



## Table des matières

Page No.

### Avant-propos

<b>I.</b>	<b>Stratégie de surveillance à court terme</b>	<b>1</b>
I.1.	Typologie des sites	1
I.2.	Plan de surveillance	2
	I.2.1 Paramètres	2
	I.2.2 Fréquence de prélèvement	3
	I.2.3 Couverture spatiale	3
I.3.	Assurance qualité des données	5
<b>II.</b>	<b>Stratégie de surveillance à moyen/long terme</b>	<b>5</b>
II.1.	Paramètres pilotes	5
II.2.	Techniques complémentaires	6
II.3.	Données historiques	6
<b>Annexe :</b>	Surveillance continue de l'eutrophisation marine en Méditerranée: stratégie, paramètres et indicateurs	7

## Avant-propos

Bien que les eaux du large de la mer Méditerranée aient toujours été considérées comme oligotrophes, les données et renseignements disponibles indiquent que les phénomènes d'eutrophisation sont préoccupants pour les eaux côtières de certaines des régions de la Méditerranée. Au surplus, de nombreux pays méditerranéens ont relevé des cas d'eutrophisation dans leurs baies fermées, estuaires et autres "points chauds".

La question a été soulevée pour la première fois lors de la dernière réunion des Coordonnateurs nationaux (Venise, Italie, 28-31 mai 2001), laquelle a recommandé au Secrétariat d'élaborer un projet de programme de surveillance continue de l'eutrophisation dans les eaux côtières de la Méditerranée. Le projet (UNEP(DEC)/MED WG.196/4) a été d'abord présenté aux experts gouvernementaux lors d'une réunion chargée d'examiner les activités de surveillance MED POL – Phase III (Rome, Italie, 5-7 décembre 2001), puis il a fait l'objet d'un nouvel examen à une réunion consultative sur la stratégie MED POL de surveillance continue de l'eutrophisation (Athènes, Grèce, 20 septembre 2002). Suite à ces activités, le projet de programme de surveillance continue a donné lieu à un examen soigneux par les experts (voir l'annexe du présent document), la stratégie à court terme a été finalisée et des recommandations ont été formulées pour les phases de planification à moyen et à long terme de l'ensemble du programme. Les Coordonnateurs nationaux pour le MED POL ont été informés de la proposition de programme finalisé (voir le rapport de la réunion (UNEP(DEC)MED WG.218) et des activités d'assurance qualité des données de l'année 2003.

Le présent document vise à présenter, pour approbation, la stratégie de surveillance à court terme et les perspectives envisagées dans le moyen/long terme. L'approbation du programme conduirait le MED POL à amorcer ses activités et à engager la phase de mise en œuvre. Comme les activités d'assurance qualité des données ont déjà été lancées, le Secrétariat tient à remercier le MEL/AIEA et l'ICRAM pour leur importante contribution et coopération.

## I. Stratégie de surveillance à court terme

### I.1. Typologie des sites

Il est proposé aux pays de sélectionner trois sites: un site marin, un site d'exploitation piscicole en mer et un site lagunaire.

Pour le site marin, il est proposé

- de sélectionner un ou plusieurs "points chauds" - zones affectées - selon les critères fournis dans l'encadré 1
- d'adopter les paramètres entrant dans l'indice TRIX fournis dans le "*plan de surveillance continue*" ci-dessous
- d'adopter la couverture spatiale et la fréquence recommandées dans le "*plan de surveillance*"
- de choisir un site de référence<sup>1</sup> en adoptant le même plan de surveillance et la même stratégie de surveillance que pour la zone affectée.

Pour l'exploitation piscicole, il a été admis

- que la pisciculture est une activité en essor constant dans des pays méditerranéens et que la production de poisson est une importante source ponctuelle d'éléments nutritifs et de matières organiques, ce qui, dans des zones sensibles, pourrait avoir un impact énorme sur l'écosystème et constituer des zones potentiellement à risque d'eutrophisation;
- que chaque pays doit choisir un tel site en adoptant le même plan de surveillance que pour le site marin ("point chaud" et zone de référence, paramètres, etc.)
- que, pour mieux caractériser le site, des données sur la production de poisson doivent être collectées.

Pour la lagune, les éléments suivants sont pris en compte:

Les lagunes méditerranéennes<sup>2</sup> sont des sites importants pour la protection de la biodiversité et des nourriceries pour les espèces marines.

Pour la surveillance régulière des lagunes, une approche par étapes est proposée:

Première étape:

- établir un inventaire des lagunes nationales et choisir au moins un site considéré comme important au niveau national;

Deuxième étape:

- fournir des informations sur l'hydrologie et la morphologie générales;
- recueillir des informations sur l'utilisation du bassin lagunaire et la fréquence des phénomènes de dystrophisation;
- choisir une station représentative et mesurer la salinité sur une base saisonnière ainsi que l'oxygène dissous (cycles de 24 heures à la saison chaude);
- cartographier la répartition de la végétation submergée (herbes et algues marines) sur une base annuelle.

---

<sup>1</sup> La zone de référence doit être sélectionnée comme s'apparentant le plus (caractéristiques de l'écosystème) à la zone affectée en ayant des influences minimales d'origine anthropique.

<sup>2</sup> Les lagunes ne sont pas encore nettement définies en Méditerranée et il convient de s'employer à le faire.

Troisième étape:

- À l'issue de la première évaluation, un plan de surveillance sera adapté à l'état trophique défini après l'étape 2 (ce qui sera examiné lors d'une future réunion dans le cadre de la surveillance MED POL de l'eutrophisation).

#### Encadré 1

##### *Critères de sélection du site*

- représentatif au niveau national: en rapport avec les bassins versants auquel il s'adosse, recevant les charges fluviales, les rejets directs de déchets domestiques et industriels, les charges provenant d'activités de mariculture et/ou de sources diffuses;
- sensible aux phénomènes d'eutrophisation (baie fermée et estuaire, faible profondeur, remise en circulation limitée des eaux, etc.), afin de permettre de distinguer - autant que possible - entre les fluctuations naturelles et les pressions anthropiques;
- approprié pour évaluer les progrès généraux dans l'adoption des règles de l'UE (directive sur les nitrates, etc.), la gestion des déchets urbains, l'agriculture, etc.
- possédant les principales caractéristiques morphologiques qui devraient être bien décrites avec les facteurs d'entraînement, pressions, paramètres météorologiques et hydrodynamiques;
- pour lequel des relevés historiques sont disponibles en ce qui concerne les événements écologiques et les tendances socio-économiques de l'utilisation des sols.

## I.2 Plan de surveillance

### I.2.1 Paramètres

Les paramètres suivants ont été adoptés comme les déterminants fondamentaux du programme de surveillance continue à court terme de l'eutrophisation.

**Tableau 1. Paramètres obligatoires que chaque pays doit surveiller**

<b>Température (C°)</b>	<b>Oxygène dissous (mg/l, %<sup>#</sup>)</b>
<b>PH</b>	<b>Chlorophylle "a" (µg/l<sup>#</sup>)</b>
<b>Transparence</b>	<b>Azote total (N µmole/l)*</b>
<b>Salinité (psu)</b>	<b>Nitrate (NO<sub>3</sub>-N µmole/l, µg/l<sup>#</sup>)</b>
<b>Ortophosphates (PO<sub>4</sub>-P µmole/l, µg/l<sup>#</sup>)</b>	<b>Ammonium (NH<sub>4</sub>-N µmole/l, µg/l<sup>#</sup>)</b>
<b>Phosphore total (P µmole/l, µg/l<sup>#</sup>)</b>	<b>Nitrites (NO<sub>2</sub>-N µmole/l, µl<sup>#</sup>)</b>
<b>Silicates (SiO<sub>2</sub> µmole/l)</b>	<b>Phytoplancton (abondance totale, abondance des principaux groupes, dominance des proliférations)</b>

\* pas obligatoire, seulement recommandé compte tenu des difficultés méthodologiques

# Unités entrant dans l'indice TRIX (cf. Encadré "Trix" ci-dessous)

## I.2.2 Fréquence de prélèvement

La fréquence de prélèvement obligatoire devrait être saisonnière. Cependant, il est vivement recommandé de réaliser un prélèvement mensuel ou une stratégie de prélèvement conçue pour suivre le cycle saisonnier, autrement dit plus fréquente au cours de certaines périodes de variabilité élevée ou moins fréquente à des périodes plus stables. Les critères définis dans l'encadré 2 pourraient être considérés comme une base pour la fixation de la stratégie d'échantillonnage.

### Encadré 2

#### *Critères fixés pour la fréquence de prélèvement*

La fréquence de prélèvement optimale devrait être choisie comme un juste compromis entre une fréquence élevée permettant de répondre à la variabilité des paramètres, laquelle, dans la plupart des cas, est fonction du site, et la meilleure stratégie de programme d'échantillonnage au regard du rapport coût-efficacité. Il incombe à chaque pays d'effectuer le meilleur choix selon la variabilité des paramètres dans la zone affectée. La fréquence de prélèvement choisie par chaque pays doit tenir compte de l'objectif visant à déceler une modification de la concentration sur une période donnée (10 ans, par ex.).

## I.2.3 Couverture spatiale

Si possible, au moins quatre transects et trois stations de prélèvement à chaque transect devraient être appliqués, comme recommandé dans l'encadré 3.

### Encadré 3

#### *Critères fixés pour la couverture spatiale*

Il incombe à chaque pays de choisir les stations d'échantillonnage les plus représentatives afin de déceler des modifications sur une période donnée (10 ans, par ex.). La distribution spatiale des stations de surveillance devrait tenir compte des apports et des caractéristiques océanographiques de chaque zone. Dans la plupart des cas, il sera possible de décider seulement après échantillonnage et après analyse statistique de la masse de données de l'ensemble du plan de surveillance.

Un plan d'échantillonnage minimal peut être proposé comme suit:

1. Tracer un transect perpendiculaire à la ligne de côte de la zone affectée
2. Choisir trois stations d'échantillonnage pour chaque transect selon la typologie du fond
  - a. Pente forte (plus de 50 m de profondeur à 3000 m de la ligne de côte).
  - b. Pente moyenne (plus de 5 m à 200 m et moins de 50 m à 3000 m de la ligne de côte)
  - c. Pente faible (moins de 5 m à 200 m de la ligne de côte)
    - a) Distance à la ligne de côte = 1 à 100 m, 2 à 3000 m, 3 entre les deux premières si la distance est supérieure à 1000 m. Sinon, seulement les deux premières
    - b) Distance à ligne de côte = 1 à 200 m, 2 à 1000 m, 3 à 3000 m
    - c) Distance à la ligne de côte = 1 à 500 m, 2 à 1000 m, 3 à 3000 m.

Profils verticaux:

Il est obligatoire de prélever davantage d'échantillons pour chaque station d'échantillonnage afin d'obtenir des profils verticaux pour tous les paramètres. Le nombre d'échantillons verticaux ne doit pas être inférieur à trois (surface, profondeur moyenne, fond). Il est recommandé en particulier de collecter des profils continus pour la salinité, la température et l'oxygène au moyen d'un dispositif multisonde CTD.

*Remarque importante sur la stratégie d'échantillonnage*

Pour la bonne application de l'indice TRIX sur une base annuelle, il conviendrait de collecter au moins 48 données à la fois pour le "point chaud" et pour la zone de référence. La combinaison du tracé et de la fréquence de prélèvement doit répondre à cette condition minimale. (Ex.: si la fréquence de prélèvement est saisonnière - 4 fois par an -, la sélection de 4 transects avec 3 stations d'échantillonnage a été recommandée comme prescription minimale pour la zone affectée et la zone de référence, ce qui fournit au total un ensemble de 96 relevés pour chaque paramètre entrant dans l'indice TRIX).

