** A Global Ocean Biogeographic Information System (OBIS) for the census of marine life. *Oceanography*, 12, 12-14.
- Gray J.S., (2000).** The measurement of marine species diversity, with an application to the benthic fauna of the Norwegian continental shelf. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250: 23-49.
- Gray , J.S. & H. Christie , (1983).** Predicting long - term changes in marine benthic communities . - Mar. Ecol . Prog . Ser . 13 : 87-94 . *Grosberg , R.K. , 1981.*
- Green D.G. & Sadedin S. (2005).** Interactions matter - complexity in landscapes and ecosystems. *Ecological Complexity*, 2, 117-130.
- Griffiths H.J., Linse K. & Crame J.A. (2003).** SOMBASE - Southern Ocean Mollusc Database: A tool for biogeographic analysis in diversity and ecology. *Organisms Diversity & Evolution*, 3, 207-213.
- GUIBOUT, P., 1987-** Atlas hydrologique de la Méditerranée. Lab. *Océanographique physique. Muséum National d'Histoire Naturelle : 150 p.*
- GUILLARD, J., ALBARET, J.J., SIMIER, M., SOW, I., RAFFRAY, J & TITO.2004.** Spatio-temporal variability of fish assemblages in the Gambia Estuary (West Africa) observed by two vertical hydroacoustic methods: moored and mobile sampling, *journal Aquatic Living Resources* 17: 47-55
- He H. & Legendre P.,(1996).** On species-area relations. *American Naturalist*, 148: 719-737.
- Heip C, Vincx M, Vranken G (1985).** The ecology of marine nematodes. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 23:399-489

Hellawell J.M. (1978). Biological surveillance of rivers. In. Water Research Center, *Stevenage Laboratory. England* p. 332.

Heywood ,(1998) .An Introduction to Geographical Information Systems by Dr Ian Heywood (1998-10-05) *Paperback – January 1, 1745*

Hily C.,(1983). Modifications de la structure écologique d'un peuplement de *Melinna palmata* (Annélide - Polychète) soumis aux effluents urbains et industriels en Rade de Brest. *Annales de l'Institut océanographique*, 59: 37-56.

Host G.E., Schuldt J., Ciborowski J.J.H., Johnson L.B., Hollenhorst T. & Richards C. (2005). Use of GIS and remotely sensed data for a priori identification of reference areas for Great Lakes coastal ecosystems. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 5325-5341.

Huet M. (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles dans les eaux courantes. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 11, 333-351.

Hughes R.M., Larsen D.P. & Omernik J.M. (1986). Regional Reference Sites - a Method for Assessing Stream Potentials. *Environmental Management*, 10, 629-635.

Hughes R.M., Rexstad E. & Bond C.E. (1987). The Relationship of Aquatic Ecoregions, River Basins and Physiographic Provinces to the Ichthyogeographic Regions of Oregon. *Copeia*, 423-432.

Hynes H.B.N. (1975). The stream and its valley. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19, 1-15.
Cummins K.W. & Klug M.J. (1979). Feeding Ecology of Stream Invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10, 147-172.

Illies J. & Botosaneanu L. (1963). Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitt. internat. Verein. Limnol.*, 12, 1-57.

James F.C. & McCulloch C.E. (1990). Multivariate Analysis in Ecology and Systematics: Panacea or Pandora's Box? *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21, 129-166.

Joerin, (1998). Décider sur le territoire: proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère. *École polytechnique fédérale de Lausanne*.

Karr J.R. & Chu E.W. (2000). Sustaining living rivers. *Hydrobiologia*, 422, 1-14.

KERFOUF A., 1997 - Etude des peuplements macrobenthiques de la baie d'Oran. *Thèse de Magistère, ISMAL (Alger)*, 174p. + Annexes (41p).

Kies, F., K. Mezali and D. Soualili. 2012. Modélisation sous R de la pêche de Mostaganem et des flux de nutriments (N, P,Si) de l'Oued Chélif (Algérie), *Editions Universitaires Européennes-EUE* , ISBN: 978-3-8381-8346-6.

