

## *Introduction*

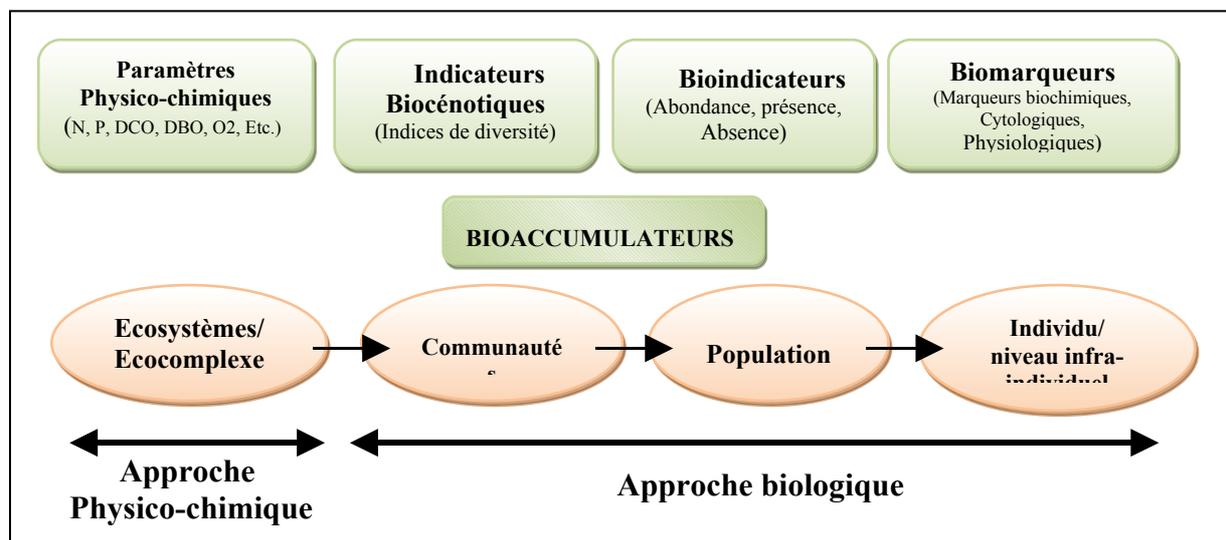
Les eaux marines recouvrent 71% de la surface de notre planète soit  $361.10^6$  Km<sup>2</sup> de mers et d'océans et représentent l'un des systèmes les plus productifs du globe qui fait l'objet d'une exploitation croissante par les activités humaines (GEORGES, LE MAHO, 2003). Aujourd'hui, près de 40% de la population mondiale réside le long des côtes, les zones côtières sont devenues un espace rare, convoité par de multiples utilisateurs souvent concurrents où les activités portuaires, industrielles, touristiques, agricoles et aquacoles se répartissent et s'enchevêtrent suscitant le développement de l'habitat ; en effet, la densité moyenne de la population des zones côtières au Km<sup>2</sup> a augmenté de 38% ces quinze dernières années (LAUBIER, 2003). Surexploitation, pollutions, destructions d'habitats, changements climatiques : les écosystèmes marins (côtiers et halieutiques) subissent d'importantes pressions anthropiques et une perte accélérée de la biodiversité pouvant avoir pour conséquence une déstabilisation de l'écosystème et une diminution des ressources vivantes. Les écosystèmes côtiers sont donc largement influencés par les activités humaines (JAMET *et al*, 2001) et constituent un véritable réceptacle de la pollution dans son ensemble (VITOUSEK *et al*, 1997).

