

PROJET

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

**Document établi
par Giulio Izzo – ENEA Rome (Italie)**

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. INTRODUCTION.....	1
2. RAPPEL DES FAITS ET JUSTIFICATION SCIENTIFIQUE.....	1
2.1 <i>L'eutrophisation en Méditerranée</i>	1
2.1.1 Charges fluviales.....	3
2.1.2 Charges totales en éléments nutritifs.....	4
2.2 <i>Indicateurs et approche DPSIR</i>	6
2.3 <i>Activités du PNUE en matière d'eutrophisation</i>	8
2.4 <i>Activités menées par les pays méditerranéens dans le domaine de l'eutrophisation</i>	10
2.5 <i>Approche adoptée par l'AEE concernant l'eutrophisation</i>	10
3. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	13
3.1. <i>Proposition MED POL/PNUE pour l'évaluation de l'eutrophisation en Méditerranée</i>	17
3.1.1 Stratégie à court terme.....	17
3.1.2 Stratégie à moyen terme.....	18
3.1.3 Stratégie à long terme.....	18
3.2 <i>Stratégie de prélèvement</i>	18
3.2.1 Fréquence de prélèvement.....	18
3.2.2 Couverture spatiale.....	18
4. RÉFÉRENCES.....	19

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 de prélèvement 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 le recyclage limité des eaux - accroissent la sensibilité aux problèmes d'eutrophisation, ce qui est typique des baies et lagunes côtières 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 issue 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 avec 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 côtières 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.

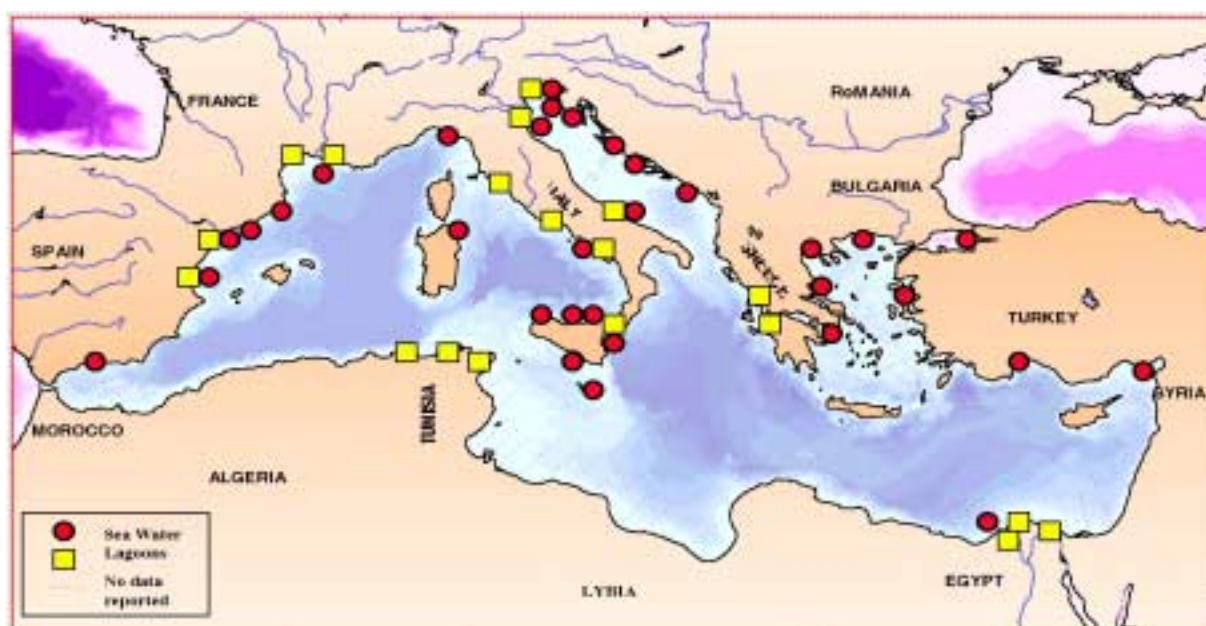


Fig. 1 Zones de la Méditerranée où des phénomènes d'eutrophisation ont été constatés. Source: AEE/PNUE 1999

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 km². Les déversements d'eaux douces par les principaux fleuves se montent à environ 260 km³ par an. Les afflux nets provenant de la mer Noire sont de 163 km³ 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 plaines côtières restreintes, 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 tonnes/an d'azote et de 22 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 ce qui 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 million 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⁻¹

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	976000	1570600	16941000		
Mixte	75234	259691		804244	1729853
Aquaculture	394	8678	38225		

Au cours des dernières décennies, la mariculture a connu un grand essor de sa production dans nombre de pays méditerranéens, soit une élévation de 1 693 tonnes métriques en 1970 à 13 1493 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).