Indice trophique : TRIX (Vollenweider et al., 1998)

L'indice TRIX assigne une valeur numérique (une mesure) aux niveaux trophiques des eaux côtières.

La formule finale adoptée est la suivante:

$$\text{Indice TRIX} = (\text{Log}_{10} [\text{ChA} \cdot \text{aD}\% \text{O} \cdot \text{DIN} \cdot \text{TP}]^{\tilde{k}}) \cdot m$$

où:

ChA = concentration de chlorophylle "a" en µg/l;

aD%O = écart de taux absolu d'oxygène par rapport à la saturation;

DIN = azote inorganique dissous, N-(NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>+NH<sub>4</sub>) en µg/l;

TP = phosphore total en µg/l.

k=1,5

m = 10/12 = 0,833

Les paramètres k et m sont des coefficients d'échelle nécessaires pour fixer la valeur limite inférieure de l'indice et l'étendue de l'échelle trophique correspondante, autrement dit de 0 à 10 unités TRIX.

En ce qui concerne les éléments ChA et aD%O, il convient d'observer que ces facteurs sont des indicateurs directs de productivité, en termes de quantité de biomasse de phytoplancton produite et de dynamique de cette production, respectivement. En d'autres termes, l'indice TRIX résume ce que fait le système côtier (en incluant la contribution des indicateurs directs de productivité, en tant que "productivité effective") et ce que le système côtier pourrait faire (contribution des facteurs nutritionnels en tant que "productivité potentielle"). Après log-transformation des quatre variables originelles, les distributions annuelles de TRIX sur des zones côtières homogènes sont habituellement normales et présentent une variance assez stable, avec un écart type d'environ 0,9. Pour l'interprétation des valeurs de TRIX, celles qui dépassent 6 unités TRIX sont généralement associées à des eaux côtières hautement productives où les effets de l'eutrophisation sont représentés par des épisodes fréquents d'anoxie dans les eaux du fond. Les valeurs inférieures à 4 unités TRIX sont caractéristiques d'eaux faiblement productives, et les valeurs inférieures à 2 sont généralement associées aux eaux du large.

Vollenweider, R.A., Giovanardi F., Montanari, G., Rinaldi A., 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index, *Environmetrics*, 9, 329-357.

### I.3. Assurance qualité des données

Compte tenu de la nécessité d'organiser en priorité des activités d'assurance qualité (AQ) des données et de les lancer à titre obligatoire avant d'amorcer le programme de surveillance à court terme, un programme d'AQ a déjà été organisé pour les paramètres chimiques (éléments nutritifs, essentiellement) et biologiques (chlorophylle "a" et phytoplancton) obligatoires. Au préalable, un manuel des méthodes de référence a été élaboré, détaillant notamment les phases préanalytiques et les méthodes d'analyse pour les éléments nutritifs et la chlorophylle. Un cours de formation à l'identification taxinomique du phytoplancton et du zooplancton a été prévu pour la période du 9 au 13 juin 2003. Le cours comportera aussi un exercice d'interétalonnage entre participants pour l'identification et le dénombrement des espèces, des travaux à bord et des conférences sur des sujets spécifiques.

Après le cours de formation et l'analyse de ses résultats, le Secrétariat planifiera les phases suivantes des activités d'AQ-eutrophisation pour la prochaine période biennale.

## II. Stratégie à moyen/long terme

### II.1. Paramètres pilotes

Pour une stratégie à moyen/long terme, il est proposé de réaliser des études pilotes pour l'adoption de paramètres/indicateurs nouveaux. Il est nécessaire d'introduire des paramètres biologiques tant pour la dynamique de population de phytoplancton que pour la composante benthique. Cependant, il conviendrait d'admettre que des travaux restent à mener pour identifier les paramètres corrects et que des résultats et suggestions peuvent être obtenus auprès des groupes de travail compétents de la mer Noire et de l'AEE ainsi que dans le cadre des programmes nationaux de surveillance et de recherche qui ont l'expérience de ces études dans la région méditerranéenne.

*Il a été proposé la liste suivante pour le nouveau groupe de paramètres:*

- *Oxygène dissous (OD)* - Variations quotidiennes des profils d'OD à la saison critique (avec des profils verticaux de la température en °C, de la salinité, de la chlorophylle "a" et des éléments nutritifs, si possible). Cette proposition pourrait se concrétiser grâce à l'adoption de nouvelles techniques de surveillance comme l'application de balises spécifiques.
- *Phytoplancton* – Composition en espèces et estimations de la biomasse au cours de la période printemps-automne. Pour ce groupe de paramètres, il a été longuement débattu des difficultés de mener des études taxinomiques; aussi a-t-il été proposé d'expérimenter en Méditerranée l'adoption de la technique basée sur les études de chromatographie en phase liquide à haute performance des pigments du phytoplancton qui peuvent être utilisées de manière sensible dans les travaux sur la biomasse et la taxinomie.
- *Benthos* – La composition en espèces et la dynamique de population du phyto-, méio- et macro-zoobenthos sont considérées comme des paramètres très importants pour une évaluation effective de l'état trophique d'une zone si on les combine à d'autres données environnementales (chimiques, par ex.) Il a été décidé qu'il fallait formuler une proposition fondée sur des programmes existant en Méditerranée.
- *Temps de séjour* – Modalités prédominantes des courants, dynamique des masses d'eau et estimation réaliste du temps de séjour dans les zones considérées.



## II.2. Techniques complémentaires

- *Téledétection* – Les techniques de télédétection devraient être un outil utile pour estimer la distribution de la chlorophylle, des matières en suspension et de la turbidité. Par exemple, des cartes de la répartition de la chlorophylle peuvent être obtenues de manière opérationnelle en recourant à l'intégration de la télédétection et des données in situ. En outre, la télédétection peut contribuer à l'optimisation du réseau de surveillance. À l'échelon régional, l'outil de la télédétection pourrait être utile pour identifier les nouvelles zones problématiques, en particulier s'il est associé à des images historiques antérieures. De fait, la disponibilité d'images anciennes permet cette utilisation aux fins d'investigation. Il a été vivement recommandé de lancer un ou des programmes pilotes à l'échelle sous-régionale pour tester l'intégration de la télédétection et des données in situ en vue d'élaborer des programmes de surveillance de l'eutrophication sur une base régulière.
- *Les balises-bouées automatiques* (plateformes fixes et dérivantes pour mesures en temps réel et bac FerryBox (unités d'échantillonnage et analyse à bord en continu) ont été considérées comme des instruments utiles pour la surveillance continue de paramètres de qualité de l'eau du milieu (oxygène dissous, chlorophylle "a" en fluorescence et récemment certains des éléments nutritifs). Des développements récents sur les systèmes côtiers ont permis de les utiliser amplement en diverses régions du monde pour la surveillance continue de l'eutrophication. Quelques applications ont lieu en Méditerranée et d'autres études pilotes seront bientôt opérationnelles. Mais il existe encore des limites et lacunes concernant ces techniques. Par exemple, les organismes salissants affectent la précision des capteurs et nécessitent un entretien et un étalonnage constants et onéreux. Aussi les systèmes de bouées ne peuvent-ils être utilisés que pour suivre les événements à court terme. Par contre, la précision des systèmes FerryBox est bien meilleure et durable puisque les capteurs se trouvent dans un milieu sec protégé qui permet de détecter la variabilité à court terme et interannuelle. Une application particulière des bouées a été proposée dans le cadre du programme pilote sur l'oxygène dissous.

## II.3 Données historiques

Comme l'eutrophication est un processus à long terme, les données historiques devraient permettre de reconstituer l'évolution passée du site et de contribuer à évaluer et gérer la zone selon l'approche de la GIZC. Il est proposé de collecter les données historiques et de laisser aux pays la latitude de le faire en tant qu'activité facultative pour les zones affectées.

Quelles sont les données et renseignements que l'on devrait de préférence collecter?

- toute étude scientifique de la zone considérée;
- la bibliographie et les rapports techniques, même non publiés, consacrés à tous types d'événement survenu dans le milieu marin et le bassin hydrographique.
- les informations concernant les développements socio-économiques du bassin hydrographique et les modifications de l'utilisation des sols; toutes les informations concernant les activités humaines dans la zone marine et terrestre (industrielles, agricoles, touristiques, de développement urbain, halieutiques, etc.)

Les documents devraient être classés pour permettre un accès aisé mais sans qu'une interprétation soit requise.

**ANNEXE**

**SURVEILLANCE CONTINUE DE L'EUTROPHISATION MARINE EN MÉDITERRANÉE:  
STRATÉGIE, PARAMÈTRES ET INDICATEURS**

## TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page no</u>
<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>9</b>
<b>2. RAPPEL DES FAITS ET JUSTIFICATION SCIENTIFIQUE</b>	<b>9</b>
2.1 L'eutrophisation en Méditerranée	9
2.1.1 Charges fluviales	11
2.1.2 Charges totales en éléments nutritifs	12
2.2 Indicateurs et approche DPSIR	14
2.3 Activités du PNUE en matière d'eutrophisation	16
2.4 Activités menées par les pays méditerranéens dans le domaine de l'eutrophisation	17
2.5 Approche adoptée par l'AEE concernant l'eutrophisation	18
<b>3. PROPOSITION MED POL/PNUE CONCERNANT LA SURVEILLANCE ET LA GESTION DE L'EUTROPHISATION EN MÉDITERRANÉE</b>	<b>20</b>
3.1 Stratégie de surveillance MED POL/PNUE pour l'évaluation de l'eutrophisation en Méditerranée	23
3.1.1 Stratégie à court terme	24
3.1.2 Stratégie à moyen terme	25
3.1.3 Stratégie à long terme	25
3.2 Stratégie de prélèvement	25
3.2.1 Fréquence de prélèvement	25
3.2.2 Couverture spatiale	26
<b>4. RÉFÉRENCES</b>	<b>28</b>

## 1. INTRODUCTION

Depuis les années 1980, le programme MED POL, ou composante «évaluation et maîtrise de la pollution marine» du Plan d'action pour la Méditerranée, organise et suit un programme régional de surveillance de la pollution marine de concert avec des institutions méditerranéennes. Depuis lors et jusqu'à ce jour, en dehors des autres paramètres retenus par les pays, seuls trois groupes de paramètres ont été pris étudiés à titre obligatoire, à savoir les métaux lourds dans les biotes et les sédiments, les hydrocarbures halogénés dans les biotes et les sédiments, et les paramètres microbiologiques pour les eaux de baignade.

À la dernière réunion des Coordonnateurs nationaux pour le MED POL (Venise, 28-31 mai 2001), il a été décidé que les paramètres relatifs à l'eutrophisation devraient devenir obligatoires et être inclus dans le programme de surveillance de MED POL-Phase III. En conséquence, le Secrétariat du MED POL s'est employé à définir un jeu d'indicateurs et une stratégie de surveillance de l'eutrophisation en mer Méditerranée.

Le MED POL compte proposer une stratégie de surveillance qui soit simple et dans laquelle les paramètres sélectionnés soient de préférence comparables avec d'autres qui existent déjà et sont utilisés au sein ou en dehors de la région.

Le présent rapport a pour objet de proposer un premier ensemble de paramètres et d'indicateurs ainsi que la stratégie d'échantillonnage pertinente pour la surveillance et l'évaluation du phénomène d'eutrophisation à l'échelle de la Méditerranée.