Krebs, C.J., 1999. Ecological methodology. *Menio Park, Canada. Addison-Weseley Longman*.

- Lacombe H., Tchernia P., 1972.** Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée, in: *The Mediterranean Sea*, edited by Miles B.M., Huberman A.M., Analyse des données qualitatives, *De Boeck*, 2005.
- Lacombe, H & Tchernia, P., 1960-** Quelques traits généraux de l'hydrologie méditerranéenne d'après diverses campagnes hydrologiques récentes en Méditerranée dans le proche Atlantique et dans le Déroit de Gibraltar, 526-547.
- Lammert M. & Allan J.D. (1999).** ENVIRONMENTAL AUDITING: Assessing Biotic Integrity of Streams: Effects of Scale in Measuring the Influence of Land Use/Cover and Habitat Structure on Fish and Macroinvertebrates. *Environmental Management*, 23, 257-270.
- Lardicci C., Rossi F. & Castelli A., (1997).** Analysis of macrozoobenthic community structure after severe dystrophic crises in a Mediterranean coastal lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 34: 536-547.
- Lavandier P. & Decamps H. (1984).** Esturgeon. In: *Ecology of European Rivers* (ed. Whitton BA). *Blackwell London*, pp. 237-264.
- Leclaire, L., 1972-** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro- baléares (Précontinent algérien). *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat. Ed. Paris. France*, XXIV (Fas).
- Lek S. & Guegan J.F. (1999).** Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological Modelling*, 120, 65-73.
- Lenat D.R. & Penrose D.L. (1996).** History of the EPT taxa richness metric. *Bulletin of the North American Benthological Society*, 13.
- Longley P.A, Goodchild D.J. Maguire and D.W. Rhind, (1999).** Data quality – introduction. In: P.A. Longley M.F. Goodchild D.J. Maguire and D.W. Rhind, eds. *GIS*, Vol. 1. *New York: Wiley*, pp. 175-176.
- Lounaci A., Brosse S., Thomas A. & Lek S. (2000).** Abundance, diversity and community structure of macroinvertebrates in an Algerian stream: the Sebaou wadi. *Ann Limnol-Int J Lim*, 36, 123-133.
- MacArthur R.H. (1965).** Patterns of species diversity. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 40, 510-533.
- Maguire D J, Goodchild M F, Rhind D W (1991)** Geographical information systems: principles and applications. *Harlow, Longman/New York, John Wiley & Sons Inc.*
- Malmqvist B. & Otto C. (1987).** The influence of substrate stability on the composition of stream benthos: an experimental study. *Oikos*, 48, 33-38.
- Maridet L., Wasson J.G., Philippe M., Amoros C. & Naiman R.J. (1998).** Trophic structure of three streams with contrasting riparian vegetation and geomorphology. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 144, 61-85.

MAURIN, C., (1962) Etude des fonds chalutables de la méditerranée occidentale (écologie et pêche). Résultats des campagnes des navires océanographiques « président-Théodore- Tissier » 1957 à 1960 et « Thalassa » 1960 et 1961. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.* , 26, (2): 163-218 p.

Markwick P.J., Lupia R. & (2002). Palaeontological databases for palaeobiogeography ,palaeoecology and biodiversity. A question of scale. In: Palaeobiogeography and Biodiversity Change. *The Ordovician and Mesozoic-Cenozoic Radiations* (eds. Crame JA & Owen AW), pp. 169-178.

Merritt R.W. & Cummins K.W. (1996). An introduction to the aquatic insects of North America (3rd ed.). *Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, IA.*

Merritt R.W., Cummins K.W., Berg M.B., Novak J.A., Higgins M.J., Wessell K.J. & Lessard J.L. (2002). Development and application of a macroinvertebrate functional-group approach in the bioassessment of remanant river oxbows in southwest Florida. *Journal of the North American Benthological Society*, 21, 290-310.

Millot C, Taupier-Letage I (2005) Additional evidence of LIW entrainment across the Algerian Basin by mesoscale eddies and not by a permanent westward-flowing vein. *Prog Oceanogr* (in press).

