

Octobre 1995

Document provisoire

Évaluer l'eutrophisation
 Document préparatoire
 à la journée de restitution sur l'eutrophisation
 Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse

13001 MARSEILLE
 Immeuble le Noailles - 62, La Canebière
 Délégation de Marseille
 notre méditerranée & corse



MRS D 1865

~~1995~~

Rhône Méditerranée Corse

Agence de l'Eau

- Avant propos -

Ce document préparatoire à la journée de restitution sur l'eutrophisation organisée par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse est destiné aux acteurs de la gestion et de la protection du littoral.

Il sera à la base de la réflexion et de la discussion qui seront menées au cours de cette journée.

Ce document provisoire est adressé à différents spécialistes du problème de l'eutrophisation qui ont collaboré à son élaboration.

La version définitive tiendra compte des remarques et critiques qui auront pu être formulées.

- Sommaire -

Introduction.....	2
Chapitre 1 : qu'est ce que l'eutrophisation ?	4
La matière vivante évolue selon un cycle naturel	4
L'eutrophisation : la perturbation du cycle naturel.....	7
L'eutrophisation : un phénomène dynamique	11
Chapitre 2 : les manifestations de l'eutrophisation.....	14
Quelles sont les nuisances liées à l'eutrophisation ?	14
Quelles sont les conditions favorables à l'apparition des nuisances ?	24
Chapitre 3: eutrophisation, nuisance ou bienfait ?	31
Nuisance.....	31
ou...bienfait ?	31
Vers une gestion de l'eutrophisation	33
Chapitre 4 : comment mesurer l'eutrophisation ?	36
Evaluer le risque d'apparition des nuisances liées à l'eutrophisation	38
Mesurer les effets de l'enrichissement du milieu	44
Le potentiel redox : un outil pour suivre l'évolution dans le temps du phénomène	50
Chapitre 5 : comment prévenir l'eutrophisation ?	54
Les méthodes curatives	55
Les méthodes préventives	58
Conclusion.....	67

Introduction

- Introduction -

L'eutrophisation est un enrichissement des milieux aquatiques, d'eaux douces ou marines, par les éléments nutritifs (principalement l'azote et le phosphore, mais aussi le silicium). Phénomène à l'origine naturel, il s'est transformé en véritable pollution au cours de ces 30 dernières années du fait des activités humaines, en particulier l'extension de l'urbanisation et de l'agriculture intensive.

Elle se manifeste dans de nombreuses régions littorales du monde, de la Mer Baltique, aux côtes Atlantiques de l'Europe ou de l'Afrique, en passant par celles du Japon, de l'Australie ou de la Méditerranée.

Les nuisances qu'elle provoque en font un véritable problème d'environnement dont il convient de bien connaître toutes les causes et mécanismes afin de mieux le combattre.

☞ Ce document s'adresse avant tout aux acteurs de la gestion et de la protection du littoral. Son objectif est de présenter de manière synthétique et opérationnelle les connaissances actuelles sur l'eutrophisation en milieu marin méditerranéen.

Il expliquera, à travers différents exemples, les causes, mécanismes et manifestations de l'eutrophisation, et montrera qu'il est indispensable de savoir la mesurer si l'on veut maîtriser les nuisances qu'elle engendre.

Chapitre 1 :
qu'est ce que
l'eutrophisation ?

- Chapitre 1 : qu'est ce que l'eutrophisation ? -

La matière vivante évolue selon un cycle naturel

Tous les milieux naturels, terrestres ou aquatiques, d'eau douce ou marine, fonctionnent selon un même principe, celui du **recyclage de la matière**.

Les végétaux, grâce aux pigments chlorophylliens qu'ils contiennent et à la lumière solaire, sont capables de transformer la matière minérale en matière organique. Ce mécanisme appelé **photosynthèse** leur permet de fabriquer la matière organique dont ils sont eux-mêmes constitués et s'accompagne d'un rejet d'oxygène dans l'atmosphère. La **matière minérale** est composée d'eau, de gaz carbonique, d'azote, de phosphore, et d'autres éléments. Glucides, protides et lipides forment la **matière organique** dont est constitué tout être vivant.

En milieu marin, les végétaux sont essentiellement les algues, qui sont soit de grande taille (on parle de **macro-algues**), soit microscopiques (on parle de **micro-algues** ou **phytoplancton**). On y trouve aussi des **plantes supérieures** comme les posidonies.

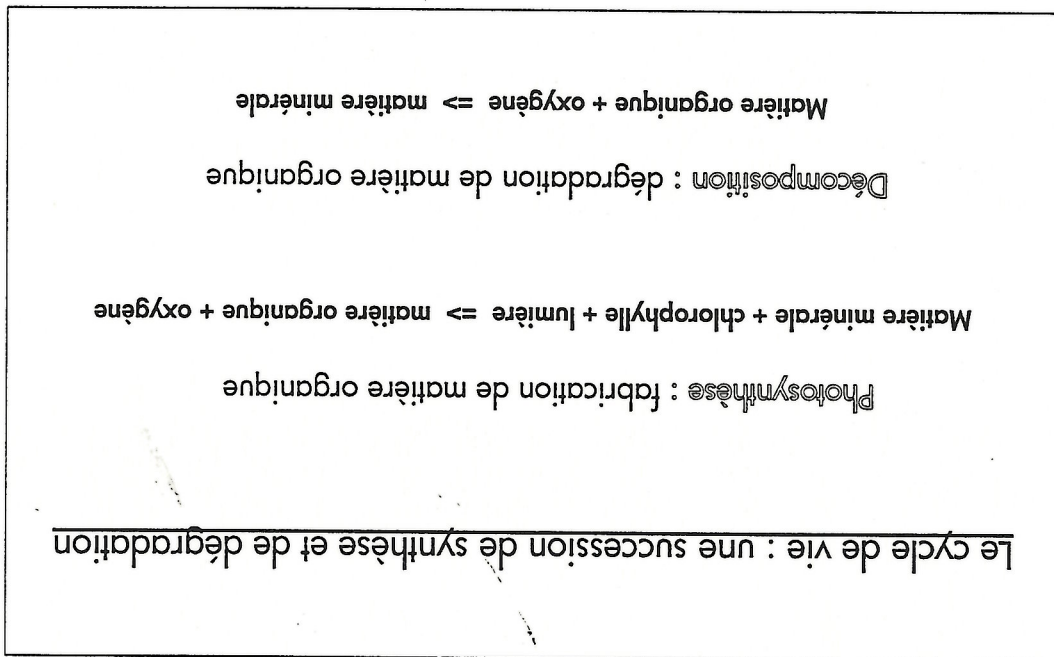
Ces végétaux sont consommés par des animaux **herbivores**, lesquels vont à leur tour être consommés par des animaux **carnivores**.

Les animaux et végétaux non consommés forment, à leur mort, la matière organique morte qui sera transformée en matière minérale grâce à l'action des organismes **décomposeurs**, principalement des bactéries.

En accomplissant ce "travail", les bactéries respirent et consomment donc de l'oxygène. Ainsi, plus la quantité de matière organique déposée sur le fond sera forte et plus la demande en oxygène sera importante.