Les polluants du milieu marin peuvent être de nature (i) physique (mécanique, thermique, etc.), (ii) chimique (hydrocarbures, métaux lourds, pesticides, etc.) ou (iii) biologique (contaminants bactériens, viraux, etc.). Leurs origines peuvent être directes (directement rejeté dans le milieu, émissaire de station d'épuration par exemple) ou indirectes (rejets atmosphériques et terrestres). La prise de conscience de l'importance de l'anthropisation des milieux côtiers est récente et c'est en fait depuis les années 70 à l'aide des connaissances scientifiques alors disponibles, que des mesures réglementaires et des moyens techniques ont été mis en place pour limiter au mieux et comprendre l'impact des activités humaines le long des côtes (GUILLAUD, 1992). Une meilleure connaissance de la pression anthropique exercée sur le milieu marin passe donc par l'élaboration d'outils d'évaluation de la qualité, permettant ainsi de suivre l'évolution et de proposer des programmes d'action, de protection ou encore de restauration. La surveillance et le suivi de la qualité des eaux littorales peuvent se faire suivant deux approches complémentaires : la détection de polluant et leurs quantifications (évaluation à court terme) ou l'évaluation des effets des polluants sur les organismes vivants (bioindicateurs), soit au niveau des individus, soit au niveau des populations et/ou des communautés (évaluation à plus long terme) (PEREZ *et al*, 2000) (Figure 1).

C'est dans cette optique que l'IOPR a développé un projet en partenariat avec WWF dont la thématique principale porte sur « la pollution chimique et ses effets sur les réseaux trophiques et les ressources vivantes » ; les objectifs principaux de ce projet étant (i) de faire un état des lieux et d'évaluer les conséquences d'apports chroniques de polluants sur les réseaux trophiques et les ressources halieutiques et (ii) d'identifier des variables discriminantes susceptibles de rendre compte des impacts de la pollution chimique sur les ressources à différents niveaux des réseaux trophiques. C'est dans ce contexte que s'intègre la présente étude qui vise à comparer la structure et les activités de différents niveaux trophiques microbiens de sites reconnus comme plus ou moins anthropisés. En effet, les perturbations environnementales dans le milieu océanique vont affecter tous les composants de l'écosystème et en premier lieu les microorganismes (essentiellement les bactéries et les microalgues). Ces derniers constituent l'essentiel de la biomasse des écosystèmes marins, assurent la production primaire marine et prennent une part majeure dans les cycles des nutriments. Leur taux de croissance élevé, leurs capacités de réponse, aussi bien à de faibles concentrations

en polluant qu'aux changements physiques, chimiques ou climatiques doivent logiquement en faire des indicateurs sensibles et significatifs pour rendre compte des changements au sein des écosystèmes (PEARL *et al*, 2002).

Ce travail a donc pour objectif (i) de comparer des données obtenues via des mesures in situ, dans des champs proches, moyens et lointains de zones anthropisées et (ii) de déterminer si les composants de réseaux trophiques bactériens et phytoplanctoniques peuvent constituer des variables discriminantes (bioindicateurs) quant à l'évaluation de l'impact anthropique sur la qualité du milieu marin.



**Figure 1** : Représentation schématique des différents types d'approches possibles pour l'évaluation de la qualité des eaux (d'après AMIARD, 1994 ; PEREZ *et al*, 2000).

# QUELQUES RESULTATS

## Évolution des activités enzymatiques

### - La phosphatase alcaline

L'activité phosphatasique est un mécanisme important pour la libération du phosphore minéral dissous ( $P-PO_4^{3-}$ ) à partir des composés organophosphorés. Cette enzyme peut être libérée dans le milieu par excrétion en réponse à un déficit en orthophosphate, ou par lyse résultant de la prédation exercée par le zooplancton sur les bactéries et le phytoplancton. Les résultats de l'activité potentielle totale de la phosphatase alcaline correspondent à l'activité de deux fractions de taille de microorganismes : 0,22-0,65 et 0,65-100  $\mu m$  correspondant respectivement à l'APA des bactéries et celle du phytoplancton. L'existence d'une forte compétition entre les bactéries et le phytoplancton pour l'utilisation du phosphore minéral a posé des interrogations quant à l'origine de l'APA ; certains auteurs attribuent la majorité de l'APA aux bactéries, et d'autres au phytoplancton (RAOUI *et al*, 2002 ; JAMET *et al*, 1997). Les activités de l'APA mesurées pour les stations des Embiez et de Toulon n'indiquent aucun gradient en fonction de la pollution (figure 6 (C, D)) ; la station la plus polluée des Embiez (POR) et celle de référence (MUR) présentent des valeurs d'activité quasiment identiques avec respectivement 0,0036 et 0,0040 mM/100ml/h. De même au niveau de Toulon, l'APA mesurée pour le site LAZ est de 0,0042 et pour le site GAR de 0,0030 mM/100ml/h. De plus, il n'existe aucune corrélation entre les résultats de l'APA et ceux des concentrations en bactéries totales ou en chlorophylle  $a$ . Le gradient de pollution ne semble pas avoir d'influence sur l'activité de la phosphatase alcaline bactérienne ou encore phytoplanctonique. Pour avoir plus d'informations, il conviendrait d'effectuer des mesures de l'APA sur des fractions de tailles de microorganismes différentes.