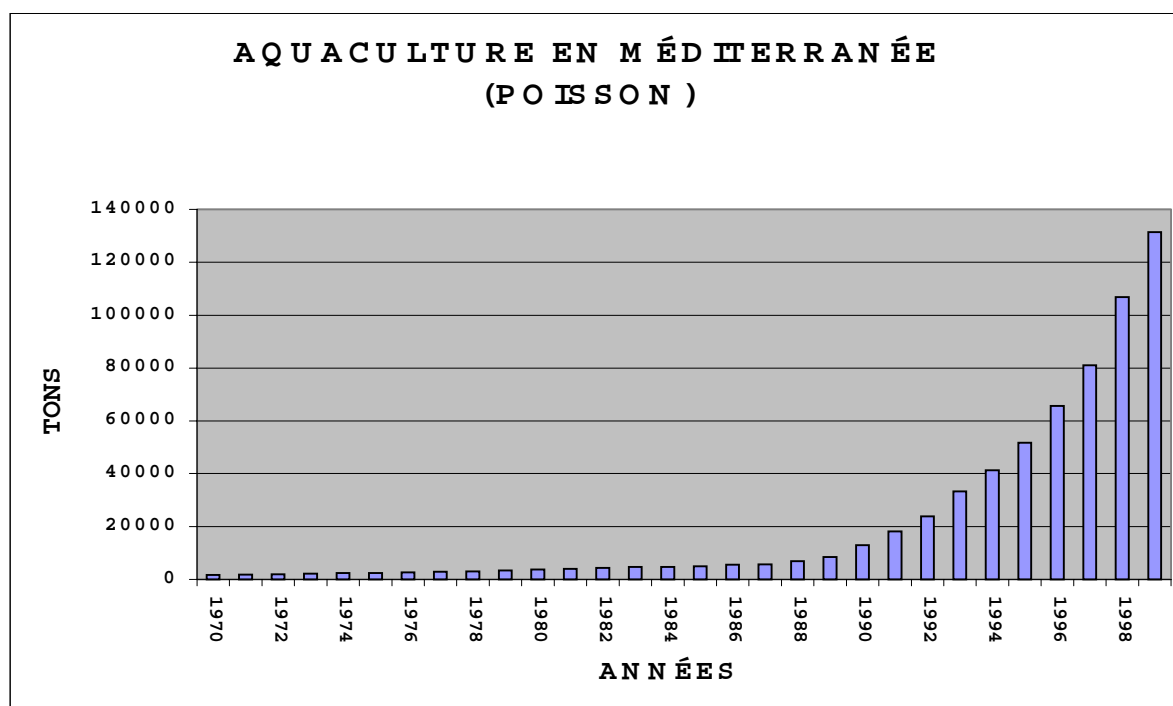


Fig. 2. Tendances évolutives de l'aquaculture marine (poisson) de 1970 à 1999
Source: Base de données FAO

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»** (voir ci-dessous).

Pour la prise de décision, les indicateurs environnementaux servent à 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 percutant de sensibilisation du public aux questions environnementales. Fournir des informations sur les forces directrices entraînement, 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 ce qui est requis 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.