Une partie de cette matière minérale sera soit stockée dans le sédiment, soit à nouveau utilisée par les végétaux grâce au processus de photosynthèse.

L'ensemble de ces mécanismes constitue les étapes de la chaîne alimentaire encore appelée "réseau trophique" (figure 1).



Chaque élément (oxygène, carbone, azote, phosphore, etc.) va donc exister sous forme organique (lorsqu'il entre dans la composition de molécules organiques) ou sous forme minérale (lorsqu'il entre dans la composition de molécules minérales). Passant d'une forme à l'autre, il évolue selon un cycle plus ou moins complexe.

La chaîne alimentaire simplifiée en milieu marin

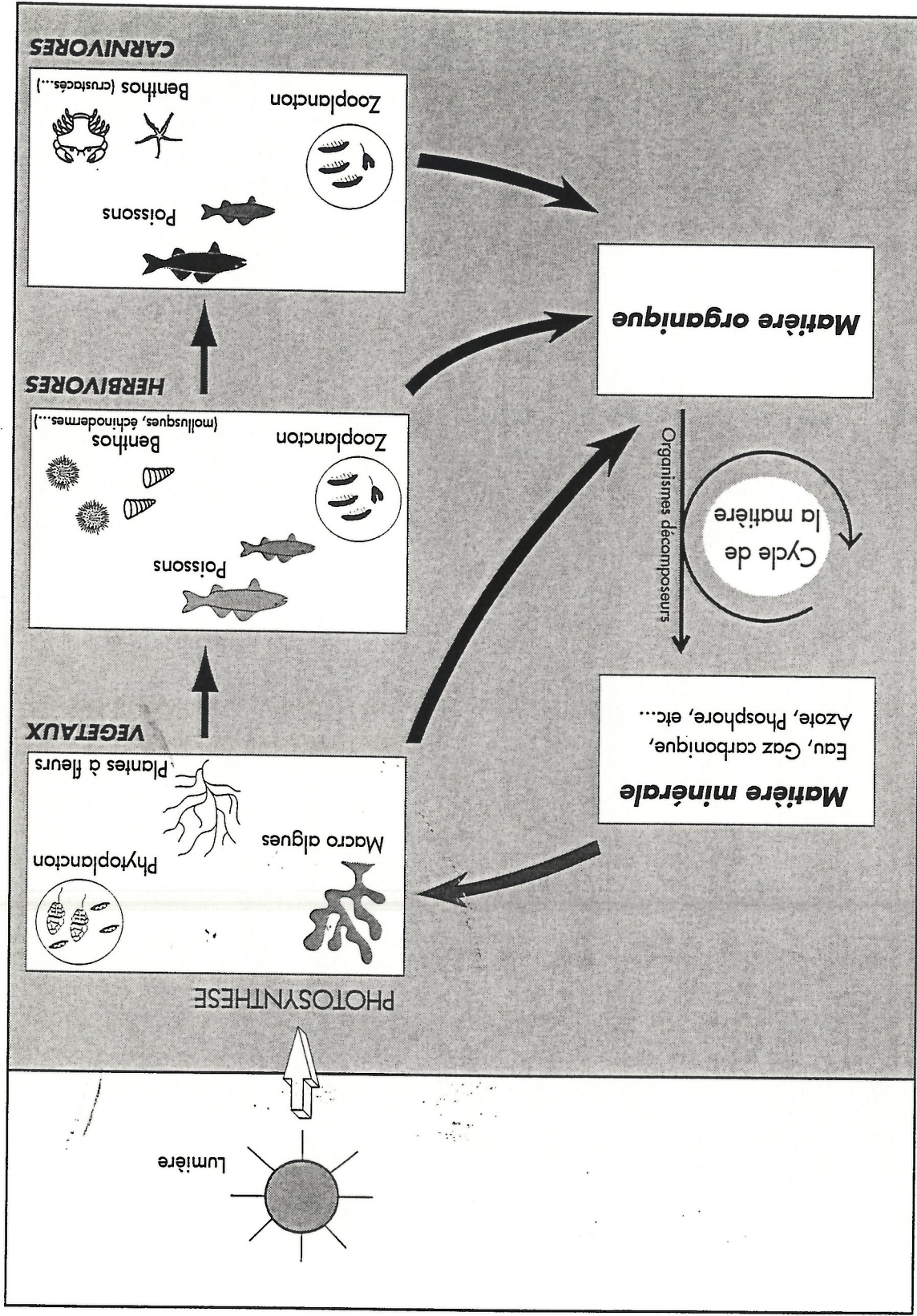


Figure 1

L'eutrophication : la perturbation du cycle naturel

L'eutrophication désigne un enrichissement excessif en matières nutritives des milieux naturels aquatiques

Cet enrichissement est dû à la prolifération, puis la dégradation des organismes aquatiques. La décomposition de cette matière organique, d'origine végétale ou animale, libère des éléments minéraux dans le milieu. Ce phénomène naturel d'enrichissement des eaux s'est amplifié ces dernières décennies du fait des apports en sels nutritifs et en matière organique liés aux activités humaines.

Les sels nutritifs sont directement assimilables par les végétaux, tandis que la matière organique s'accumule dans le sédiment où elle est dégradée, reminéralisée puis assimilée par les végétaux. Les éléments minéraux se trouvent donc aussi bien sous forme minérale que sous forme organique, morte ou vivante et les apports en matière organique ont indirectement des effets identiques à ceux des apports en sels nutritifs.

Le processus de dégradation de la matière organique s'accompagne d'une forte consommation d'oxygène par les bactéries qui la réalisent.

La modification du cycle va entraîner une rupture de l'équilibre qui se traduit par une disparition, une apparition ou une prolifération d'espèces animales ou végétales. L'eutrophication aura des conséquences d'abord sur la végétation, directement du fait de l'augmentation en sels nutritifs, puis sur la faune vivant sur le fond où se dépose la matière organique en excès.

Définir les termes pour mieux comprendre le phénomène

Si l'eutrophisation est désormais un phénomène bien expliqué, le vocabulaire couramment employé pour la définir est suffisamment flou pour justifier de la présentation de quelques définitions.

Les "sels nutritifs" constituent l'ensemble des éléments chimiques minéraux contenus dans l'eau à partir desquels les végétaux chlorophylliens fabriquent de la matière organique par voie de photosynthèse. Il s'agit principalement de l'azote et du phosphore.

La **matière organique** représente l'ensemble des produits d'origine biologique, vivants ou morts, végétaux, ou animaux. Elle est transformée en sels nutritifs sous l'action des décomposeurs (bactéries, champignons...).

La **richesse** d'un milieu aquatique s'exprime par différents termes :

- L'**oligotrophie** caractérise un milieu pauvre en matières nutritives.
- La **mesotrophie** caractérise un milieu dont la teneur en matières nutritives est moyenne. Il s'agit d'un état transitoire entre oligotrophie et eutrophie.
- L'**eutrophie** caractérise un milieu enrichi en matières nutritives.

• La **dystrophie** caractérise un milieu excessivement enrichi en matières nutritives ce qui crée un important déséquilibre écologique du milieu.