### - L'aminopeptidase

Les figures 6 (A et B) indiquent que les valeurs de l'AMA diminuent vers les sites de références ; elles vont de 20,97 à 7,35  $\mu g/L/h$  et de 17,15 à 8,7  $\mu g/L/h$  respectivement pour les Embiez et Toulon, des sites les plus pollués vers les moins pollués. La tendance graphique de l'évolution de l'AMA est comparable à celle des bactéries totales (figure 3 (A et B)) et à celle de la chlorophylle  $a$  (figure 5 (A et B)). Des études ont montré des corrélations significatives entre la variabilité de cette enzyme et la concentration en bactéries ainsi qu'en chlorophylle  $a$ , dans des milieux riches en matière organique (91% des variances expliquées) (MONSERRAT *et al*, 2005). Les corrélations entre l'AMA et les bactéries totales et l'AMA et la chlorophylle  $a$  ont alors été calculées (Cf. Annexe 3 & 4) : pour le site des Embiez, il y a une très bonne corrélation entre l'AMA et la chlorophylle  $a$ , et une encore meilleure avec les bactéries totales (respectivement  $R^2 = 0,79$  et  $0,83$ ). Il est alors possible de dire que le maximum d'activité trouvé au niveau des Embiez est associé (i) aux communautés bactériennes et (ii) phytoplanctoniques. En effet, CHRISTIAN & KARL (1995) ont montré que la synthèse de l'aminopeptidase est induite lors de la consommation de la matière organique par les bactéries ; les valeurs de l'AMA trouvées au niveau des sites les plus pollués s'expliqueraient donc par la dégradation bactérienne de la MO, présumée présente en plus importante quantité dans ces sites anthropisés. De plus, DONACHIE *et al* (1997) ont mis en évidence une relation significative entre l'augmentation de l'AMA et les blooms phytoplanctoniques au niveau de zone côtière de la péninsule Antarctique; la corrélation trouvée entre l'AMA et la chlorophylle  $a$  indique donc que cette activité enzymatique est également associée aux cellules du phytoplancton.

Pour les sites de Toulon, les résultats sont moins prononcés ; les tendances graphiques générales de l'évolution de l'AMA, des bactéries totales et de la chlorophylle  $a$  sont tout de même semblables ; en revanche, au niveau des corrélations calculées, seule la concentration en bactéries totales semble expliquer le maximum d'activité enzymatique ( $R^2 = 0,73$ ) ; les biomasses phytoplanctoniques n'apparaissent pas corrélées.



## **Evolution des communautés phytoplanctoniques**

Sur les prélèvements des deux sites d'études, Toulon et les Embiez (en tout neuf stations d'échantillonnage), 63 genres phytoplanctoniques qui se répartissent en 9 grands groupes ont été identifiés : Cryptophytes (2 genres trouvés), Diatomées (22), Cyanobactéries (6), Dinophytes (8), Euchlorophytes (3), Chlorophycées (15), Rhodophycées (3), Chrysophytes (1) et Euglénophytes (2).

Afin de suivre l'évolution de la structure des communautés phytoplanctoniques à la fois dans le temps, mais aussi selon un gradient théorique de pollution, les diagrammes circulaires de la figure 4 indiquent la proportion de chaque grand groupe d'algues pour les différentes stations échantillonnées. Les quatre groupes d'algues Chlorophycées, Rhodophycées, Chrysophytes, et Euglénophytes ont été regroupés en un seul et même groupe appelé « Autres » car ils apparaissent en quantité moindre par rapport aux autres groupes.