## 2. RAPPEL DES FAITS ET JUSTIFICATION SCIENTIFIQUE

### 2.1 L'eutrophisation en Méditerranée

La perception scientifique du problème de l'eutrophisation s'est modifiée au cours des vingt dernières années et les définitions fournies pour le décrire ont pareillement évolué. Les définitions qui suivent, et qui s'échelonnent de 1968 à 1999, témoignent des principaux progrès accomplis :

«L'eutrophisation, dans sa définition la plus générique s'appliquant aussi bien aux eaux douces qu'aux eaux marines, est le processus d'enrichissement des eaux par des éléments nutritifs des végétaux – en premier lieu l'azote et le phosphore - qui stimule la production primaire aquatique. Ses manifestations les plus sévères sont des proliférations anormales d'algues («eaux rouges»), de l'écume algale, l'augmentation de la croissance des algues et parfois une croissance massive de macrophytes immergés et flottants» (Vollenweider, 1968; 1981). «Parfois, ces manifestations vont de pair ou alternent avec des cycles de pullulations bactériennes ou fongiques visibles» (Aubert, 1988).

«L'eutrophisation est un processus dans lequel la biodisponibilité d'éléments nutritifs dans la masse d'eau réceptrice considérée est accrue. Elle devient une nuisance si la concentration en éléments nutritifs dépasse certaines valeurs seuils qui varient dans une large gamme en fonction de la typologie de l'écosystème. Cet état de nuisance entraîne un manque de diversité et de complexité de l'écosystème en question, comportant une perturbation (voire une disparition) du niveau de productivité secondaire. L'eutrophisation peut être associée ou s'intégrer à une pollution organique et biologique, d'une part, et peut provoquer des effets toxiques, de l'autre». (Carbenier, 1990).

«L'eutrophisation consiste en une augmentation excessive de la production primaire, généralement causée par un excédent de phosphore disponible» (Labroue *et al.* 1995).

« Eutrophisation (nom féminin - accroissement du taux d'apport de matières organiques à un écosystème.» Les sources de « matières organiques» sont à la fois autochtones et allochtones» (Scott W. Nixon, 1995).

« L'eutrophisation est une perturbation environnementale causée par un excès du taux d'apport de matières organiques (tant autochtones qu'allochtones) à un écosystème» (G.Izzo, in: EEA 1999a).

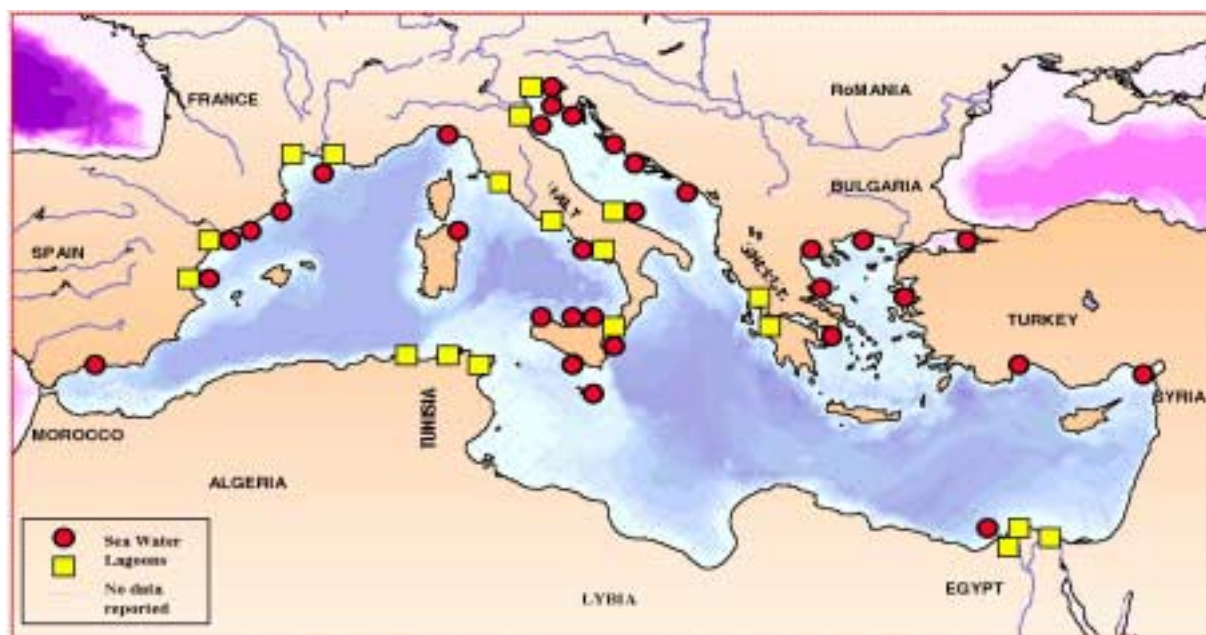
De toutes les définitions ci-dessus se dégage un consensus pour désigner les éléments nutritifs comme étant la principale cause de l'eutrophisation, bien que rares soient les auteurs à citer aussi bien les éléments nutritifs inorganiques qu'organiques (carbone organique inclus); le véritable progrès, mis à part une formulation plus concise, tient au remplacement du terme «accroissement» (d'éléments nutritifs) par celui d'«excédent». C'est là l'amélioration la plus significative car elle sous-entend implicitement l'existence d'un seuil caractéristique dans l'environnement. Ce seuil n'est pas facilement déterminé dans chaque milieu, mais pour les écosystèmes marins peu profonds, du moins, il pourrait correspondre à une "production accrue de biomasse qui excède la capacité de recyclage (formation de matière aérobie) de l'écosystème» (G.Izzo, in: EEA 1999a).

En résumé, l'eutrophisation est causée par une teneur en éléments nutritifs (azote, phosphore et carbone organique) provenant d'activités humaines qui excède la capacité de charge du milieu récepteur. Les caractéristiques morphologiques et hydrologiques d'une masse d'eau - comme la faible profondeur et/ou la remise en circulation limitée des eaux - accroissent la sensibilité aux problèmes d'eutrophisation, ce qui est typique des baies et lagunes qui sont plus à risque en raison de la proximité d'un littoral urbanisé. Néanmoins, même des bassins plus ouverts au grand large comme l'Adriatique, le golfe du Lion et le nord de l'Égée sont affectés par des épisodes d'eutrophisation. Les principales sources d'azote sont le ruissellement issu des terres agricoles et le dépôt atmosphérique. La majeure partie du phosphore émane de sources ponctuelles, d'eaux usées urbaines et industrielles brutes ou peu traitées. De même, les exploitations piscicoles en cages occasionnent fréquemment des problèmes d'eutrophisation à un niveau local.

Les eaux de surface de la haute mer en Méditerranée sont classées parmi les plus pauvres en éléments nutritifs (eaux oligotrophes) des mers et océans du monde. La morphologie, l'hydrologie et l'absence d'un «upwelling» important (remontée des eaux à la surface) dans l'ensemble du bassin méditerranéen sont considérées comme les principales caractéristiques qui maintiennent les éléments nutritifs hors du processus de recyclage biologique. Le montant de l'évaporation est supérieur à celui de l'apport de précipitations et d'eaux douces. Selon G. Manzella: "en raison du seuil de Gibraltar, la mer Méditerranée importe de la chaleur et exporte du sel» (AEE/PNUE, 1999). Le déficit en eau causé par l'évaporation est avant tout compensé par un afflux net d'eaux atlantiques par le détroit de Gibraltar d'environ  $500 \text{ km}^3/\text{an}^{-1}$ , par l'apport d'eaux de la mer Noire qui est d'environ  $160 \text{ km}^3/\text{an}^{-1}$ , par les déversements fluviaux qui sont de quelque  $260 \text{ km}^3/\text{an}^{-1}$  et par des précipitations de l'ordre de  $780 \text{ km}^3/\text{an}^{-1}$  (Mariotti *et al.*, 2001). Le temps de séjour estimatif des eaux dans le bassin proprement dit est d'environ 75 à 100 ans. Ces données, récemment mises à jour, conduisent à poser la question: y a-t-il un risque d'eutrophisation de l'ensemble de la mer Méditerranée?

L'eutrophisation dans le bassin méditerranéen apparaît pour l'heure se limiter avant tout à des zones côtières et adjacentes du large bien délimitées. Plusieurs cas, parfois graves, d'eutrophisation donnent lieu à des manifestations flagrantes, notamment dans des zones sensibles comme les baies fermées qui reçoivent par les fleuves qui s'y jettent des charges élevées en éléments nutritifs ainsi que des rejets directs de déchets industriels et domestiques non traités (AEE/PNUE, 1999; Fig. 1).

Les proliférations anormales d'algues, la réduction de la biodiversité marine et l'appauvrissement en oxygène tout comme les risques potentiels pour la santé humaine dus à l'ingestion de produits de la mer contaminés par des agents pathogènes ou des efflorescences algales toxiques sont quelques-uns des problèmes associés à l'eutrophisation en Méditerranée. Des effets secondaires (comme l'hypoxie/anoxie, les proliférations anormales d'algues) ont été signalés en plusieurs points de la mer Méditerranée, mais bien loin d'être des phénomènes étendus ils sont confinés à des aires restreintes. Le rapport «Milieu marin et littoral méditerranéen: état et pressions» (n°5 de la Série des évaluations environnementales de l'AEE, AEE/PNUE, 1999) offre pour la première fois dans un tableau d'ensemble de la région une tentative de résumé des épisodes d'eutrophisation qui y ont été constatés.



**Fig. 1 Zones de la Méditerranée où des phénomènes d'eutrophisation ont été constatés. Source: AEE/PNUE 1999**

L'Adriatique, le golfe du Lion et le nord de l'Égée sont des zones présentant des concentrations moyennes relativement plus élevées en éléments nutritifs, une production primaire et secondaire plus importante et, parfois, des proliférations algales locales plus ou moins en rapport avec des conditions d'hypoxie ou d'anoxie, voire rarement des proliférations algales toxiques (AEE/PNUE, 1999). Les rejets d'azote et de phosphore dans la mer Adriatique sont de l'ordre de 270 000 et 24 000 t, respectivement. Le nord de la mer Égée reçoit chaque année de la mer Noire 180 000 t d'azote et 11 000 t de phosphore qui sont comparables aux apports d'origine tellurique atteignant le nord-est de la mer Méditerranée (AEE/PNUE 1999).

### **2.1.1 Charges fluviales**

À quelques exceptions près, tous les réseaux hydrographiques se jetant en mer Méditerranée sont réduits. Le Rhône, l'Èbre et le Pô ont des bassins versants d'une superficie respective de 96 000, 84 000 et 69 000 km<sup>2</sup>. Les déversements d'eaux douces par les principaux fleuves se montent à environ 260 km<sup>3</sup> par an. Les afflux nets provenant de la mer Noire sont de 163 km<sup>3</sup> par an.

Outre les eaux usées urbaines (et industrielles), l'agriculture est une importante source anthropique d'éléments nutritifs pour la mer Méditerranée. Du fait de la morphologie spécifique du bassin méditerranéen, une activité agricole intense a lieu dans les étroites plaines côtières, résultant souvent de la récupération de zones humides. Les principales pressions exercées par l'agriculture sont l'érosion des sols et les excédents d'éléments nutritifs dus à un surplus d'engrais et à l'élevage.

De plus, de grands bassins fluviaux comme ceux du Nil, du Rhône et du Pô sont soumis à des pressions agricoles. Les six premières aires de drainage, selon un classement provisoire du risque d'érosion des sols et de pertes d'éléments nutritifs, se situent dans l'Italie péninsulaire, en Sicile, en Sardaigne, en Grèce, en Turquie et en Espagne (AEE/PNUE, 1999). Dans le rapport de l'AEE/PNUE (1999), une liste des 50 fleuves les plus importants se jetant en mer Méditerranée est donnée avec leur débit moyen annuel et, pour certains d'entre eux, les concentrations moyennes en nitrates, ammonium et phosphates. Les charges sont estimées à environ 304 000 tonnes/an d'azote et de 22 000 tonnes/an de phosphore.