⇒ manifestations de eutrophication :
crise dystrophique

On parle souvent et à tort de "niveau trophique" pour désigner la richesse en matières nutritives d'un milieu naturel, or le niveau trophique se définit comme une étape de la chaîne alimentaire (herbivores, carnivores, décomposeurs...). Il s'agit donc en quelque sorte d'un type de régime alimentaire.

Pour tant, cette concept à une valeur "partielle", il faut donc préciser clairement un autre terme : charge trophique
niveau d'enrichissement, etc...

L'azote

Le principal réservoir d'azote est l'atmosphère où l'azote se trouve sous forme de gaz. Cet azote gazeux peut être assimilé par certains organismes et transformé en azote organique qui va circuler dans les différents maillons de la chaîne alimentaire. Lorsque la matière organique meurt et se décompose, l'azote organique est reminéralisé sous forme d'ammonium (NH_4^+), de nitrites (NO_2^-) puis de nitrates (NO_3^-) par l'action de micro-organismes (bactéries).

Ces formes minérales sont assimilées et donc retransformées en azote organique par les végétaux, ou en azote atmosphérique par certains types de bactéries.

On trouve donc de l'azote dans l'atmosphère, dans l'eau, dans le sédiment dans les organismes.

Les excès d'azote dans le milieu naturel proviennent surtout des activités agricoles : épandage d'engrais et élevage.

Le phosphore

Contrairement à l'azote, il n'y a pas de phosphore minéral dans l'atmosphère. Il se trouve principalement dans les roches et le sol et mis en circulation par lessivage des eaux continentales. Il constitue un élément rare de la biosphère dont il représente moins de 1% des éléments simples présents. Il s'agit d'un composant essentiel au bon fonctionnement des milieux naturels.

Il est assimilé sous la forme orthophosphate (PO_4^{3-}) par les végétaux, transformé en phosphore organique puis reminéralisé par les décomposeurs à la mort des organismes.

Le phosphore possède la particularité de s'accumuler dans les sédiments et d'être relâché en cas de lessivage et d'érosion des sols. Ces réserves s'accumulent dans les sédiments terrestres mais également dans les sédiments marins, ce qui fait que ce stock va pouvoir être utilisé par les végétaux en cas de déficit d'apports directs. Le relargage du phosphore sera favorisé en conditions anoxiques (manque d'oxygène). La salinité de l'eau de mer en revanche va favoriser son piégeage dans le sédiment...

On trouve donc le phosphore dans l'eau, dans le sédiment et dans les organismes.

Les excès de phosphore dans le milieu naturel proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles.

Une perturbation qui affecte tous les types de milieux aquatiques

Phénomène favorisé par une absence de brassage des eaux, l'eutrophication a d'abord affecté les plans d'eau fermés. Puis, les apports en matières nutritives d'origine anthropiques n'ayant cessé de s'accroître, les cours d'eau les plus calmes ont à leur tour été touchés.

L'eutrophication des lacs

Dans un premier temps, les arrivées de sels nutritifs et matière organique dans le milieu favorisent le fonctionnement du milieu naturel : il y a augmentation du développement des algues, puis des animaux herbivores, des animaux carnivores : le système est stimulé par l'enrichissement en sels nutritifs. Puis la matière organique s'accumule sur le fond à la mort des organismes et se décompose. Cette décomposition consomme de l'oxygène et la zone du fond devient peu à peu anoxique, c'est-à-dire dépourvue d'oxygène. Parallèlement, la faune se modifie et on voit apparaître des espèces de plus en plus résistantes à des conditions de vie défavorables. C'est alors que sont produits au fond l'hydrogène sulfure et l'ammoniaque qui rendent toute vie impossible, tandis que certaines algues toxiques colorent les eaux et éliminent la faune vivante en surface.

Exemples de lacs plus ou moins gravement touchés par le phénomène d'eutrophication : Lacs de Constance et de Neuchâtel, lac de Zurich, Grands Lacs Américains...

L'eutrophication des rivières

Dans les rivières, l'eutrophication se manifeste en période d'étiage, c'est-à-dire lorsque l'écoulement des eaux est très faible et que les sels nutritifs ont le temps d'être consommés par les algues. Elle est favorisée par l'augmentation de la lumière et de la température de l'eau qui stimule la photosynthèse. C'est donc préférentiellement au printemps que les végétaux, principalement des micro-algues, vont se développer et altérer la qualité de l'eau : diminution de la transparence, apparition d'espèces d'algues toxiques.

Le phénomène d'eutrophication est très répandu dans les rivières de France, on peut citer pour exemple, en région méditerranéenne, le Lez, la Durance, l'Hérault, le Vidourle...

L'eutrophisation : un phénomène dynamique

Il est important d'insister sur le fait que l'eutrophisation n'est pas un état mais un processus, ce qui implique une notion de dynamique qui va se traduire par une évolution du milieu.

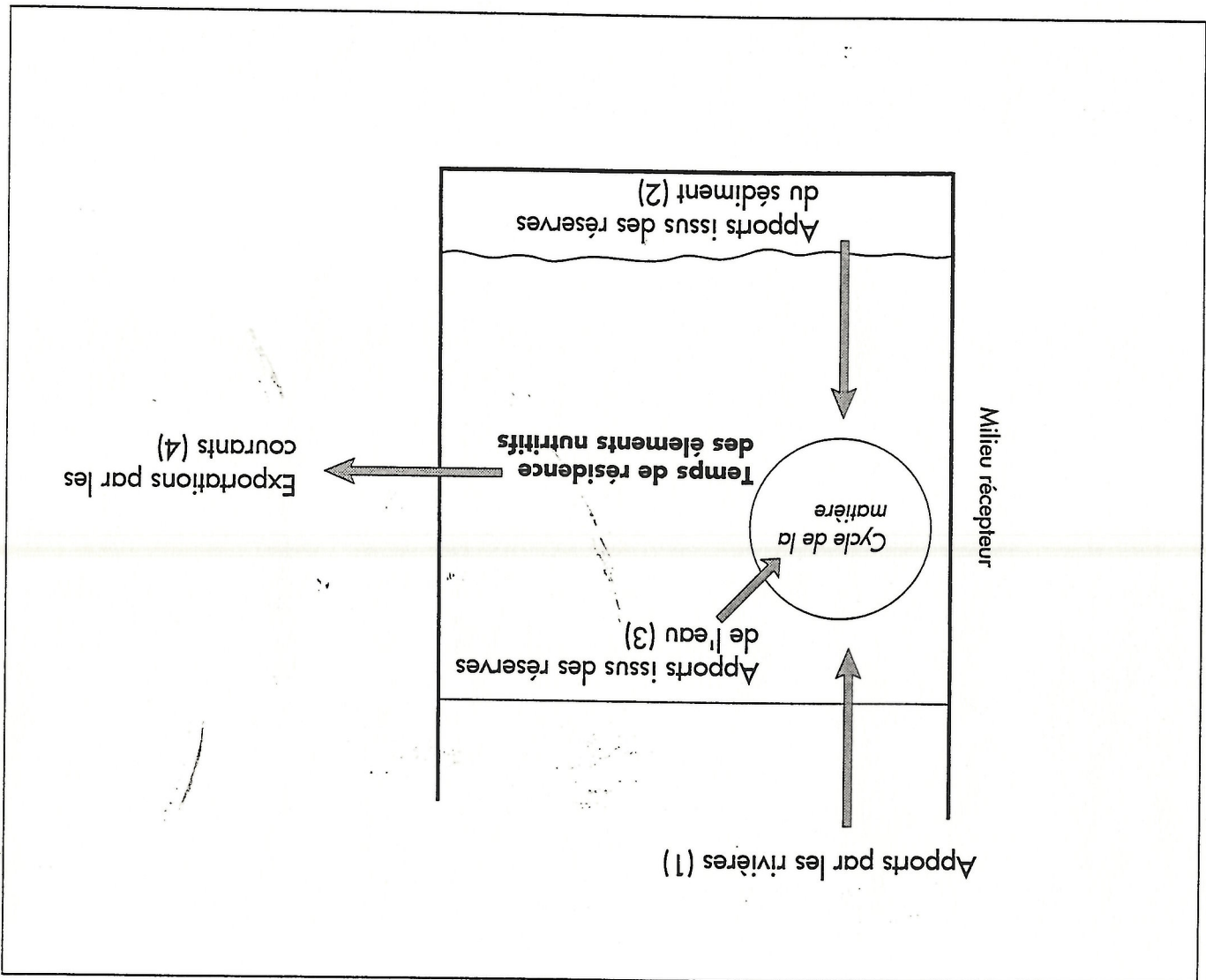
Pour un milieu donné, il y a eutrophisation si les apports en sels nutritifs sont plus importants que les exportations et si les sels nutritifs restent suffisamment longtemps dans le milieu pour être consommés par les végétaux. On parle de temps de résidence des éléments (figure 2).