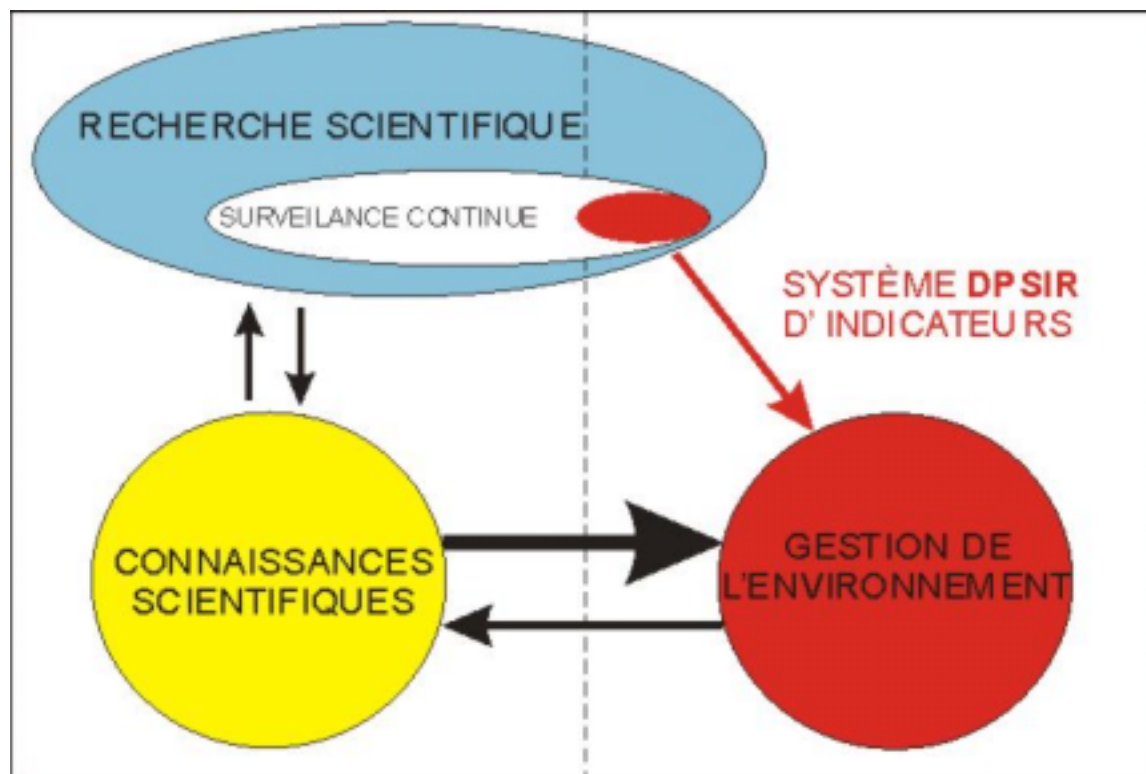
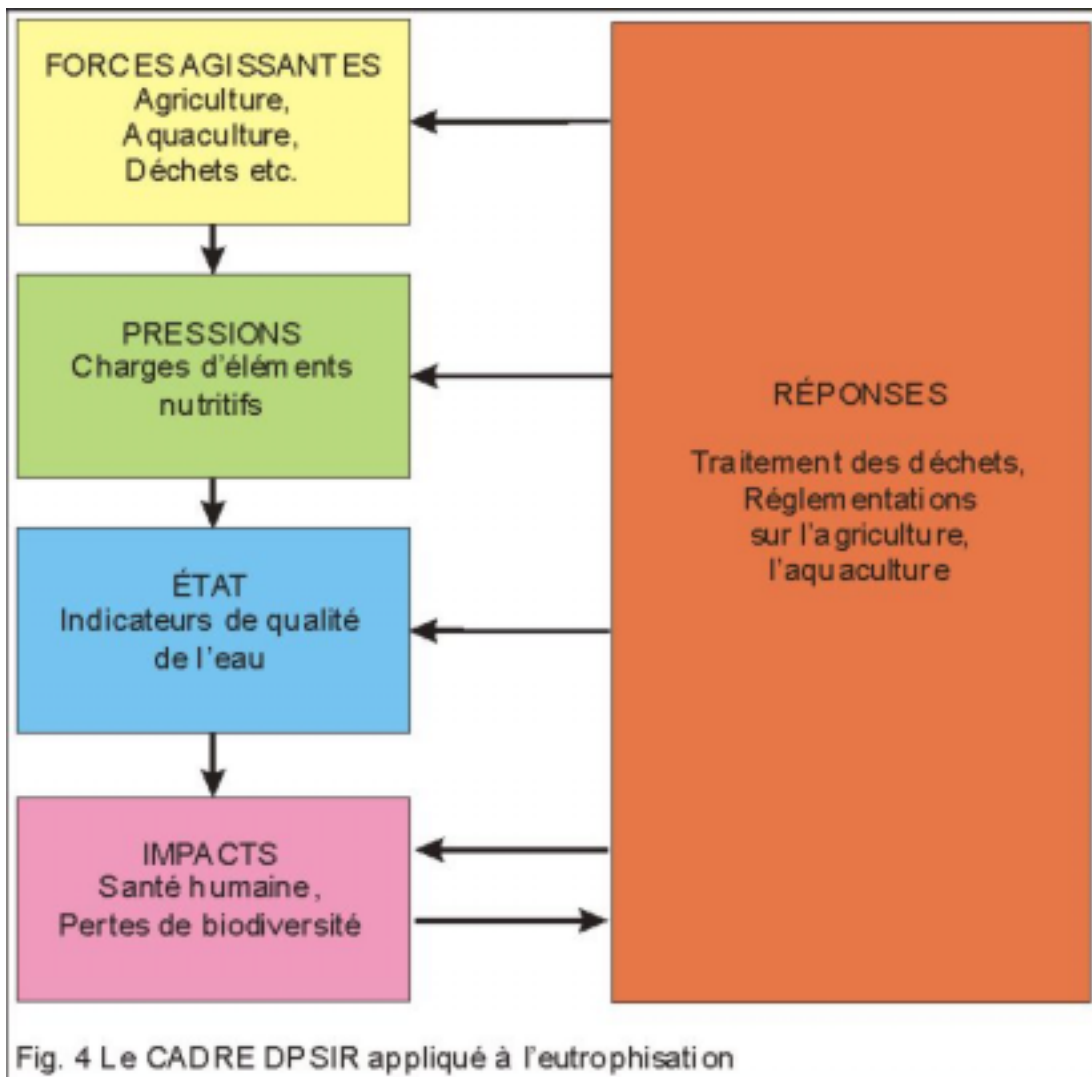