Les niveaux d'éléments nutritifs relevés dans les fleuves de la Méditerranée sont environ quatre fois plus faibles que ceux relevés dans les fleuves d'Europe de l'Ouest, mais dans tous les cas documentés les niveaux de nitrates enregistrent une hausse spectaculaire (AEE/PNUE, 1999). Néanmoins, en fonction de la taille des fleuves et de leur situation géographique, les écarts de concentration sont énormes, soit de plus d'un ordre de grandeur pour les nitrates et davantage encore pour l'ammonium et le phosphore par comparaison avec les eaux du large (AEE/PNUE, 1999). Une communication récente a souligné la modification du rapport N/P et une diminution spectaculaire des silicates dans les eaux de la Méditerranée en raison des barrages aménagés sur le Danube et le Nil (Turley, 1999), ce qui signifie que le phytoplancton qui a besoin de silice ne trouve plus ces éléments nutritifs essentiels à sa croissance et pourrait expliquer aussi le développement anormal d'autres formes toxiques qui n'ont pas besoin de silice.

### **2.1.2 Charges totales en éléments nutritifs**

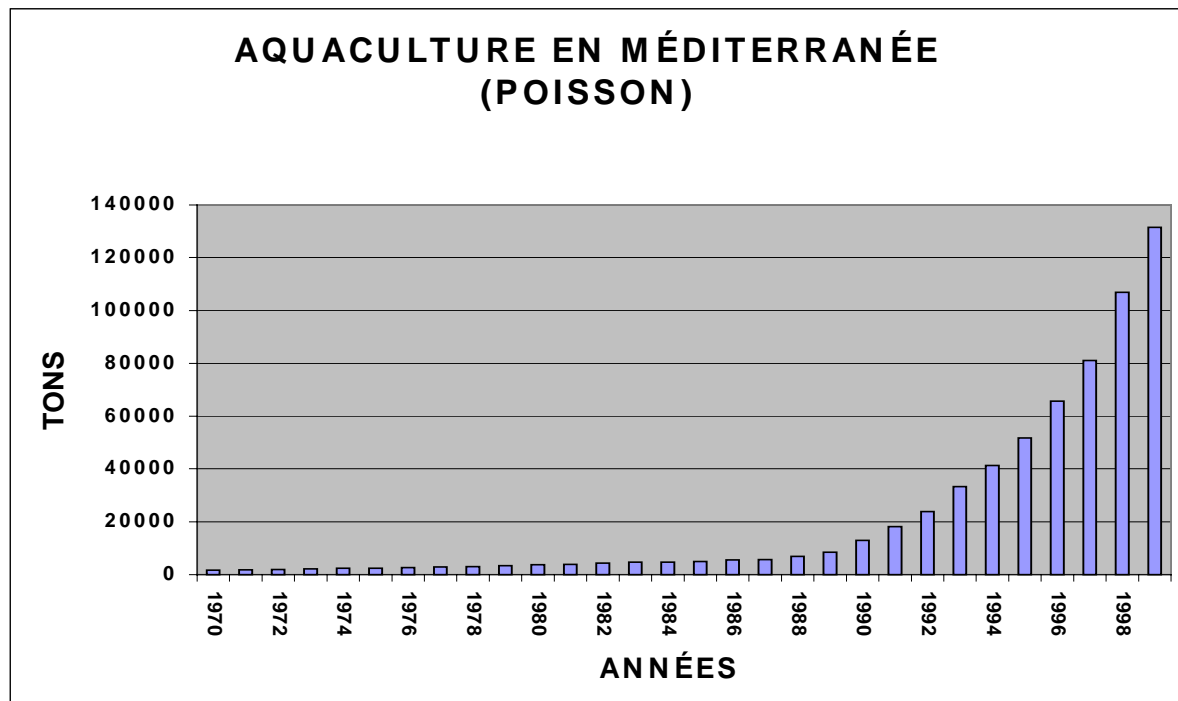
Dans le document PNUE/FAO/OMS (1996), une estimation de la charge totale est établie sur la base de la densité démographique, de l'utilisation d'engrais, de l'occupation des sols et du cheptel pour trois scénarios différents. Les calculs ont révélé que la charge totale la plus plausible d'azote d'origine tellurique se situerait entre 1, 5 et 2,5 millions de tonnes, et pour le phosphore entre 0,15 et 0,25 millions de tonnes par an. Plus récemment, dans les rapports "Identification des «points chauds» et «zones sensibles» de pollution prioritaires en Méditerranée» (PAM/PNUE, 1999) et «Milieu marin et côtier méditerranéen: état et pressions» (AEE/PNUE, 1999), de nouveaux calculs ont fait ressortir qu'il y avait eu une sous-estimation concernant le phosphore (tableau 1).

Environ 450 millions d'habitants vivent dans les États riverains de la Méditerranée, et plus de 135 millions de touristes se rendent chaque année dans les régions littorales de la région. Sur 230 villes côtières pour lesquelles on disposait d'informations, environ 45% ne possédaient pas de stations d'épuration des eaux usées, et environ la moitié du volume total d'eaux usées était rejetée sans subir de traitement. Pour les stations d'épuration existantes, seules 38% d'entre elles comportaient un traitement secondaire (PAM/PNUE, 1999). Dans le document PAM/PNUE (1999), il est procédé à un recensement des « points chauds » et «zones sensibles» de pollution prioritaires dans la région méditerranéenne, avec communication de la charge d'éléments nutritifs provenant principalement des eaux usées apportées aux diverses zones en question

**Tableau 1. Charge en éléments nutritifs apportée à la mer Méditerranée par l'agriculture et l'aquaculture en t an<sup>-1</sup>. Sources : Agriculture (AEE, 1999); mixte (domestique + industrielle) PAM/PNUE, 1999; Aquaculture: données calculées à partir de la base de données FAO en appliquant la formule utilisée par Ackefors & Enell (1990). La relation entre nourriture et biomasse est exprimée par le facteur de conversion de la nourriture (FCA=kg de nourriture/kg de biomasse vivante), pour lequel une valeur moyenne de 1.5:1 a été appliquée pour tous les pays.**

	P	N	C	DBO	DCO
Agriculture	976 000	1 570 600	1 694 1000		
Mixte	75 234	259 691		804 244	1 729 853
Aquaculture	394	8 678	38 225		

Au cours des dernières décennies, la production de la mariculture a connu un grand essor dans nombre de pays méditerranéens, soit une élévation de 1 693 tonnes métriques en 1970 à 131 493 tonnes métriques en 1999 (poisson seulement compris). Étant donné que la mariculture intensive est un secteur relativement nouveau en Méditerranée et qu'il concerne principalement les mollusques/crustacés et quelques espèces de poisson, ses impacts environnementaux sont - selon le rapport AEE/PNUE (1999) - encore assez restreints et localisés. Malgré tout, la charge d'azote provenant des exploitations piscicoles marines constitue, du moins au niveau local, une importante source d'éléments nutritifs susceptible d'occasionner des effets eutrophisants (tableau 1; fig. 2).



**Fig. 2. Tendances évolutives de l'aquaculture marine (poisson) de 1970 à 1999**  
Source: Base de données FAO



## 2.2 Indicateurs et approche DPSIR

On entend par «indicateur» un moyen concis mais efficace de présenter une information environnementale donnée sous une forme plus appropriée pour apporter l'information nécessaire à une mesure ultérieure de gestion de l'environnement. Selon l'OCDE (1993), l'indicateur se définit ainsi: «**Indicateur/paramètre ou valeur calculé(e) à partir de paramètres, qui indique, documente / décrit l'état d'un phénomène / milieu / zone et a des implications ultérieures pour l'environnement. L'indicateur n'est pas nécessairement un paramètre environnemental mais peut être l'expression d'un paramètre ou d'un groupe de paramètres environnementaux. Un bon indicateur doit répondre à un ensemble de critères**» .

Pour la prise de décision, les indicateurs environnementaux servent trois grandes fins:

1. fournir une information sur des problèmes environnementaux afin de permettre aux décideurs d'évaluer leur degré de gravité;
2. appuyer l'élaboration de politiques et la fixation de priorités en identifiant les principaux facteurs responsables de pressions sur l'environnement;
3. suivre en permanence les effets des mesures prises.

En outre, les indicateurs environnementaux offrent un moyen puissant de sensibilisation du public aux questions environnementales. Fournir des informations sur les forces agissantes, les impacts et les réponses politiques est une stratégie courante pour renforcer l'adhésion du public aux mesures prises.

Lors du choix des paramètres et des indicateurs correspondants, il convient de garder à l'esprit qu'il existe une différence entre la perspective de la recherche scientifique et celle de la recherche environnementale (fig. 3). La surveillance continue de l'environnement qui est nécessaire pour étayer la gestion d'une question environnementale est différente de celle requise pour les fins de la recherche scientifique. Néanmoins, la recherche scientifique doit servir la gestion environnementale en aidant à sélectionner les meilleurs paramètres disponibles pour les utiliser comme indicateurs.

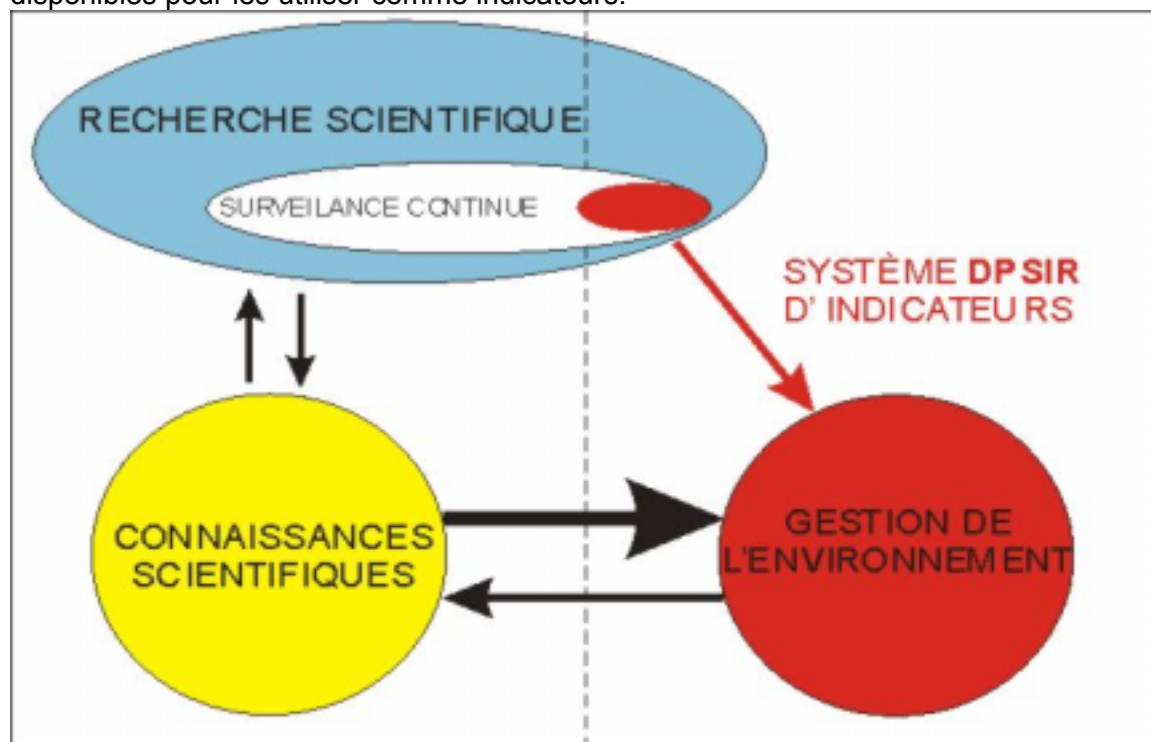


Fig. 3. La relation entre la perspective scientifique et la perspective de gestion pour la surveillance continue de l'environnement.

On appelle DPSIR une approche du système d'indicateurs qui est largement admise pour le milieu marin et littoral en vue d'obtenir: i) un système de notification des informations (une structure d'organisation et de notification des données tirées de la surveillance continue); ii) un outil de communication avec les décideurs tout comme avec le grand public (fig.4).