Millot, C., 1985- Some features of the Algerian current. *J. Geophys. Res.*, 90 (C4): 7169-7176.

Millot, C., 1993- La circulation générale en Méditerranée occidentale. *Workshop sur la circulation des eaux et pollution des côtes Méditerranéennes du Maghreb. 9-11 novembre 1992, INOC.*, 29-30.

Millot, C., 1999- Circulation in Western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*,20:423-442.

Millot, C., 1999- Circulation in Western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*,20:423-442.

Minshall G.W., Petersen R.C. & Nimz C.F. (1985). Species richness in streams of different size from the same drainage basin. *The American Naturalist*, 125, 16-38.

Minshall, G. W., J. T. Brock & T. LaPoint, (1982). Characterization and dynamics of benthic organic matter and invertebrate functional feeding group relationships in the Upper Salmon River, Idaho (U.S.A.). *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 67: 793–820.

Miserey B., 2005. Les crustacés. Commission départementale de biologie sous-marine de L’oise. FFESSM. p 7.

Moore A.A. & Palmer M.A. (2005). Invertebrate biodiversity in agricultural and urban headwater streams: *Implications for conservation and management. Ecological Applications*, 15, 1169-1177.

Norris R.H. & Hawkins C.P. (2000). Monitoring river health. 435, 17.

Norris R.H. & Thoms M.C. (1999). What is river health? *Freshwater Biology*, 41, 197-209.

- Nyerges, A. E. (1992).** The ecology of wealth-in-people: agriculture, settlement, and society on the perpetual frontier, *American Anthropologist* 94 (4), 860–81.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P. & O'Hara, R.B., 2006.** *Community Ecology Package*, 1, 8-3.
- Omernik J.M. (1987).** Ecoregions of the conterminous United States. Map (scale 1:7,500,000). *Annals of the Association of American Geographers* 77, 118-125.
- Omori, M. & Ikeda, T., 1984.** Methods in Marine Zooplankton Ecology. *John Willey and Sons, New York*. 325 pp.
- Ozemoy, Smith, Sicherman(1981).**Evaluating computerized GIS using decision analysis. *Interfaces*, 1981, 11: 92-8.
- Pagney, P., 1994** – les climats de la terre, 2eme édition, *Masson-Colin.*, 150 p.
- Palmer M.A., Moglen G.E., Bockstael N.E., Brooks S., Pizzuto J.E., Wiegand C. & VanNess K.(2002).** The ecological consequences of changing land use for running waters: the suburban Maryland case *Yale Bulletin of Environmental Science.* , 107, 85-113.
- Pennak R.W. (1971).** Toward a classification of lotic habitats. *Hydrobiologia*, 38, 334.
- Pianka E.R. (1983).** Evolutionary Ecology. *Harper and Row, New York*.
- Pielou E.C., (1975).** Ecological diversity. *Wiley-Interscience Publication, New York*.
- Pinot A., 2003.** Les crustacés. Cours bio crustacés. p. 13.
- Poff N.L. (1997).** Landscape filters and species traits: Towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 16, 391-409.
- Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., Sparks R.E. & Strombergand J.C. (1997).** The Natural Flow Regime A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47 779-784.
- Puetro, A. & Rico M., 1997.** Edaphic variability and floristic structure on Mediterranean grassland slopes. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 11: 9-22.
- Remili,S et Kerfouf,A.(2013).** Évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral Ouest algérien)*journal Physio-Géop.* 165-182