Fig. 3. La relation entre la perspective scientifique et la perspective de gestion pour la surveillance continue de l'environnement.

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.



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 de valeur économique et naturelle 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	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, NUT, Chl "a"
Italie ⁽¹⁾	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 ⁽²⁾	1991	31	1	
Turquie	1986 1995	15 67	3 1-2	POB, NUT

(1) Davantage de données existent sur le 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 de 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 aient 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 le 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 de 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

Rubrique Indicateur	Thème indicateur AEE	Description générale	Paramètres Indicateur	Observations
	Éléments nutritifs	Concentrations des substances	Concentration hivernale. NO₂+NO₃, PO₄, Rapport N/P, Chlorophylle «a» Oxygène du fond TRIX (Indice trophique)= =Log(Ch*D%O*DIN*P/PO₄)-(-15) /1.2	Moyenne estivale de P total, N total, formes chimiques de N, PO ₄ 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. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'élaboration d'indicateurs est un processus en plein essor en Europe. L'Agence européenne de l'environnement (AEE) a investi des efforts considérables dans la sélection et l'essai d'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). Néanmoins, dans le rapport de l'AEE sur l'essai d'indicateurs, on peut lire la recommandation ci-après:

Les obligations de surveillance continue et l'entretien de la base de données MED POL, à laquelle contribuent tous les pays du pourtour de la Méditerranée, ne permettent pas pour l'heure de répondre aux besoins en données relevés dans le présent rapport pour les zones côtières méditerranéennes de France, d'Espagne, d'Italie et de Grèce. Il est nécessaire soit d'améliorer la collecte de données par le biais de la base de données MED POL soit de collecter directement des données par le biais de bases de données nationales en vue d'améliorer la base de données sur les indicateurs de l'ETC/MCE.

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 paramètres de la surveillance 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).

Malheureusement, il n'y pas 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