Ce temps de résidence va conditionner la sensibilité du milieu récepteur à l'eutrophisation. Cette sensibilité du milieu récepteur dépendra, d'une part, des caractéristiques du bassin versant (superficie, pluviométrie, apports en matières nutritives...) et, d'autre part, de celles du milieu récepteur lui-même (confinement de la zone, nature du sédiment, agitation de l'eau...).

Il ne faut donc pas confondre l'eutrophisation, qui se définit comme un phénomène d'enrichissement du milieu en matières nutritives, avec ses manifestations éventuelles car l'eutrophisation peut ne pas engendrer de nuisances, tout va dépendre des conditions naturelles du milieu.

cf. seq. 6.2.1

L'eutrophication est un facteur dynamique qui dépend du temps de résidence des éléments nutritifs dans le milieu récepteur



Si $(1) + (2) + (3) = (4)$ (exportations équivalentes aux apports) :

il peut y avoir eutrophication si le temps de résidence des éléments nutritifs est assez long.

Si $(1) + (2) + (3) > (4)$ (apports supérieurs aux exportations) :

il y a eutrophication avec risque à plus ou moins long terme d'apparition de nuisances en fonction du temps de résidence des éléments nutritifs dans l'eau.

Figure 2

Chapitre 2 :
les manifestations de
l'eutrophisation

- Chapitre 2 : les manifestations de l'eutrophication -

Quelles sont les nuisances liées à l'eutrophication ?

Les nuisances liées à l'eutrophication peuvent prendre différents aspects. D'une façon générale, on admet que l'eutrophication se traduit par un développement excessif des végétaux, macrophytes ou microphytes. Mais, il faut également prendre en compte les modifications de la faune benthique

(Figure 3).

Perturbations du milieu : eutrophication... ou pas eutrophication ?

Phénomènes liés à l'eutrophication

Développement excessif de macroalgues
Mares vertes
Maladies

Modifications de la structure des communautés benthiques
Disparition des espèces sensibles
Apparition d'espèces opportunistes
=> Notion de bioindicateurs de l'enrichissement du milieu

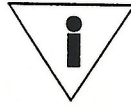
Modifications des paramètres physico-chimiques de l'eau et du sédiment
Diminution de la teneur en oxygène
Augmentation de la teneur en carbone organique
Modification du potentiel rédox

Phénomènes pouvant être liés ou non à l'eutrophication

Développement excessif de microalgues

Le développement de microalgues est tout à fait naturel au printemps. Ces algues peuvent se concentrer sous l'effet de facteurs hydroclimatiques et former des eaux colorées comme les développements de microalgues favorisés par l'eutrophication.

Phénomènes n'étant pas liés de façon directe à l'eutrophication



Apparition d'algues toxiques

Figure 3

Les développements excessifs de macro-algues

Les développements excessifs de macro-algues peuvent revêtir des formes et des conséquences variées. On les observe notamment sur le littoral breton où ils portent le nom de "marées vertes". Les marées vertes sont sans grandes conséquences écologiques sur le milieu. Dans les étangs languedociens en revanche, le développement des algues peut conduire à de graves perturbations écologiques qui portent le nom de "malalgues".

Les "marées vertes"

On désigne sous le nom de "marées vertes" la prolifération de l'algue verte du genre *Ulva* (communément appelée "salade de mer"). Les marées vertes apparaissent au bord de l'eau sur les plages de sable fin, généralement en fond de baie, en faible pente, au devant d'arrivées d'eau douce chargées en sels nutritifs. L'enrichissement du milieu est dû au confinement hydrodynamique de la zone qui entraîne un piégeage des sels nutritifs et des algues. Le développement des algues est favorisé par la houle qui assure une bonne oxygénation de l'eau et la faible profondeur qui maintient une température optimale au développement végétal et assure une lumière maximale qui favorise la photosynthèse. Cette manifestation de l'eutrophisation est fréquente surtout sur les plages bretonnes : Baies de Saint-Briec, de Lannion, de Douarnenez...

Les "malaigues"

Les étangs littoraux, de par leur caractère fermé, sont très sensibles à l'eutrophisation et subissent un phénomène caractéristique appelé "malaigues" ou mauvaises eaux.

Un important déséquilibre du milieu

La "malaigue" apparaît principalement en été, il s'agit d'un épisode au cours duquel les eaux lagunaires deviennent particulièrement turbides et changent de couleur : habituellement vertes en raison des floraisons printanières de micro-algues, elles virent littéralement au rouge ou au blanc, parfois au brun. Cette modification de la couleur s'accompagne d'un dégagement nauséabond d'hydrogène sulfuré (odeur d'oeuf pourri) (**figure 4**).

A cela s'ajoutent des modifications importantes des qualités physiques et chimiques du milieu. Il y a en effet une acidification de l'eau et une diminution de la teneur en oxygène dissous qui rendent le milieu impropre à la vie de la plupart des organismes aquatiques. Des mortalités massives de poissons, crustacés et coquillages sont alors enregistrées.

Certaines bactéries utilisent l'hydrogène sulfuré pour fabriquer de la matière organique par photosynthèse, elles permettent donc une diminution du taux d'hydrogène sulfuré qui, associée à une réoxygénation des eaux par un coup de vent, permet un retour à des conditions de vie favorables.

Un phénomène naturel amplifié par les conséquences de l'activité humaine.