### **⇒ D'un point de vue général**

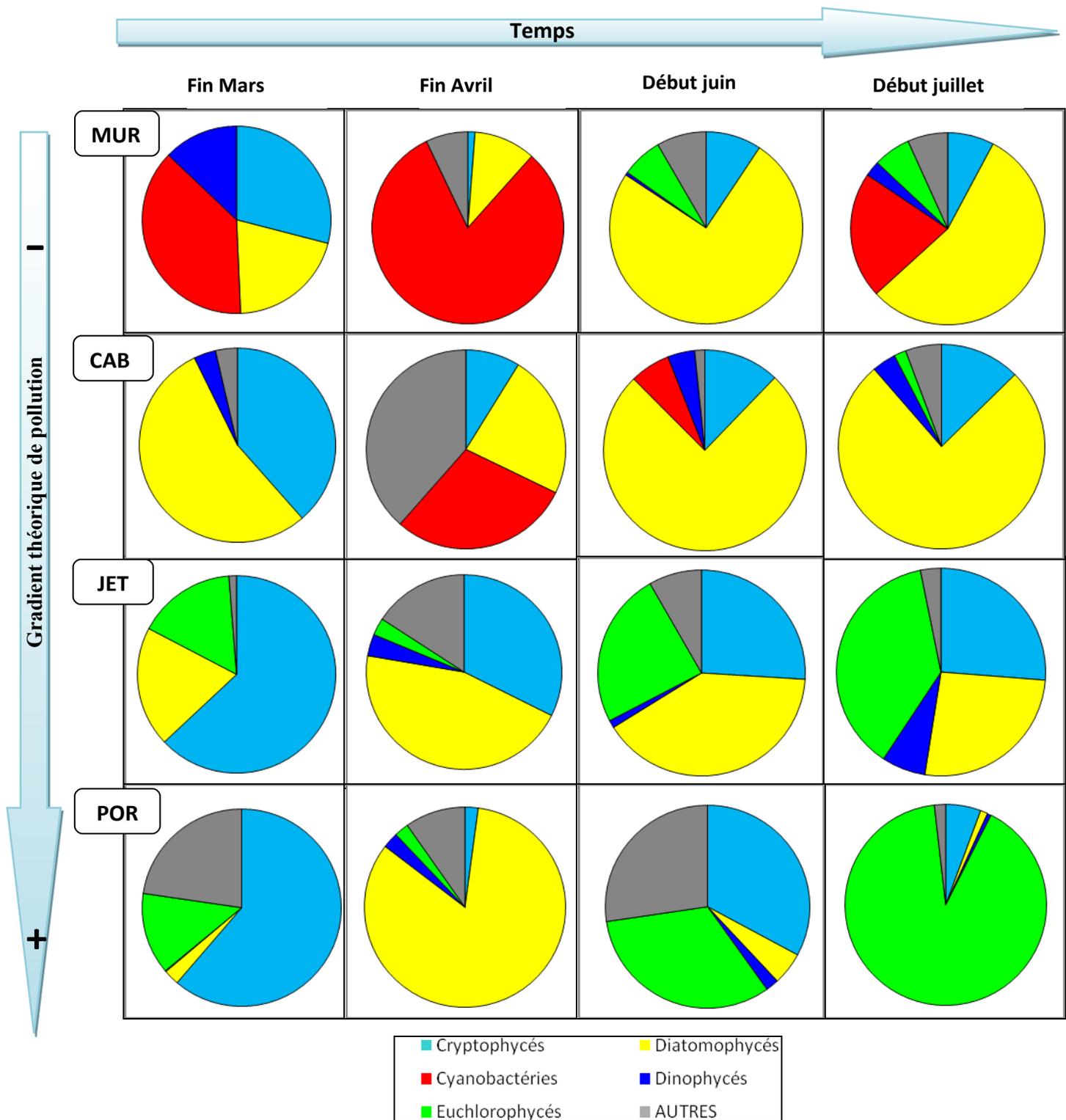
La figure 4 montre les résultats obtenus pour les stations des Embiez. On peut voir de manière générale une omniprésence, en proportion plus ou moins importante, des cryptophytes et des diatomées que ce soit dans le temps ou selon le gradient de pollution. Les Cryptophytes sont des petits flagellés du nanoplancton appelés nanoflagellés ; ils représentent l'essentiel de la biomasse lorsque les conditions du milieu sont défavorables. C'est le cas des écosystèmes côtiers en période hivernale. D'une manière générale, en système tempéré, les variations saisonnières de leur biomasse sont faibles. Quant aux diatomées, elles représentent en milieu pélagique, l'un des composants essentiels de la production nouvelle, c'est-à-dire de la production initiale de matière organique des écosystèmes ; elles sont généralement représentatives des écosystèmes eutrophes, mais lorsque les conditions du milieu deviennent défavorables (basse température, faible lumière ou carence nutritionnelle), les diatomées forment des spores qui sédimentent au fond où elles rentrent dans un processus de dormance et attendent les conditions favorables à un nouveau développement. Cette sédimentation des spores dites « de repos » est une stratégie de survie particulièrement bien adaptée aux milieux pélagiques côtiers, d'où l'omniprésence de ce groupe observée sur la figure 4.