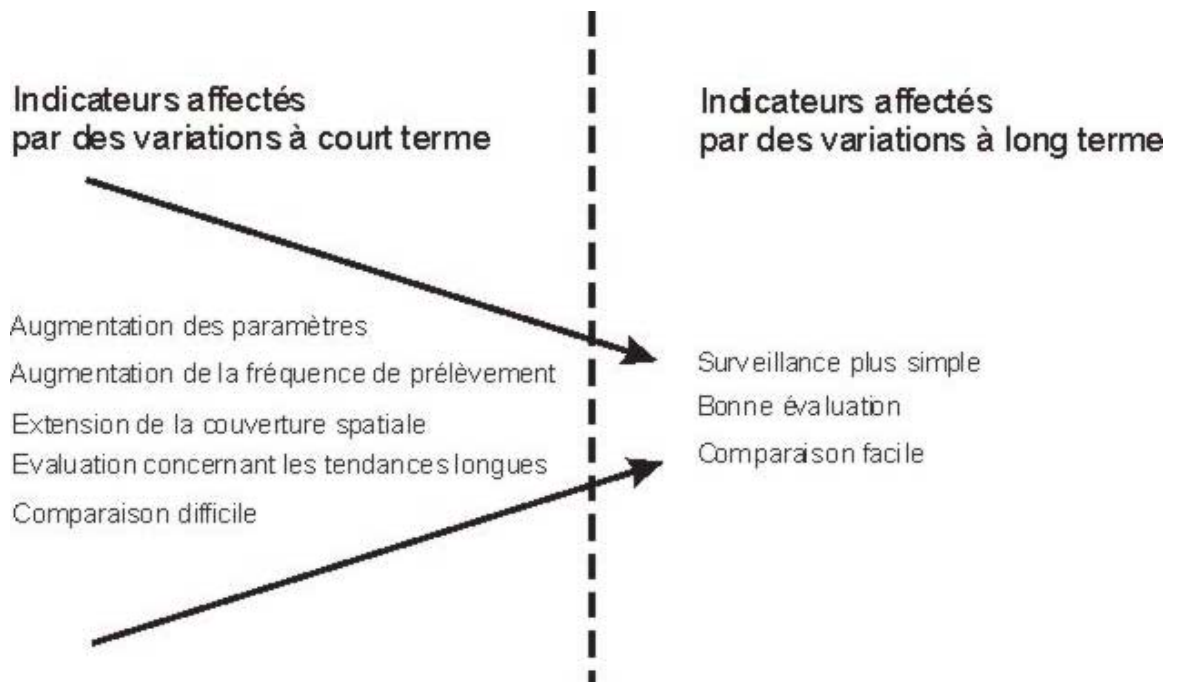


Fig. 5 Stratégie de surveillance continue et évaluation effective. Sur cette figure sont résumées deux approches différentes que l'on peut adopter pour le choix des paramètres et indicateurs servant à évaluer l'eutrophisation: le choix d'indicateurs étayés par des paramètres affectés par des variations 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