Les lagunes sont des milieux fermés où les matières nutritives ont tendance à s'accumuler. Les facteurs déclenchant l'apparition du phénomène sont essentiellement d'ordre climatique (température, vent...). Il peut donc apparaître indépendamment de toute influence des activités humaines. Si le caractère naturel de la malaigue ne fait aucun doute, la responsabilité des activités humaines vis-à-vis de la fréquence du phénomène est importante.

Les étapes de la malaise

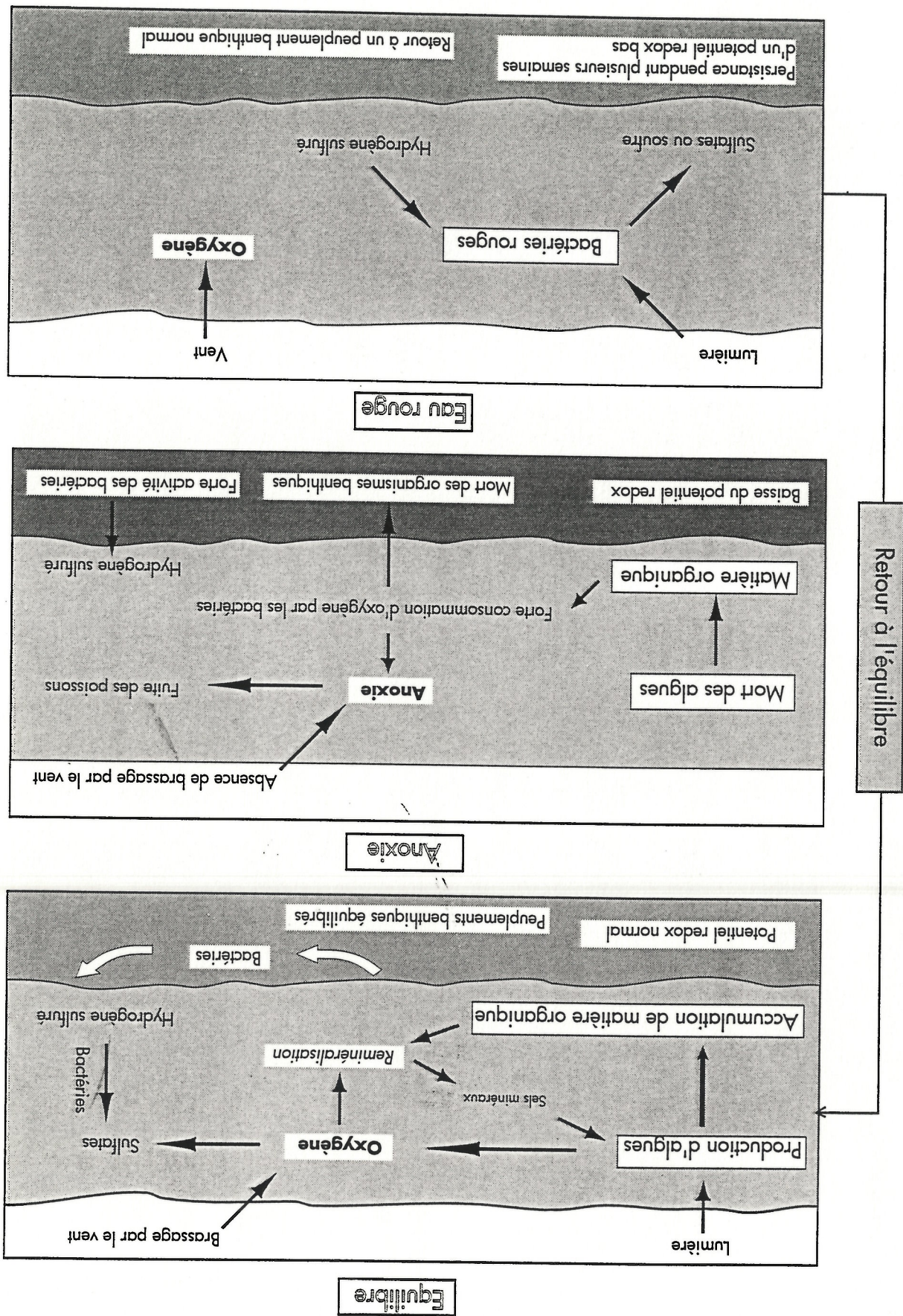


Figure 4 (d'après Frisoni, IARE 1990)

Les développements excessifs de micro-algues

Communément appelées "eaux colorées" les développements de micro-algues sont des phénomènes connus depuis très longtemps. Compte tenu de la confusion qui règne quant à leurs "relations" avec l'eutrophication, notamment en ce qui concerne l'apparition des phénomènes de toxicité, il apparaît d'emblée nécessaire de faire une mise au point sur la question.

Les développements de phytoplancton apparaissent de façon tout à fait naturelle au printemps mais peuvent également être favorisés par des apports supplémentaires en sels nutritifs et donc par l'eutrophication. Il n'y aura apparition d'eau colorée que dans la mesure où il existe un mécanisme hydrodynamique de concentration des micro-algues. Ces algues peuvent ensuite être dispersées à la faveur de conditions climatiques ou hydrodynamiques (vent, courants...), ou mourir sur place par manque de sels nutritifs ou par excès de lumière. Dans ce cas, la dégradation de la matière organique peut, comme dans le cas des étangs languedociens, provoquer un important déficit en oxygène du milieu et entraîner la mort des organismes marins : coquillages, crustacés, poissons par asphyxie.

En ce qui concerne les micro-algues toxiques qui entraînent régulièrement l'interdiction des coquillages à la vente, il n'a jusqu'alors jamais été prouvé par les études scientifiques qu'il y avait un lien direct entre eutrophication du milieu et apparition d'espèces d'algues toxiques. Les cas d'apparition d'algues toxiques en lagunes sont d'ailleurs très rares alors qu'il s'agit de milieux généralement fortement eutrophisés.

Les concentrations sont d'ailleurs souvent faibles par rapport à celles des "eaux colorées"

Un exemple de développement phytoplanctonique :
les "eaux sales" de l'Adriatique

Les côtes du nord de l'Adriatique ont vu se développer ces dernières années le phénomène des "eaux sales" dont sont responsables des micro-algues qui fabriquent du "gel". Ce gel ou mucilage couvre la surface de la mer sur plusieurs milliers de km², perturbant de façon importante l'activité touristique de la région ainsi que la pêche. Par ailleurs, à la mort des algues, un phénomène d'anoxie peut apparaître comme dans le cas des malaïgues. L'apparition de ce phénomène serait liée à la pollution apportée par le Pô et quelques autres rivières de moindre importance. La dispersion des algues mucilagineuses se fait à la faveur de conditions hydrodynamiques (courant nord/sud) ou climatiques (fort coup de vent).

Pourquoi les macro-algues plutôt que les micro-algues ?

Il existe une compétition entre micro et macro-algues qui dépend des conditions hydrologiques et de la profondeur du milieu. Un milieu profond est plutôt favorable au développement du phytoplancton qui vit à proximité de la surface alors que les macro-algues, qui se développent sur le fond, seront défavorisées par une baisse de l'intensité lumineuse si le milieu est trop profond.