Le DPSIR est également un outil permettant d'améliorer la compréhension des problèmes environnementaux; - un outil d'information et d'évaluation pour l'identification des problèmes environnementaux et un outil de fixation des priorités pour les problèmes environnementaux régionaux. De nombreux cadres et jeux d'indicateurs différents ont été communiqués dans les pays industrialisés. Le système le plus soigneusement étudié est le cadre « *pressions – état – réponses*” (PER) de l'OCDE (1993). Le cadre PER et autres systèmes apparentés relient les pressions exercées par les activités humaines aux modifications de l'état du milieu et aux réponses destinées à améliorer ce dernier en réduisant les pressions. Ce cadre est choisi comme point de départ en raison de sa simplicité et de la large adhésion qu'il recueille, et en raison aussi du fait qu'il peut être appliqué à n'importe quelle échelle. Les modifications apportées au cadre PER de l'OCDE se sont traduites par des cadres alternatifs, comme le modèle PER/Effets (PER/E) de l'EPA des États-Unis (EPA, 1994), le modèle PE/Impacts/R du LTNEP (Swart *et al*, 1995) et le modèle *forces agissantes / pressions / état / impacts / réponses* (ou DPSIR, correspondant à la formule anglo-saxonne «Driving forces / Pressures / State / Impact / Responses») introduit par le RIVM en 1995 et utilisé par l'AEE (Wieringa, 1996). Le cadre adopte une approche causale et identifie l'enchaînement de cause à effet. Les indicateurs sont les attributs du cadre, ils résument les informations ou, plus concrètement, les données brutes concernant une question ou un problème donné.

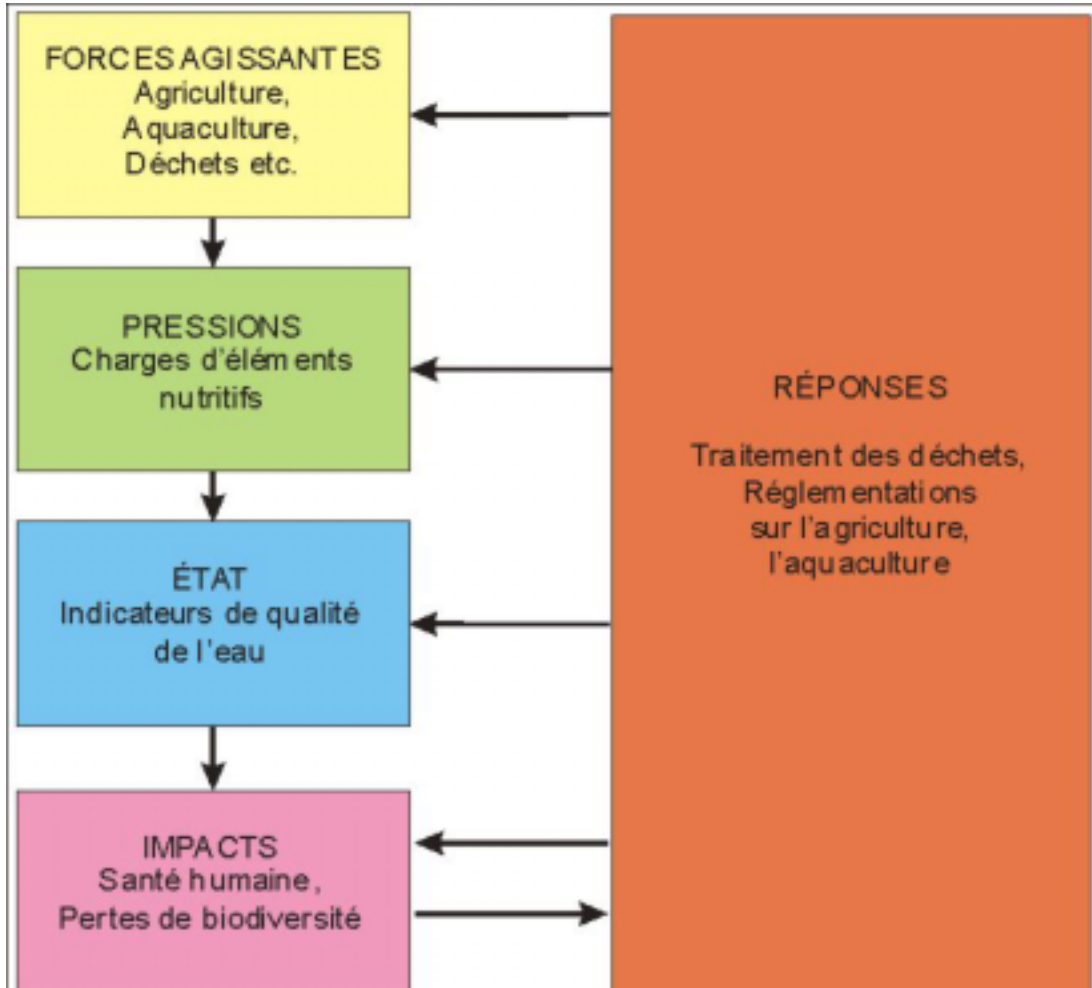


Fig. 4 Le CADRE DPSIR appliqué à l'eutrophisation

Pour sélectionner des paramètres susceptibles de servir d'indicateurs pour la zone côtière, les critères suivants sont à appliquer:

- pertinence pour la zone côtière (selon l'avis d'experts);
- pertinence pour la politique des pays méditerranéens (par ex., politique européenne);
- disponibilité de séries chronologiques adéquates et couverture spatiale satisfaisante;
- comparabilité des données;
- disponibilité de normes/valeurs de référence;
- degré d'indépendance à l'égard des fluctuations météorologiques naturelles;
- agrégation spatiale;
- pertinence avérée pour les modèles. Des modules décrivant les relations internes au sein du cadre DPSIR sont indispensables pour l'utilisation d'indicateurs dans les évaluations environnementales stratégiques.

### 2.3 Activités du PNUE en matière d'eutrophisation

Le PNUE a considéré que l'eutrophisation était une question qui intéressait directement la Méditerranée et il a publié trois documents importants sur cette question:

1. document PNUE/FAO/OMS (1996): «Évaluation de l'état de l'eutrophisation en mer Méditerranée», n° 106 de la *Série des rapports techniques du PAM*, PNUE, Athènes, 211 p;
2. rapport AEE/PNUE (1999): «Milieu marin et littoral de la Méditerranée: état et pressions», n° 5 de la *Série des évaluations environnementales de l'AEE*;
3. document PNUE/OMS (1999): «Identification des «points chauds» et «zones sensibles» de pollution prioritaires en Méditerranée», n° 124 de la *Série des rapports techniques du PAM*, PNUE, Athènes, 90 p.

Le premier rapport (PNUE/FAO/OMS, 1996) est un ouvrage volumineux et assez récent qui traite de tous les aspects de l'eutrophisation en Méditerranée et recense une série de lacunes pour l'évaluation détaillée des phénomènes au niveau régional. Le rapport recommande d'étendre et de coordonner des actions de surveillance au sein du programme MED POL en rapport avec «un inventaire géo-référencé des sources situées à terre». En outre, il souligne la nécessité d'une action scientifique axée sur les objectifs suivants:

- facteurs régissant les processus d'eutrophisation;
- structure et fonction des écosystèmes eutrophes et hydrodynamique pertinente comme base à la détermination de leurs capacités réceptrices d'eutrophisants;
- Classification des stades et degrés de l'eutrophisation sur la base de paramètres quantitatifs;
- Investigation des processus de restauration des écosystèmes perturbés par suite d'anoxie et de mortalité induites par l'eutrophisation;
- poursuite de l'élaboration des méthodes scientifiques requises, notamment pour les programmes de surveillance continue et d'évaluation écologique.

Avec cette liste, il est implicitement admis que la question de l'eutrophisation marine est grevée d'incertitudes, ce qui est également souligné dans l'identification des paramètres de la surveillance; on citera notamment cet extrait du document: «aucun outil analytique n'est à lui seul à même d'évaluer le degré d'eutrophisation dans une masse d'eau donnée»; et encore: «l'évaluation écologique de l'état et du degré d'eutrophisation nécessite une investigation de la structure et de la diversité des communautés biologiques».

Le deuxième rapport (AEE/PNUE, 1999) publié conjointement par le PNUE et l'AEE voit dans l'eutrophisation l'un des principaux problèmes préoccupants pour le littoral de la Méditerranée. La section 4.1 présente les informations les plus pertinentes qui soient disponibles sur l'eutrophisation en Méditerranée. Un effort particulier a été fait pour récapituler en un tableau synoptique les principaux effets écologiques de l'eutrophisation communiqués par divers pays. Le rapport souligne également qu'il n'est pas possible d'évaluer les phénomènes d'eutrophisation en Méditerranée sur la seule base des concentrations en éléments nutritifs.

Le troisième rapport (PNUE/OMS, 1999), bien qu'il relève des lacunes dans la collecte des données, comporte un inventaire des sources terrestres d'éléments nutritifs et des zones sensibles de la région méditerranéenne. Les données les plus pertinentes sur les pressions de l'eutrophisation sont récapitulées sur le tableau 1. Il ressort avec évidence du rapport en question que, bien que l'eutrophisation en Méditerranée soit avant tout limitée aux zones côtières, elle n'en est pas moins une question préoccupante puisqu'elle concerne des zones dont la valeur économique et naturelle est importante et qui présentent une densité démographique élevée.

## 2.4 Les activités menées par les pays méditerranéens dans le domaine de l'eutrophisation

Tous les pays méditerranéens sont affectés par l'eutrophisation, bien qu'ils le soient à un degré différent (fig.1), et des programmes nationaux de surveillance continue sont déjà en cours d'exécution. La stratégie d'échantillonnage et les paramètres adoptés ne sont pas les mêmes pour tous les pays. Il apparaît néanmoins qu'il y a une assez bonne connaissance des zones affectées. Le tableau 2 récapitule les activités de surveillance menées par les pays méditerranéens dans le cadre du MED POL.

**Tableau 2. Inventaire des données informatisées concernant les paramètres de l'eutrophisation dans la base de données MED POL**

PAYS	PÉRIODE DE PRÉLÈVEMENT	NOMBRE DE STATIONS	FRÉQUENCE DE PRÉLÈVEMENT/AN (3)	PARAMÈTRES (4)
Algérie	1989-1990	10	2-4	PBB, NUT, Chl "a"
Croatie	1992	4	3	POB, NUT
Chypre	1999-2000	28	1-2	NUT
Ex-Yougoslavie	1983-1991	27	2-4	POB, NUT
Grèce	1987-1990 1995	13 9	4 11	Chl "a", POP, NUIT, Chl "a"
Italie <sup>(1)</sup>	1987-1989 1992, 1994, 1997	126 31	4-12 12	POB, NUT, Cohl "a"
Liban	1984-1988	10	5-8	POB, NUT
Maroc	1983-1990 1993	8 8	2-4 3-4	POB, NUT NUT
Slovénie	1996-2000	15	1-12	POB, NUT, Chl "a", TRIX
Espagne <sup>(2)</sup>	1991	31	1	
Turquie	1986 1995	15 67	3 1-2	POB, NUT

(1) Davantage de données existent sur support papier

(2) Certaines données supplémentaires existent sur disquettes

(3) Les fréquences de prélèvement changent en fonction des paramètres et des stations

(4) Des paramètres tels que Chl "a" et TRIX ont été mesurés de temps à autre

## 2.5 Approche adoptée par l'AEE concernant l'eutrophisation

L'Agence européenne pour l'environnement reconnaît dans l'eutrophisation marine l'une des principales questions qui affectent les zones côtières de l'Europe et elle a consacré des efforts importants à la gestion de ce phénomène à l'échelle européenne; la présente section présente les indicateurs retenus et l'ensemble du processus suivi à cet effet.