- Rhind, D., Openshaw, S., and Green, N. (1989).** The analysis of geographical data: data rich, technology adequate, Proceedings of the IV International Working Conference on Statistical and Scientific Data Base Management, Rome, Italy, *Lecture notes in Computer Science*, 339, 425–454, Springer-Verlag
- Riedo, M., Gyalistras, D., & Fuhrer, J. (2001).** Pasture Responses to Elevated Temperature and Doubled CO₂ Concentration: Assessing the Spatial Pattern across an Alpine Landscape. *Climate Research*, 17, 19-31.
- Roland Prélaz-Droux ,(1995).** Conception d'un modèle systémique pour l'élaboration d'un système d'information à référence spatiale». *Thèse de doctorat, DGREPFL, 1995*
- Rosenberg D.M. & Resh V.H. (1993).** Introduction to Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. In: Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. (eds. Rosenberg DM & Resh VH). *Chapman & Hall London, G.B, pp. 1-9.*
- Rosenberg G. (1993).** A Database Approach to Studies of Molluscan Taxonomy, Biogeography and Diversity, with Examples from Western Atlantic Marine Gastropods. *American Malacological Bulletin*, 10, 257-266.
- Saada, M., 1997.** Présentation générale du littoral et aménagement des zones de baignade. *Séminaire, Ain Témouchent (23 – 25.02.1997).*
- Santoul F., Figuerola J., Mastrorillo S. & Cereghino R. (2005).** Patterns of rare fish and aquatic insects in a southwestern French river catchment in relation to simple physical variables. *Ecography*, 28, 307-314.
- Serradj A., (2004) .** Résumé des activités de recherches S.I.G. Lab. Image et ville. Strasbourg. 10 p.
- Smith, M. L., & Glass, G. V. (1987).** Research and evaluation in education and the social sciences. Bergen County: *Englewood Cliffs.*
- Sponseller R.A., Benfield E.F. & Valett H.M. (2001).** Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities. *Freshwater Biology*, 46, 1409-1424.
- Statzner B., Bady P., Doledec S. & Scholl F. (2005).** Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: an initial assessment of trait patterns in least impacted river reaches. *Freshwater Biology*, 50, 2136-2161.
- Strayer D.L. (2006).** Challenges for freshwater invertebrate conservation. *Journal of the North American Benthological Society*, 25, 271-287.
- Tate C.M. & Heiny J.S. (1995).** The ordination of benthic invertebrate communities in the South Plate Rive Basin in relation to environmental factors. *Freshwater Biology*, 33, 439-454.
- Taupier, L & MILLOT, C., 1988-** Surface circulation in the Algerian Basinduring 1984. *Oceanologica. Acta, n° sp., 79-85.*

- Terbeche, M., 2006.** Tendances de la contamination bactériologique et métallique chez la crevette rouge *aristeus antennatus* (Risso, 1816) exploitée dans la baie d'Oran. *Thèse de Magister. Université d'Oran, Département de Biologie, 45-50.*
- Thériault M., (1996).** Systèmes d'information géographique, concepts fondamentaux", *notes de cours n°12, Université de Laval, Québec, 1996*
- TINTHOIN, R., 1952-** L'oranais, sa géographie, son histoire, ses centres vitaux. Oran, 55 p.
- Tchernia, P., Océanographie régionale, description physique des océans et des mers, *centre d'édition et de documentation de l'ensta ed., France, 1978.*
- Tonn W.M. (1990).** Climate Change and Fish Communities: A Conceptual Framework. *Transactions of the American Fisheries Society, 119, 337-352.*
- Ugland K.I., Gray J.S. & Ellingsen K.E.,(2003).** The species-accumulation curve and estimation of species richness. *Journal of Animal Ecology, 72: 888-897.*
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. & Cushing C.E. (1980).** The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37, 130-137.*
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. & Cushing C.E. (1980).** The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37, 130-137.*
- Verneaux J. (1973).** Recherches écologiques sur le réseau hydro-graphique du Doubs - essai de biotypologie. . *In. Université de Besançon Besançon, p. 257.*
- Vinson M.R. & Hawkins C.P. (1998).** Biodiversity of stream insects: Variation at local, basin, and regional scales. *Annual Review of Entomology, 43, 271-293.*
- Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J. & Melillo J.M. (1997).** Human domination of Earth's ecosystems. *Science, 277, 494-499.*
- Voelz N.J. & McArthur J.V. (2000).** An exploration of factors influencing lotic insect species richness. *Biodiversity and Conservation, 9, 1543-1570.*
- Wacheux F.,** Méthodes qualitatives et recherche en gestion, Paris : *Economica, 1996.*
- Ward J.V. & Stanford J.A. (1979).** Ecological factors controlling stream zoobenthos with emphasis of thermal modification of regulated streams. In: The ecology of regulated streams (eds. WARD JV & STANFORD JA). *Plenum press New York, pp. 35-55.of Ecology and Systematics, 10, 147-172.*