Et les peuplements animaux benthiques ?

L'aspect spectaculaire des blooms végétaux est tel qu'on oublie de penser que l'eutrophication a des conséquences moins visibles notamment sur la faune vivante sur le fond, le benthos.

Les peuplements benthiques se caractérisent par différents paramètres :

- la richesse spécifique, c'est-à-dire le nombre d'espèces qui composent ce peuplement,
- la densité, c'est-à-dire le nombre d'individus présents sur une surface donnée,
- la diversité biologique qui dépend à la fois du nombre d'espèces présentes et de leur abondance respective et qui met de ce fait en évidence la prolifération ou non d'une espèce par rapport aux autres,
- les régimes alimentaires des espèces qui donnent des indications sur les conditions du milieu en particulier les conditions hydrodynamiques et le degré d'enrichissement en substances nutritives du milieu. On distingue trois grands types de régime alimentaire : les suspensivores, les détritivores et les carnivores.

Les régimes alimentaires des animaux marins benthiques

- Les **suspensivores** se nourrissent des particules organiques en suspension dans l'eau en filtrant l'eau. Ces particules sont de très petite taille et peuvent être des fragments d'animaux ou de végétaux en décomposition ou des organismes planctoniques vivants.
- Les **détritivores** se nourrissent des particules organiques déposées sur le fond.
- Et les **carnivores** se nourrissent de petits animaux vivants. Contrairement aux suspensivores qui mangent "ce qui passe à leur portée" grâce aux courants, les carnivores sont capables de capturer leurs proies de façon active et sont aussi souvent des nécrophages, c'est-à-dire des consommateurs de cadavres.

D'une façon générale, un enrichissement du milieu va provoquer (figure 5) :

- 1°- Une *diminution de la richesse spécifique* car les espèces les moins tolérantes vis-à-vis d'une pollution organique ne pourront en effet survivre.
- 2°- Une *diminution de la diversité* qui se traduit par la prolifération d'espèces dites "opportunistes", ces espèces, capables de supporter une augmentation de la teneur en matière organique vont se développer et occuper la place laissée libre par les espèces plus fragiles.
- 3°- La densité ne diminue pas forcément du fait de la prolifération de ces espèces opportunistes et tend même à augmenter.
- 4°- Un *changement du régime alimentaire* dominant car les espèces suspensivores vont être remplacées par des espèces détritivores. L'augmentation de la quantité de particules organiques dans l'eau va en effet contribuer à colmater le système de filtration de l'eau des suspensivores, tandis que l'accumulation de la matière organique sur le fond sera bénéfique à l'alimentation des détritivores.

Impact de l'enrichissement en matière organique d'un milieu naturel marin

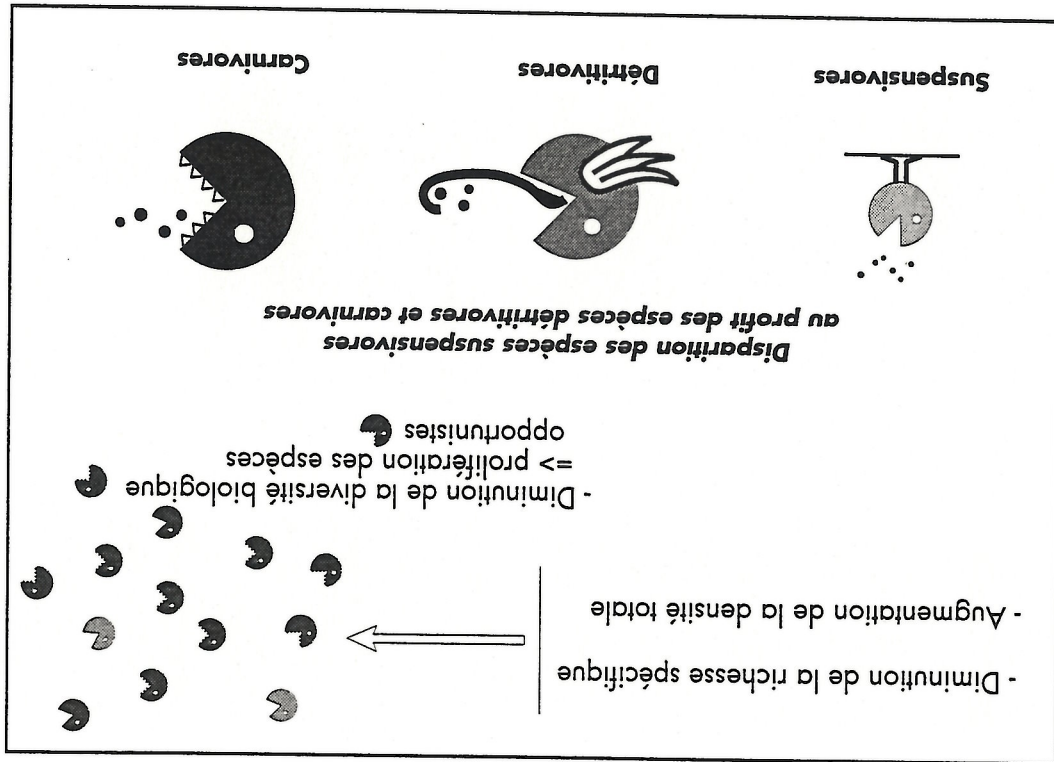
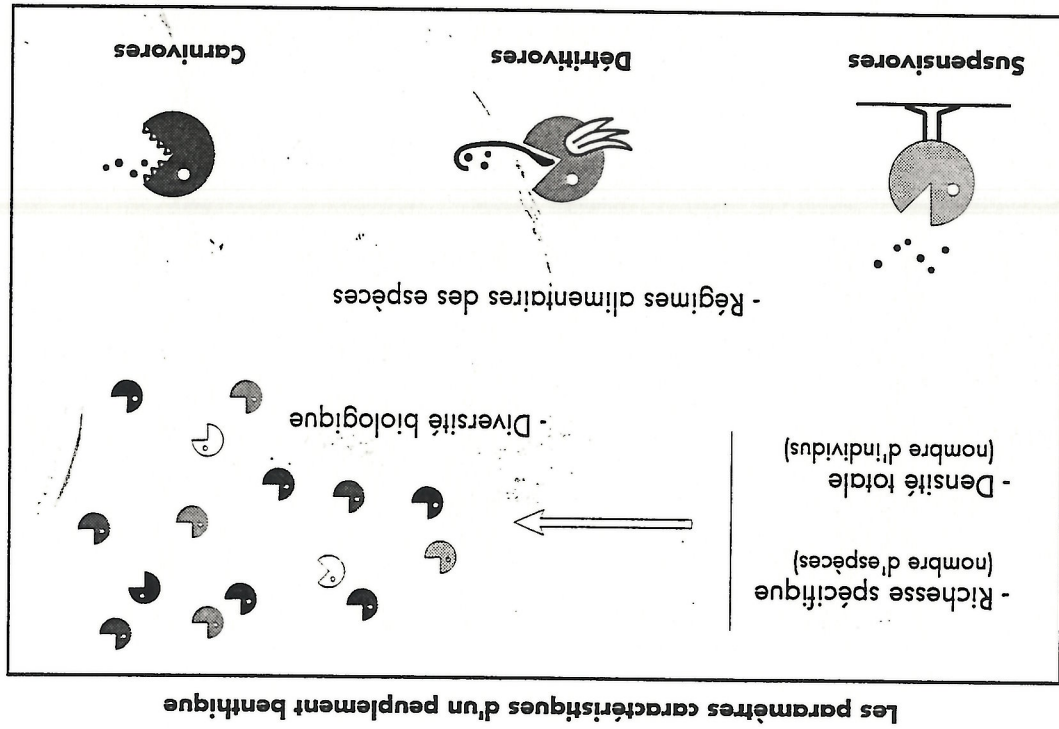


Figure 5

Quelles sont les conditions favorables à l'apparition des nuisances ?