La mission de l'AEE consiste à communiquer aux décideurs et au public, en temps voulu, des informations ciblées, pertinentes et fiables pour l'élaboration de politiques écologiquement rationnelles dans l'Union européenne et d'autres pays associés. Pour présenter ces informations scientifiques sous une forme qui réponde aux attentes des décideurs, l'AEE publie des rapports établis sur la base d'indicateurs.

Les indicateurs ont été choisis comme le meilleur moyen de présenter, selon des modalités comparables et structurées, des données concernant divers domaines environnementaux et sectoriels. C'est le cadre d'évaluation DPSIR, à savoir «*forces agissantes/pressions/état/ Impacts/réponses*», qui est suivi (Rapport technique AEE n° 25, <http://reports.eea.eu.int/TEC25/en>).

L'obligation de publier des rapports réguliers sur les indicateurs environnementaux en jeu est d'une grande importance et sera l'une des grandes tâches de l'Agence à l'avenir.

L'eutrophisation a été définie comme l'un des principaux problèmes des zones côtières de l'Europe.

En mars 1999, un questionnaire sur l'eutrophisation a été soumis aux points focaux nationaux des pays suivants: Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne\*, Finlande, France\*, Grèce\*, Irlande, Islande, Italie\*, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni et Suède (\*= pays méditerranéens). Des données ont été adressées jusqu'à la mi-août 1999 et ont été intégrées dans une base de données (MARINEBASE) qui a servi à tester les paramètres en tant qu'indicateurs.

En novembre 2000, un avant-projet de rapport «Essai d'indicateurs pour le milieu marin et côtier en Europe» a été distribué et, après que les observations eurent été reçues et prises en compte, il a été publié en juin 2001 en tant que projet final.

En juin 2001, le même groupe de travail de l'ETC/Eau a également établi un rapport intitulé «Un tronc commun potentiel d'indicateurs pour le milieu marin et littoral avec agrégation des indicateurs conformément aux prescriptions de la directive-cadre sur l'eau».

Les 14 et 15 juin 2001, un FIR (forum interrégional) «ATELIER CONJOINT AEE/CONVENTIONS MARITIMES SUR LES INDICATEURS» s'est tenu à Ispra (Italie). Le programme de travail de l'ETC sur les indicateurs et les nécessités de notification en matière de politique européenne de l'environnement y ont été examinés (Annexe 1).

À la suite de la réunion du FIR du 17 juillet 2001, l'équipe thématique de l'AEE sur l'eau a établi un document intitulé: «Vers un tronc commun d'indicateurs pour le milieu aquatique».

Tous les documents susmentionnés ont été examinés lors d'une réunion tenue à Vienne le 19 juin 2001 afin de parvenir à un accord sur un document final intitulé «Un tronc commun d'indicateurs pour le milieu aquatique» qui sera distribué à l'automne.

Le tronc commun d'indicateurs de l'AEE (état/pressions) pour l'eutrophisation marine est en cours d'identification à travers le processus suivant:

- Questionnaire ETC (mars 1999) adressé aux conventions régionales et aux CRN;
- organisation de la base de données ( MARINEBASE) sur les données transmises (automne 1999);
- essai des indicateurs inclus dans MARINEBASE et conclusions préliminaires (printemps 2000);
- proposition d'un « tronc commun potentiel d'indicateurs» (juin 2001);
- réunion FIR des 14 et 15 juin 2001;
- élaboration d'une position officielle de l'AEE sur les conditions requises pour le tronc commun d'indicateurs (prévue pour juillet 2001);
- conclusions possibles et proposition finale pour la fin de 2001.

Tout au long de ce processus, l'étude a été menée sur la base des données disponibles obtenues au moyen du questionnaire. C'est seulement dans le document AEE de juillet établi par l'équipe thématique de l'ETC/eau qu'est souligné l'hiatus entre les données disponibles et la nécessité de nouvelles données et d'outils/méthodologies d'élaboration d'indicateurs. En outre, dans le même rapport, on peut lire que «les indicateurs proposés à ce jour ont eu tendance à se concentrer sur un meilleur usage des données disponibles plutôt qu'à commencer d'abord par traiter les questions».

Par cette déclaration, la nécessité d'indicateurs nouveaux et plus efficaces pour l'évaluation de l'eutrophisation est reconnue. Cette nécessité est également formulée dans la recommandation de l'atelier-forum interrégional sur les indicateurs marins:

- dresser des cartes de l'indice du risque d'eutrophisation dans l'UE et recourir à la télédétection pour les cartes/indicateurs de chlorophylle «a»;
- tester des indicateurs du phytoplancton;
- tester des indicateurs des phytotoxines et du macrozoobenthos (2ème priorité);
- élaborer un indicateur du phytobenthos à l'échelle européenne;
- prendre en compte la procédure commune OSPAR (OSPAR, 1997) lors de l'élaboration d'indicateurs de l'eutrophisation.

Le tronc potentiel d'indicateurs identifié par le programme de travail du Centre thématique de l'AEE pour le milieu marin et littoral (ETC/MCE) pour l'évaluation de l'état d'eutrophisation d'un milieu marin est intégré dans le thème «Qualité de l'eau» au titre des tableaux 4.1 et 4.2 du rapport (Rapport technique AEE, 2001, en préparation) et est reproduit ci-dessous sur le tableau 3.

**Tableau 3. Indicateurs AEE sélectionnés pour l'évaluation de l'état de l'eutrophisation marine**

<b>Rubrique</b> <i>Indicateur</i>	<b>Thème</b> <b>indicateur</b> <b>AEE</b>	<b>Description</b> <b>générale</b>	<i>Paramètres Indicateurs</i>	<i>Observations</i>
	<b>Éléments nutritifs</b>	Concentrations des substances	<b>Concentration hivernale. NO2 +NO3, PO4, Rapport N/P,</b>  <b>Chlorophylle «a»</b>  <b>Oxygène du fond</b>  TRIX (Indice trophique)= <b>=Log(Ch*D%O*DIN*P/PO4)-(-15)/1.2</b>	Moyenne estivale de P total, N total, formes chimiques de N, P04  Pics printaniers, saisonniers  Moyenne, durée minimale annuelle des valeurs d'oxygène faibles,  Indice TRIX tient compte des informations spatiales au moyen des images SeaWifs

### **3. PROPOSITION MED POL/PNUE CONCERNANT LA SURVEILLANCE ET LA GESTION DE L'EUTROPHISATION EN MÉDITERRANÉE**

L'élaboration d'indicateurs est un processus qui se développe à l'échelle mondiale. L'Agence européenne pour l'environnement (AEE), en particulier, s'est employée très activement à sélectionner et tester un jeu préliminaire d'indicateurs pour l'évaluation de l'eutrophisation marine sur la base des données disponibles. Selon une vue couramment exprimée dans les documents de l'AEE et qui a été débattue à la réunion FIR (forum interrégional), il reste à réaliser des travaux pour identifier et tester de nouveaux indicateurs pour l'évaluation de l'eutrophisation marine. L'OSPAR élabore actuellement des indicateurs pour les variables d'état biologique qui pourront être appliquées à l'établissement d'objectifs de qualité du milieu, et l'HELCOM a commencé à élaborer de nouveaux indicateurs pour l'eutrophisation en mer Baltique.

Le MED POL/PNUE en est au début de ce processus, bien que certains pays méditerranéens aient déjà acquis une longue expérience dans l'étude des phénomènes d'eutrophisation et soient des partenaires du consortium ETC/MCE (désormais appelé ETC/Eau).

Il existe, en fait, une nécessité d'améliorer la collecte de données en organisant l'obtention directe de données grâce au développement d'activités de surveillance spécifiques.

**En conséquence, il est proposé au MED POL/PNUE d'adopter l'approche AEE et d'amorcer la mise en place d'une démarche régionale dans l'identification de nouveaux indicateurs et besoins en données concernant l'eutrophisation qui répondent à la spécificité de l'environnement méditerranéen.**

La difficulté majeure dans l'établissement d'une liste de paramètres appropriés pour la surveillance de l'eutrophisation marine consiste à définir une stratégie efficace par rapport au coût. Aucun paramètre analytique ne permet à lui seul de mesurer le degré d'eutrophisation d'une masse d'eau donnée. Il est généralement admis qu'une bonne évaluation devrait être faite sur la base de la structure et de la diversité des communautés planctoniques et benthiques. Néanmoins, une telle approche devrait être assez onéreuse. C'est pourquoi il convient de procéder à un choix judicieux des paramètres à surveiller.

Vollenweider (PNUE/FAO/OMS, 1996) propose une liste des principaux paramètres, à savoir: matières solides en suspension, pénétration de la lumière, chlorophylle, oxygène dissous, éléments nutritifs et matières organiques, qui sont à déterminer à la surface ou à diverses profondeurs.

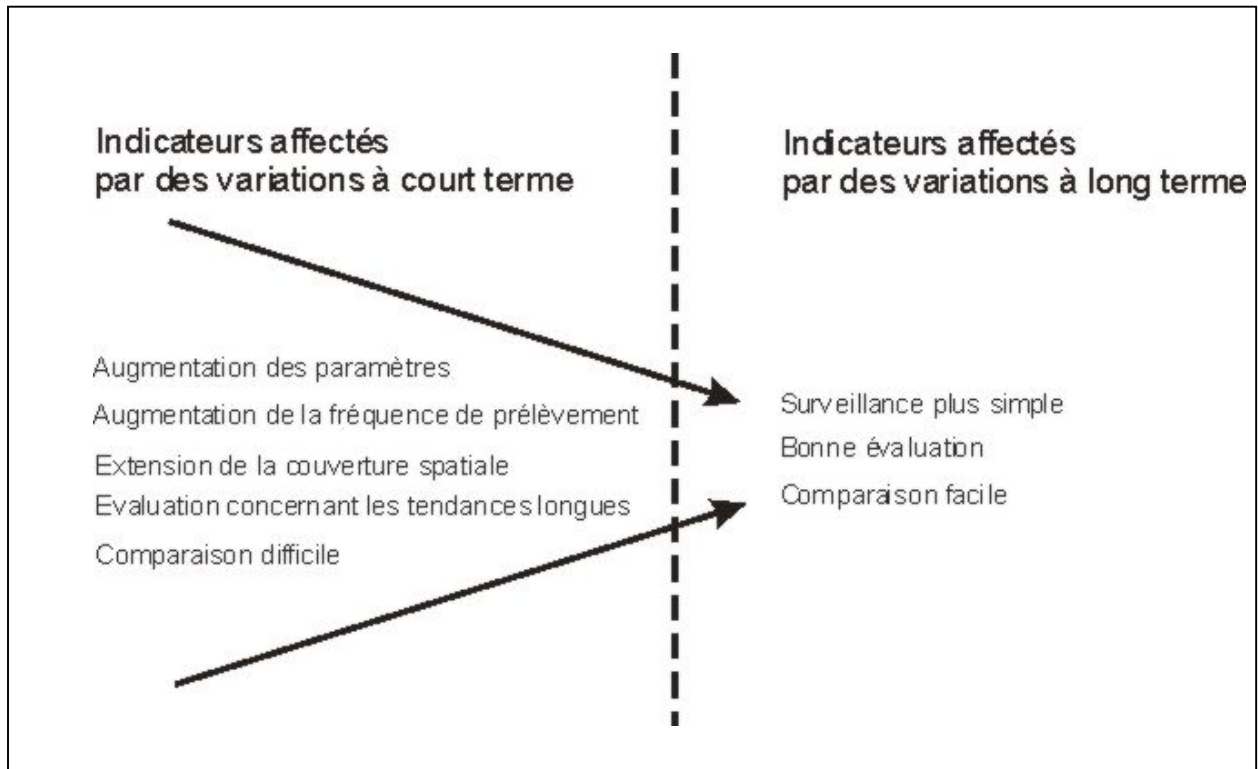
Un groupe d'experts français de l'IFREMER propose une liste de paramètres permettant de déceler un «déséquilibre de l'écosystème». L'oxygène dissous et la chlorophylle viennent en tête de cette liste; les éléments nutritifs sont également considérés comme un paramètre descriptif utile.