Warwick R.M. & Clarke K.R., (1995). New "biodiversity" measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series*, 129: 301- 305. *Heip C., Herman P.M.J. & Soetaert K., 1998. Indices of diversity and evenness. Océanis*, 24:61-87.

Warwick R.M., (2001). Evidence for the effects of metal contamination on the intertidal macrobenthic assemblages of the Fal estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 42: 145-148.

Wasson J.G. (1989). Eléments pour une typologie fonctionnelle des eaux courantes: 1. revue critique de quelques approches existantes. *Bulletin écologique*, 20, 109-127.

Whittier T.R. & Hughes R.M. (1988). Correspondance between ecoregions and spatial patterns in stream ecosystems in oregon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45, 1264-1278.

Worrall, L. (1991) .Spatial Analysis and Spatial Policy Using Geographic Information System. *Belhaven Press, New York*.

Yin R.K., Case Study Research, *Sage Publications, 1994*.

Productions scientifiques

Publications et communications nationales et internationales

- Macrobenthic fauna of the coastal sea beds of Oran's Gulf (Western Algeria), Ukrainian Journal of Ecology Ukrainian Journal of Ecology, 2021, 11(4),1-4, doi: 10.15421/2021_172
- Utilisation de l'outil SIG pour l'évaluation de la biodiversité faunistique côtière du littoral ouest algérien, 6^{ème} Congrès 119^{èmes} Journées Franco-Maghrébin de Zoologie
- annuelles de la SZF Maison De La Tunisie –Paris 13-France 21-23 novembre 2018
- contribution a l'étude des impacts anthropiques sur les habitats côtiers de l'Ouest Algérien : approche SIG pour une gestion intégrée de la zone côtière (GISC), 3^{ème} workshop international sur la biodiversité et la gestion des écosystèmes exploités, ENSMAL le 27 octobre 2018
- Distribution spatiale des Crustacés macrobenthiques du golfe d'Oran , 3^{ème} Colloque «Biodiversité et Ecosystème littoraux-BEL03» les 26-28 Novembre 2013 à Oran (Algérie) une communication affichée
- L'effet antimicrobien des huiles essentielles de l'ail (*Allium sativum*) sur trois souches Bactériennes (*Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli*) et un champignon phytopathogène (*Alternaria solani*).», Colloque International Biosciences 2018 «Génie
- Enzymatique et production de métabolites», 28 et 29 Octobre 2001,
- contribution à l'étude des impacts anthropiques sur les habitats côtiers de l'ouest algérien : approche SIG pour une gestion intégrée de la zone côtière (GISC).»
- la Première Journée Scientifique des Doctorants 1^{ère} JSD 2015 16 Décembre 2015 avec une communication par affiche
- Evaluation de la biodiversité de la zone humide de la Mactaa (Algérie occidentale) 2- Journée Scientifique Nationale "Biodiversité, Protection des Milieux Naturels et Développement" 20 Décembre 2018,
- «Approximation en ACPS sur l'étude comparative de l'effet des systèmes de travail du sol et des SL. Vulturaux sur le sol et le comportement du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) en conditions semi-arides, séminaire National sur l'Agriculture Durable
- Biodiversité et gestion des zones côtières de l'ouest algérien, 2^e Journée Scientifique Nationale sur la Biodiversité, Protection des Milieux Naturels et Développement
- Distribution spatiale des macroinvertébrés des zones humides côtières (Algérie occidentale): Modélisation statistique et mise en place d'un système d'information géographique, 4^{ème} Journées scientifiques sous le thème "écosystèmes aquatiques et terrestres" Le 14 AVRIL 2016