L'idée la plus logique et la plus répandue est que teneur élevée en sels nutritifs signifie eutrophisation et que l'eutrophisation se manifeste forcément par un fort développement d'algues.

En réalité, les choses ne sont pas aussi simples :

- D'abord parce que l'eutrophisation ne se manifeste pas toujours de façon visible. Il peut y avoir enrichissement du milieu sans une explosion de végétation, mais avec une modification de la composition des peuplements animaux vivant sur le fond.
- Parce que les végétaux seront plus sensibles à des apports en sels nutritifs (azote, phosphore), tandis que les peuplements animaux seront plus sensibles aux apports en particules organiques.
- Parce que des apports relativement peu importants peuvent avoir des conséquences néfastes pour le milieu.

Il est donc très difficile, voire impossible, d'établir des règles générales quant à l'apparition de tel ou tel type de nuisances, compte tenu du nombre important de facteurs mis en cause. Hormis toutefois le fait que les nuisances liées à l'eutrophisation ne se manifestent jamais dans des zones à fort courant.

Les apports en sels nutritifs ne peuvent donc expliquer à eux seuls l'apparition de nuisances liées à l'eutrophisation qui va en réalité surtout dépendre

(figure 6) :

- 1° - de la sensibilité du bassin versant,
- 2° - de la sensibilité du milieu récepteur.

La sensibilité du milieu naturel à l'eutrophisation dépend de nombreux facteurs

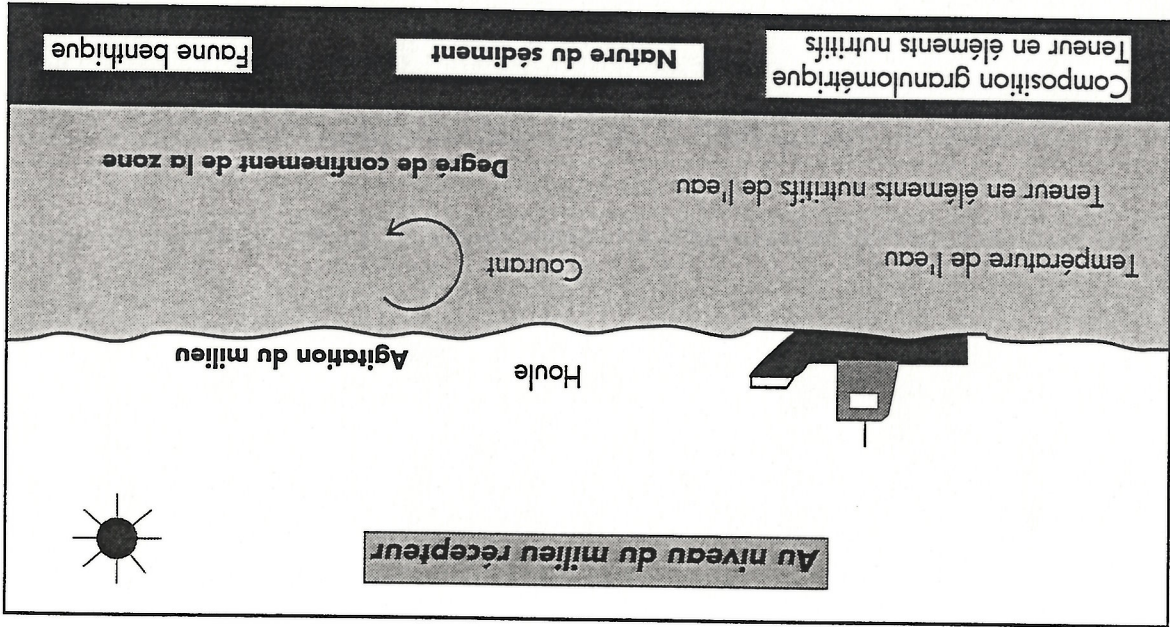
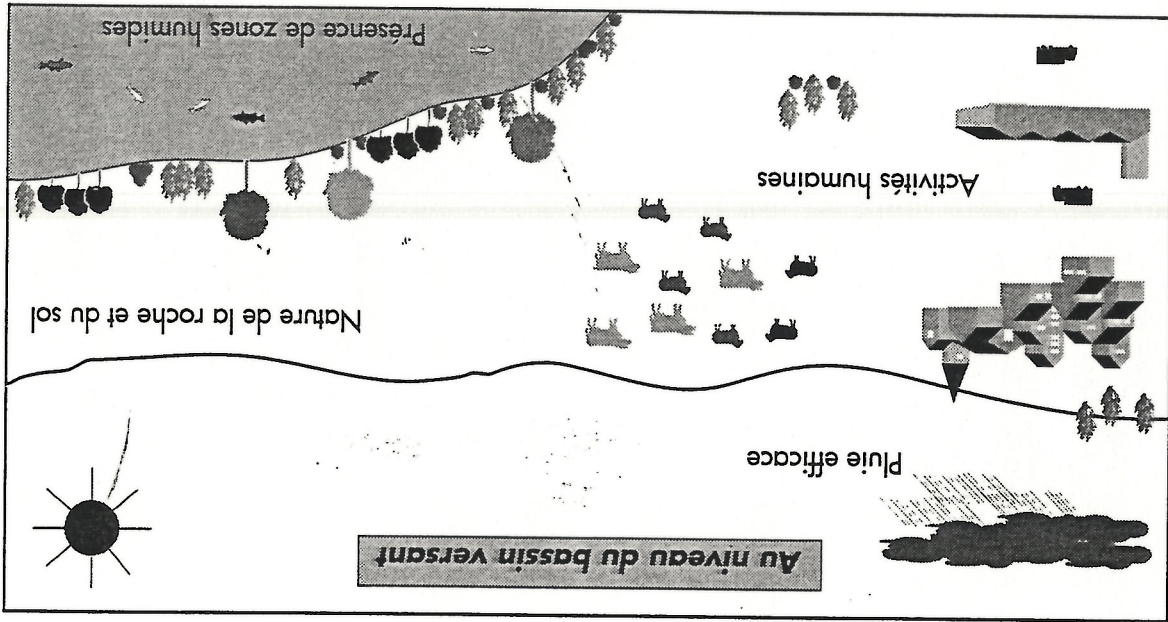


Figure 6

Les facteurs de sensibilité du bassin versant :

Les facteurs naturels :

- La pluie efficace correspond à l'eau potentiellement disponible pour l'infiltration et le ruissellement, c'est-à-dire pour le transport des sels minéraux vers le littoral. En effet, une partie de l'eau qui arrive au sol est absorbée par les végétaux et rejetée dans l'atmosphère au cours de la photosynthèse. Un bassin versant riche en végétation naturelle (forêt, lande, garrigue...) diminuera donc le risque d'eutrophication littorale contrairement aux terres agricoles qui sont régulièrement mises à nu et sur lesquelles l'eau sera peu retenue.