### **⇒ Évolution dans le temps**

On peut voir sur la figure 4 que les évolutions dans le temps des communautés phytoplanctoniques entre les stations présumées polluées (JET et POR) et celles de référence (CAB et MUR) sont différentes. En effet, pour les sites de références, les cyanobactéries dominent en période hivernale ; un bloom printanier de diatomée apparaît au mois de juin. En revanche au niveau des sites anthropisés, le bloom de diatomées apparaît au mois d'avril remplaçant en grande partie les cryptophycées du mois de mars ; le premier facteur responsable du déclenchement de la floraison phytoplanctonique est l'intensité et la durée de l'éclairement solaire qui deviennent en général suffisantes pour la photosynthèse vers le mois d'avril. Ce dernier bloom a ensuite été remplacé au mois de juin par le groupe des euchlorophycées (appartenant aux nanoflagellés). [SMAYDA \(1983\)](#), indique que des concentrations élevées en nutriment modifient la composition des communautés phytoplanctoniques en faveur d'espèces plus petites et « indésirables » ; ici les euchlorophycées se sont développés après l'achèvement du premier bloom de diatomées qui coïncide souvent avec une période de dystrophie, c'est-à-dire un déséquilibre du rapport Si/N (silice/azote) au profit de l'azote présent sous forme de nitrate ; en effet, les diatomées sont caractérisées par la présence d'une paroi siliceuse (le frustule) autour de la cellule. Cette paroi est formée de silice biogénique ; les diatomées sont donc tributaires du silicium pour leur développement ; leur division cellulaire est impossible en absence de cet élément. Ayant puisé un maximum de ce composé au mois d'avril au moment des blooms printaniers, les diatomées ne peuvent plus se développer au profit des Euchlorophytes.

### ⇒ **Evolution selon le gradient de pollution**

On peut voir, sur la figure 4 que le profil général des stations les moins polluées (MUR et CAB) est semblable, avec notamment la présence de cyanobactéries. Les profils des stations présumées polluées (JET et POR) se ressemblent également ; on peut en effet voir que les groupes d'algues dominant sont les euchlorophycées et les cryptophycées, tous deux caractéristiques d'eaux eutrophes. On peut également remarquer que la proportion de diatomées est plus importante au niveau des sites de référence MUR et CAB ; en effet dans les sites anthropisés, l'apport accru de sels nutritifs et notamment d'azote entraîne un déséquilibre du rapport Si/N dans les eaux, ce qui a pour conséquence une limitation de la croissance des diatomées par le silicium, d'où leur présence moindre au niveau des stations POR et JET.



**Figure 4 :** Proportion de chaque grand groupe d’algue pour chacune des stations des Embiez en fonction du temps (de mars à juillet 2008) et d’un gradient théorique de pollution (de MUR, site de référence à POR site anthropisé).