L'AEE, après avoir testé une base de données considérable recueillie à la CIEM a réduit la liste des paramètres obligatoires et la période d'échantillonnage, ainsi qu'il est indiqué sur le tableau 3.

Un groupe d'experts italiens travaillant pour le ministère de l'environnement propose d'adopter l'«indice TRIX» pour évaluer l'eutrophisation en Méditerranée (mesure également recommandée par l'AEE) (Vollenweider *et al.*, 1998). L'indice TRIX est une grandeur obtenue en appliquant une formule mathématique aux résultats de la surveillance de paramètres tels que les éléments nutritifs, l'oxygène et la chlorophylle.

Toutes ces propositions sont tournées vers l'adoption de paramètres de surveillance «traditionnels» (tels que les éléments nutritifs, la chlorophylle et l'oxygène) pour servir de base au choix d'indicateurs qui soient légèrement différents seulement dans le système de calcul appliqué aux paramètres. Bien qu'il s'agisse d'une proposition acceptable, elle entraîne pourtant des lacunes dans l'évaluation finale. De fait, les indicateurs étayés par les paramètres précités permettent d'évaluer le «potentiel trophique» d'une masse d'eau mais ne renseignent pas sur l'état effectif du milieu atteint ni sur les modifications des communautés biologiques. En outre, lorsqu'on établit la stratégie de surveillance en termes de fréquence de prélèvement et de couverture spatiale, il conviendrait de considérer que la plupart des paramètres susmentionnés sont instables et affectés par des variations à court terme. L'eutrophisation est un processus à long terme et une évaluation efficace devrait être faite sur la base de paramètres qui évoluent dans une perspective durable (comme les communautés biologiques) (fig.5).





**Fig. 5 Stratégie de surveillance continue et évaluation effective. Sur cette figure sont résumées deux approches différentes que l'on peut adopter pour le choix des paramètres et indicateurs servant à évaluer l'eutrophisation: le choix d'indicateurs étayés par des paramètres affectés par des variations à court terme (côté droit de la figure) se solde par une surveillance plus complexe et une évaluation moins effective; le choix d'indicateurs étayés par des paramètres avant tout affectés par des variations à long terme se solde par une surveillance moins complexe et une évaluation plus effective**

Malheureusement, il n'y pas encore de consensus sur les paramètres biologiques auxquels recourir pour l'élaboration de nouveaux indicateurs. L'auteur d'une communication scientifique (Gray, 1992) formule une proposition utile: un modèle général des modifications environnementales à long terme induites par l'eutrophisation (fig. 6).

Dans cette approche, J.S. Gray met l'accent sur les modifications à long terme induites par l'eutrophisation sur l'écosystème atteint et propose un classement en degrés des principaux événements observés. Ce modèle devrait être examiné et testé dans la région méditerranéenne pour voir s'il est généralement applicable et quelles modifications peuvent être intégrées dans les différents degrés. Il serait souhaitable qu'un groupe d'experts régionaux établisse un tel modèle pour les zones de la Méditerranée qui sont atteintes par l'eutrophisation.

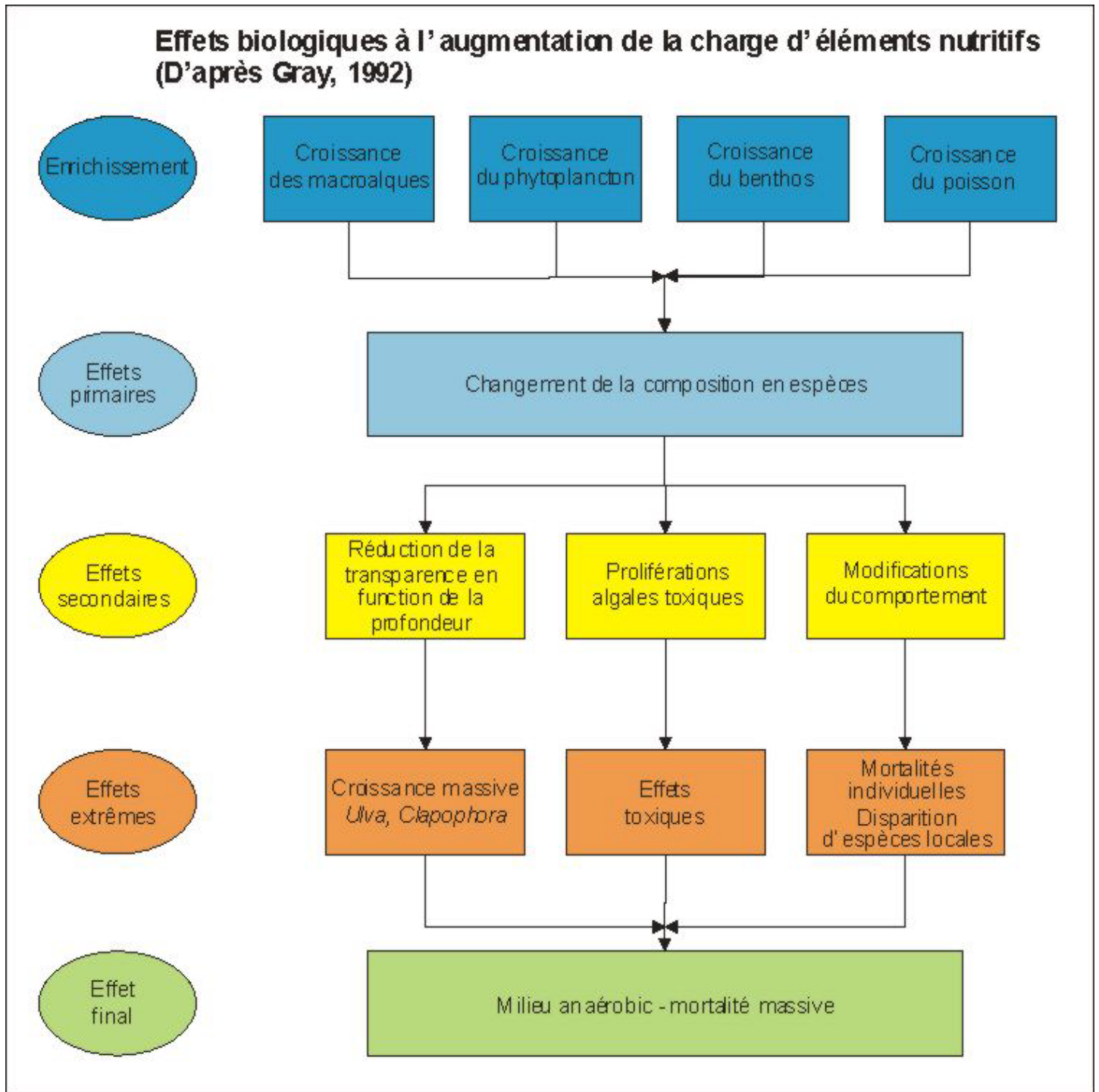


Fig.6

### 3.1 Stratégie MED POL/PNUE d'évaluation de l'eutrophisation en Méditerranée

Tous les enseignements, déficiences et recommandations dont on vient de faire état conduisent à proposer une stratégie générale MED POL reposant sur trois axes différents:

1. dans le court terme, adopter un groupe de paramètres/indicateurs de base, comme indiqué sur le tableau 4;
2. dans le moyen terme, commencer à collecter des relevés d'épisodes et données historiques sur l'eutrophisation (proliférations algales, anoxie du fond, éléments nutritifs, chlorophylle, etc.) pour chaque zone de la Méditerranée atteinte par le phénomène;
3. dans le long terme, commencer à élaborer de nouveaux indicateurs plus efficaces en coordonnant un groupe de travail d'experts méditerranéens.

### 3.1.1 Stratégie à court terme

Pour les activités à court terme, il est proposé de réaliser une surveillance minimale pour adopter les paramètres étayant les indicateurs d'état de l'AEE et l'indice TRIX, mais aussi, parallèlement, de commencer à développer des activités pilotes destinées à identifier de nouveaux indicateurs plus efficaces. Par conséquent, il conviendrait d'abord d'adopter la liste suivante de paramètres obligatoires (tableau 4) dans un plan de surveillance national pour chaque zone atteinte par le phénomène:

**Tableau 4 - Paramètres obligatoires que chaque pays doit surveiller**

<b>Température (°C)</b>	<b>Oxygène dissous (mg/l)</b>
<b>pH</b>	<b>Chlorophylle "a" (µg/l)</b>
<b>Transparence</b>	<b>Azote total (N µg-at/l)*</b>
<b>Salinité (psu)</b>	<b>Nitrates (NO<sub>3</sub> -N µg-at/l)</b>
<b>Orthophosphates (P -PO<sub>4</sub> (µg-at/l)</b>	<b>Ammonium (NH<sub>4</sub> -N (µg-at/l)</b>
<b>Phosphore total (P (µg-at/l)</b>	<b>Nitrites (NO<sub>2</sub>-N µg-at/l)</b>
<b>Silicates (SiO<sub>2</sub> µg-at/l)</b>	<b>Phytoplancton (nombre d'espèces et composition en espèces)*</b>

\* Non obligatoire?

Une identification précise de chaque zone atteinte en vue de mettre en place le réseau des sites de surveillance est absolument nécessaire puisque l'eutrophisation dans le bassin méditerranéen paraît être un phénomène limité au plan local, et ce principalement à des zones côtières et adjacentes du large bien spécifiques. D'autre part, il n'existe que quelques cas manifestes, comme la mer Adriatique, mettant en jeu plusieurs pays. Compte tenu de ce fait et des objectifs MED POL/PAM, les zones côtières retenues pour la surveillance et la gestion de l'eutrophisation devraient être en rapport avec les bassins versants de l'arrière-pays correspondant. Par conséquent, le plan de surveillance sera mis en œuvre à certains sites dont chacun devrait répondre à des critères donnés:

- représentatif au niveau national: en rapport avec les bassins versants auquel il s'adosse, recevant les charges fluviales, les rejets directs de déchets domestiques et industriels, les charges provenant d'activités de mariculture et/ou de sources diffuses;
- sensible aux phénomènes d'eutrophisation (baie fermée et estuaire, faible profondeur, remise en circulation limitée des eaux, etc.), afin de permettre de distinguer - autant que possible - entre les fluctuations naturelles et les pressions anthropiques;
- approprié pour évaluer les progrès généraux dans l'adoption des règles de l'UE (directive sur les nitrates, etc.), la gestion des déchets urbains, l'agriculture, etc.
- possédant les principales caractéristiques morphologiques qui devraient être bien décrites avec les forces agissantes, pressions, paramètres météorologiques et hydrodynamiques;

- pour lequel des relevés historiques sont disponibles en ce qui concerne les événements écologiques et les tendances socio-économiques de l'utilisation des sols.

Parallèlement aux paramètres obligatoires (tableau 4) qui devraient être adoptés pour toutes les zones atteintes, les paramètres présentés sur le tableau 5 ci-dessous fournissent une vaste liste qui pourrait servir à sélectionner des paramètres de surveillance pour des typologies de site différentes.

La priorité numéro un des activités à court terme consiste à commencer à établir une liste de nouveaux paramètres (principalement biologiques) à tester pour une adoption future. Les paramètres biologiques énumérés sur le tableau 5 peuvent être considérés comme un premier exercice à cette fin et ils seront modifiés à mesure que l'on disposera des résultats de tous les travaux menés par les programmes nationaux/internationaux consacrés à l'essai de tels "nouveaux" paramètres.