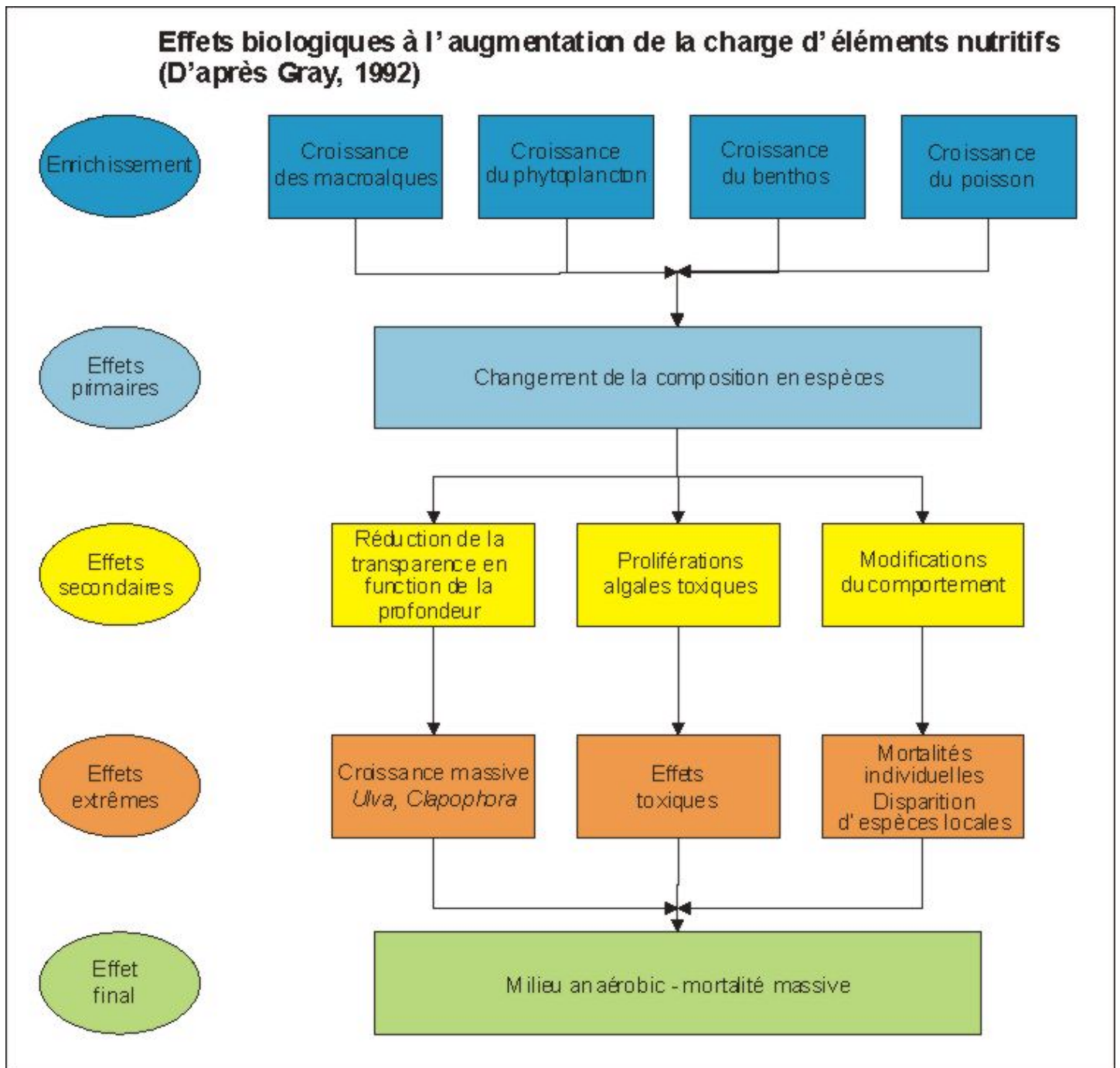


FIG. 6

3.1 Proposition MED POL/PNUE pour l'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 méditerranéen d'experts.

3.1.1 Stratégie à court terme

Pour chaque zone atteinte par le phénomène (voir paragraphe 3.2.), adopter la liste suivante de paramètres obligatoires dans un plan national de surveillance:

Tableau 4 - Paramètres obligatoires que chaque pays doit surveiller

Température (°C)	Oxygène dissous (mg/l)
PH	Chlorophylle "a" (µg/l)
Transparence	Azote total (N mg/l)*
Salinité (psu)	Nitrates (N mg/l)
Orthophosphate (P -PO₄ mg/l)	Ammonium (N mg/l)
Phosphore total (P mg/l)	Nitrites (N mg/l)
Silicates (SiO₂ mg/l)	Phytoplancton (nombre d'espèces et composition en espèces)*

INDICATEURS D'ÉTAT étayés par:

Indice Trix

Nitrates et orthophosphates (concentrations hivernales par rapport à la valeur de référence)

* non obligatoire

3.1.2 Stratégie à moyen terme

Pour chaque zone atteinte, commencer à collecter des observations et des données à intégrer dans une base de données de relevés d'épisodes historiques. La base de données contribuera à établir une meilleure évaluation de la qualité des écosystèmes. Le contenu de la base de données doit être examiné par un groupe de travail "ad hoc". Une autre question importante que ce groupe devrait aborder est le recours à la télédétection pour les données sur la chlorophylle: applicabilité, besoins d'étalonnage, lacunes, etc.

3.1.3 Stratégie à long terme

Organiser 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. À cette fin, les zones côtières devraient autant que possible être reliées aux bassins versants auxquels elles s'adossent.

3.2.1 Fréquence de prélèvement

La fréquence optimale de prélèvement d'échantillons 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 du 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 déceler 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 déceler des variations sur une période donnée (10 ans, par exemple). La répartition spatiale des stations devrait tenir compte des apports polluants et des caractéristiques océanographiques de 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 peut être suggéré:

1. Désigner une section transversale perpendiculaire au littoral de la zone atteinte.
2. Choisir trois stations d'échantillonnage pour chaque section transversale selon la typologie du fond
 - a. pente forte (plus de 50 m de profondeur à 3000 m du littoral).
 - b. pente moyenne (plus de 5 m à 200 m, et moins de 50 m à 3000 m du littoral)
 - c. pente faible (moins de 5 m à 200 m du littoral)
 - a) Distance du littoral = 1 à 100 m, 2 à 3000 m, 3 entre les deux premières si la distance est supérieure à 1000 m. Sinon, seules les deux premières.
 - b) Distance du littoral = 1 à 200 m, 2 à 1000 m, 3 à 3000 m.
 - c) Distance du littoral = 1 à 500 m, 2 à 1000 m, 3 à 3000 m.

Profils verticaux:

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

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).

4. RÉFÉRENCES

AEE/PNUE 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. Med.*, 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 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 concerns4 *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