### **3.1.2 Stratégie à moyen terme**

Pour chaque zone atteinte, les observations et les données seront recueillies dans une base de données de relevés d'épisodes historiques en vue d'étayer une meilleure évaluation des phénomènes d'eutrophisation et de la qualité de l'écosystème. L'eutrophisation est un processus à long terme, qui remonte à plus d'une centaine d'années dans certains cas, ou est d'apparition plus récente dans d'autres. L'on dispose pour de nombreux sites d'une riche documentation portant sur les 50 à 100 dernières années et qui n'a jamais été collationnée avec précision dans une base de données et analysée selon une approche méthodologique. Le contenu de la base de données demande à être débattu avec l'adoption de techniques nouvelles et complémentaires de surveillance et d'évaluation de l'eutrophisation. Les techniques de télédétection appliquées à la surveillance de la chlorophylle ont été un outil avéré et l'application de cette méthode, avec la nécessité de l'étalonner, de définir ses lacunes, etc., devrait être mise en relief. D'autre part, la possibilité de surveiller certains paramètres de l'eutrophisation au moyen de réseaux de bouées devrait être également prise en compte et son applicabilité éventuelle faire l'objet d'un examen croisé. Enfin, l'établissement de modèles prédictifs de l'eutrophisation côtière en Méditerranée, avec les divers scénarios possibles à l'avenir, devrait être envisagé dans le cadre des activités à moyen terme.

### **3.1.3 Stratégie à long terme**

Il convient de mettre en place un groupe de travail d'experts régionaux qui développera, testera et proposera un nouveau système d'indicateurs basé principalement sur des communautés biologiques sensibles et qui définira le contenu de la base de données sur les relevés historiques que chaque pays alimentera.

## **3.2 Stratégie de prélèvement**

En préalable à la mise en place d'une base de données sur les indicateurs proposée par le MED POL/PNUE, il conviendra que les pays eux-mêmes fixent les stations de surveillance et la fréquence de prélèvement qui permettront de déceler des tendances temporelles.

### **3.2.1 Fréquence de prélèvement**

La fréquence optimale de prélèvement devrait être fixée comme un compromis avisé entre une fréquence élevée à même de rendre compte de la variabilité des paramètres, laquelle, dans la plupart des cas, est fonction site, et la stratégie la plus efficace par rapport

au coût pour le programme d'échantillonnage. Chaque pays est lui-même responsable du meilleur choix à faire selon la variabilité des paramètres dans la zone atteinte. La fréquence de prélèvement retenue par chaque pays doit tenir compte de l'objectif visant à détecter une variation de la concentration sur une période donnée (10 ans, par exemple).

La fréquence de prélèvement minimale obligatoire est saisonnière. Une fréquence de prélèvement mensuelle est vivement recommandée.

### **3.2.2 Couverture spatiale**

Chaque pays est responsable du choix des stations de surveillance les plus représentatives en vue de détecter des variations sur une période donnée (10 ans, par exemple). La répartition spatiale des stations devrait tenir compte des apports et des caractéristiques océanographiques pour chaque zone. Dans la plupart des cas, la décision ne pourra être prise qu'après échantillonnage et analyse statistique de la masse des données de l'ensemble du plan de surveillance.

Le plan d'échantillonnage minimal ci-après est proposé:

1. Tracer un transect perpendiculaire à la ligne de côte de la zone affectée
2. Choisir trois stations d'échantillonnage pour chaque transect selon la typologie du fond
  - a. Pente forte (plus de 50 m de profondeur à 3000 m de la ligne de côte).
  - b. Pente moyenne (plus de 5 m à 200 m et moins de 50 m à 3000 m de la ligne de côte)
  - c. Pente faible (moins de 5 m à 200 m de la ligne de côte)
    - a) Distance à la ligne de côte = 1 à 100 m, 2 à 3000 m, 3 entre les deux premières si la distance est supérieure à 1000 m. Sinon, seulement les deux premières
    - b) Distance à ligne de côte = 1 à 200 m, 2 à 1000 m, 3 à 3000 m
    - c) Distance à la ligne de côte = 1 à 500 m, 2 à 1000 m, 3 à 3000 m.

Profils verticaux:

Il est obligatoire de prélever davantage d'échantillons pour chaque station d'échantillonnage afin d'obtenir des profils verticaux pour tous les paramètres. Le nombre d'échantillons verticaux ne doit pas être inférieur à trois (surface, profondeur moyenne, fond). Il est recommandé en particulier de collecter des profils continus pour la salinité, la température et l'oxygène au moyen d'un dispositif multisonde CTD.

Avant le début du programme de surveillance régional de l'eutrophisation, le MED POL/PNUE devrait organiser un programme d'assurance qualité sur le modèle de celui qui est en cours d'exécution pour les polluants inorganiques et organiques (voir UNEP(DEC)/MED WG. 196/3).

**Tableau 5 Exemple de liste de paramètres obligatoires et complémentaires à sélectionner pour chaque typologie de site différente**

Matrice/Groupe de paramètres	Description du paramètre
<b>Eau de mer</b>	<b>Température (° C)</b>
	<b>PH</b>
	<b>Transparence (disque de Secchi )</b>
	<b>Salinité (psu)</b>

Matrice/Groupe de paramètres	Description du paramètre
	<b>Orthophosphates (P –PO<sub>4</sub> µg-at/l)</b>
	<b>Phosphore total (P µg-at/l)</b>
	<b>Silicates (SiO<sub>2</sub> µg-at/L)</b>
	<b>Oxygène dissous (mg/l) et % de saturation</b>
	<b>Azote total (N µg-at/l )</b>
	<b>Nitrates (N-NO<sub>3</sub> µg-at/l)</b>
	<b>Ammonium (N-NH<sub>4</sub> µg-at/l)</b>
	<b>Nitrites (N-NO<sub>2</sub> µg-at/l)</b>
	Matières particulaires en suspension (mg l <sup>-1</sup> )
	Carbone organique total (mg l <sup>-1</sup> )
	Coloration de l'eau
	H <sub>2</sub> S (mg l <sup>-1</sup> )
<i>Phytoplankton</i>	<b>Chlorophylle "a" (µg/l)</b>
	Biomasse de chaque espèce de phytoplankton (mg m <sup>-3</sup> )
	Biomasse du phytoplankton total (mg m <sup>-3</sup> )
	Densité de chaque espèce de phytoplankton (cellules l <sup>-1</sup> )
	Composition en espèces de phytoplankton - composition en % des principaux groupes (nombre et biomasse)
	Succession saisonnière des principales espèces de phytoplanktons (cellules l <sup>-1</sup> )
	Densité maximale annuelle (cellules l <sup>-1</sup> ) de chaque espèce de phytoplankton en prolifération
	Production spécifique des espèces dominantes de phytoplankton (j <sup>-1</sup> )
	Nombre total et composition en espèces*
<i>Zooplankton</i>	Nombre de copépodes neustoniques (famille des pontélidés) (ind m <sup>-3</sup> )
	Nombre de larves de polychètes sur le nombre total du méroplankton (%)
	Biomasse totale du zooplankton (mg m <sup>-3</sup> )
	Production spécifique des espèces dominantes de zooplankton
	Biomasse totale du phytoplankton/Biomasse totale du zooplankton (j <sup>-1</sup> )
	Biomasse pélagique totale/Biomasse benthique totale
	Nombre et biomasse de <i>Noctiluca scintillans</i> dans le zooplankton total (%)
	Biomasse moyenne de la méduse <i>Aurelia aurita</i> (g m <sup>-2</sup> )
	Biomasse totale des espèces de cténophores allogènes (genres <i>Mnemiopsis</i> et <i>Beroe</i> ) (g m <sup>-2</sup> )
<i>Benthos</i>	
<i>Macrophytes</i>	Production primaire totale (mg C org m <sup>-2</sup> mois <sup>-1</sup> )
	Biomasse macrophyte totale (mg m <sup>-2</sup> )
	Biomasse des espèces macrophytes dominantes (g m <sup>-2</sup> )
	Principaux groupes: Chlorophycées, Rhodophycées, Phaeophycées

Matrice/Groupe de paramètres	Description du paramètre
	(% biomasse)
	Principaux genres (présence/absence)
	Production spécifique des espèces dominantes de macrophytobenthos ( $j^{-1}$ )
Autres paramètres?	

#### 4. RÉFÉRENCES

AEE/PNUÉ 1999. Le milieu marin et littoral méditerranéen: état et pressions.

Aubert, M. & Aubert J. 1986. Eutrophie et dystrophie en milieu marin. Phénomènes planctoniques et bactériens. *Rev. Int. Oceanogr. MAD.*, 83-84: 3-302

Carbiener, R. 1992. Compositions lessiviées avec eau sans phosphates et protection des milieux aquatiques. Rapport au secrétaire d'état auprès du premier ministre, chargé de l'environnement. 182 pages.

EEA 1999. Yearly Indicator Report: Eutrophication.

EEA 1999a. Nutrients in European ecosystems. *Environmental Assessment Report No. 4*, 155 pp.

EEA 1999b. Environment in the European Union at the turn of the century. *Environmental Assessment Report No. 2*, 446 pp.

EEA 2001. Testing of Indicators for the Marine and Coastal Environment in Europe. Technical report/ en préparation.

EEA, en prép. Development of European estuaries/lagoons and fjords inventory and data base. Collection of data on European coastal Zone. Further development and testing of a system of indicators.

EEA/UNEP 1999. State and pressures of the marine and coastal Mediterranean environment. EEA Environmental assessment series N°5 Environmental indicators: Typology and overview EEA Technical report No 25, <http://reports.eea.eu.int/TEC25/en>). EPA, 1994. A conceptual framework to support the development and use of environmental information. EPA 230-R-94-012

Gray J.S. 1992. *Eutrophication in the sea*. pp 3-15. In: 'Marine eutrophication and population dynamics'. Colombo, G., Ferrari, I., Ceccherelli, V.U., Rossi, R., Eds. Olsen and Olsen publishers, Fredensborg. Denmark

Mariotti, A., Struglia, M.V., Zeng, N. Lau, K.-M. The hydrological cycle in the Mediterranean region and implications for water budget of the Mediterranean Sea. Accepted subject to revision, *Journal of Climate*, 2001.

Nixon, S.W. 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41: 199-219.

OECD, 1993. OECD core set of indicators for environmental performance reviews. OECD/GD (93) 179

OSPAR, 1997. JAMP Eutrophication Monitoring Guidelines. OSPAR Technical Report. Ref. No: 1997- 1 to 6

PNUE/FAO/OMS, 1996. Évaluation de l'état de l'eutrophisation en mer Méditerranée. No 106 de la *Série des rapports techniques du PAM*, Athènes, 211 p.

PNUE/OMS 1999. Identification des «points chauds» et «zones sensibles» de pollution prioritaires en Méditerranée. No 124 de la *Série des rapports techniques du PAM*, PNUE, Athènes, 90 p.

Swart, R., J. Bakkes, L. Niessen, J. Romans, B. De Vries, R. Weterings, 1995. Scanning the global environment, a framework for UNEP's reporting functions, UNEP/EAP. TR/95-01

Turley, C.M. 1999. The changing Mediterranean Sea – a sensitive ecosystem? *Progress in Oceanography* 44 (1999) 387-400

Vollenweider, R.A. 1968. *Scientific fundamentals of eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication*. Tech.Rep.DAS/CSI/68.27., Ed. O.E.C.D., Paris

Vollenweider, R.A. 1981. *Eutrophication – a global problem*. WHO Water Quality Bulletin, 6  
Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G & Rinaldi, A., 1998 - Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, 9: 329-357

Wieringa, K., 1996. Towards integrated environmental assessment supporting the community's environmental action programme process. ESEE Inaugural International Conference "Ecology, Society, Economy", May 1996