- La nature de la roche et du sol sur le bassin versant vont avoir une influence sur ses capacités de rétention de l'eau et vont donc conditionner le régime hydrologique des rivières (importance des crues et des étiages) et par là même l'efficacité du transport des sels nutritifs. Les roches de type calcaire, par exemple, retiennent l'eau beaucoup plus que les roches de type granitique. Les variations des régimes hydrologiques seront donc moins brutales dans le cas des roches calcaires. Par ailleurs, un sol argileux sera imperméable et favorisera le ruissellement de l'eau alors qu'un sol de type hydromorphe, tel que les alluvions (dépôts fluviaux anciens), retiendra davantage l'eau.

- Les végétaux des zones humides (marais, marécages, berges des cours d'eau...) régulent les écoulements d'eau et assurent une partie de l'auto-épuraton naturelle du milieu en consommant les sels nutritifs. La présence de nombreuses zones humides sur le bassin versant est donc un facteur qui limite la sensibilité du milieu à l'eutrophication.

- La surface du bassin versant conditionne en partie les quantités de sels nutritifs qui pourront y circuler et être apportées à la mer : un bassin versant étendu apportera potentiellement davantage de sels nutritifs au milieu récepteur qu'un bassin de faible surface.

Les facteurs anthropiques :

- Les apports en sels nutritifs et en matière organique sont liés aux différentes activités humaines qui s'exercent sur le bassin versant : urbanisation, activités agricoles ou industrielles. Les teneurs dans les eaux du bassin versant vont dépendre d'une part, de la nature et de l'intensité de ces activités humaines et d'autre part, de l'effort des traitements d'épuration réalisés.

Les facteurs de sensibilité du milieu récepteur :

Les facteurs naturels :

- Le confinement de la zone est, de loin, le facteur déterminant dans l'apparition d'une manifestation d'eutrophication car il conditionne le temps de résidence des sels nutritifs dans le milieu. En effet, plus les éléments nutritifs resteront longtemps dans le milieu, plus ils auront le temps d'être consommés par les algues. Le confinement peut être du soit à des facteurs géographiques, c'est le cas des lagunes qui forment des milieux quasi-fermés, soit à des facteurs hydrologiques comme c'est le cas dans différentes baies bretonnes au fond desquelles les sels nutritifs sont piégés du fait des courants qui les empêchent d'être dispersés vers le large.

- La nature du sédiment favorise ou non le développement des algues : la remise en suspension d'un sédiment trop vaseux nuira au bon déroulement de la photosynthèse par diminution de la lumière. À l'inverse, un sédiment trop grossier piégera moins de phosphore favorable à la croissance des algues. Notons que si le plus souvent le sédiment est enrichi par les dépôts de matières nutritives contenues dans l'eau, il peut également y avoir enrichissement direct du sédiment en matières nutritives. C'est le cas par exemple des milieux fermés tels que les lagunes qui sont le siège d'une importante activité conchylicole ou piscicole.

- La température de l'eau a une influence sur le développement des algues qui sera défavorisé si elle est trop faible ou trop forte.

- L'agitation du milieu (courants, houle, marée...) favorise l'oxygénation de l'eau en créant un mélange eau/air et la dispersion du phytoplancton. Un milieu peu agité va donc permettre une concentration des algues et des sels nutritifs et favoriser l'apparition de crises anoxiques (carence en oxygène) liées à l'eutrophisation (cf. chapitre 3).

Les facteurs anthropiques :

- Les teneurs en sels nutritifs et matière organique dans l'eau et le sédiment constitueront finalement le facteur déterminant du développement des algues si toutefois l'ensemble de conditions préalablement citées y sont favorables. Ces teneurs vont être le résultat des interactions entre tous les facteurs cités précédemment.

Chapitre 3 :
eutrophisation : nuisance
ou bienfait ?

- Chapitre 3: eutrophisation, nuisance ou bienfait ? -

Nuisance...

L'eutrophisation, est avant tout un déséquilibre dans le fonctionnement normal d'un milieu, qu'il soit d'origine naturel ou anthropique. Ce déséquilibre engendre d'importantes nuisances dans les milieux sensibles : développement excessif d'algues, mort des animaux vivants sur le fond par asphyxie, changements dans la composition des peuplements animaux. Ses conséquences sur l'activité économique n'est pas non plus négligeable : perturbation des activités conchylicoles et piscicoles, des activités de tourisme et de loisirs, effort de ramassage des algues etc.

ou...bienfait ?

Pourtant l'enrichissement des milieux n'est pas une mauvaise chose en soi comme en témoigne le phénomène naturel d'upwelling : quand les eaux froides riches en sels nutritifs remontent le long des côtes, elles favorisent la croissance végétale, essentiellement phytoplanctonique, puis indirectement celle du zooplancton, des autres organismes planctoniques etc. Il y a alors enrichissement général de la chaîne alimentaire et donc, en dernier lieu, des peuplements de poissons. Cette eutrophisation naturelle est très importante pour l'économie de la pêche de certains pays comme le Pérou. On peut donc

(on le gaffe au km)

imaginer qu'un enrichissement modéré du milieu marin, lié aux activités humaines, favorise sa productivité de façon rentable en termes économiques. Il est d'ailleurs admis qu'un certain enrichissement dû à des apports de matières nutritives d'origine anthropique est nécessaire au maintien d'une activité conchylicole et piscicole rentable.

non pour l'élevage

D'autre part, il faut remarquer que les perturbations écologiques liées à un enrichissement du milieu ne sont pas irréversibles. Qu'il s'agisse des marées vertes, des malaïgues, des eaux colorées ou des modifications de la faune benthiques, le retour à la normal du milieu se fait rapidement dans la mesure où la cause du déséquilibre cesse.

Les malaïgues permettent une "purification" momentanée de l'étang

L'enrichissement en sels nutritifs des eaux lagunaires favorise le développement des algues. Dans les conditions "normales", les algues mortes se déposent sur le fond. Leur minéralisation trop lente provoque une accumulation de ces algues sur le fond qui crée des conditions anoxiques incompatibles avec le maintien d'une vie benthique.

Au cours de la malaïgue se créent des conditions favorables au développement de bactéries minéralisatrices qui vont fortement accélérer le processus de dégradation des algues. La matière organique va alors repasser sous forme minérale, l'accumulation importante des algues sur le fond va disparaître et la vie benthique pourra alors se réinstaller... jusqu'à la prochaine crise, l'été suivant.

Vers une gestion de l'eutrophication

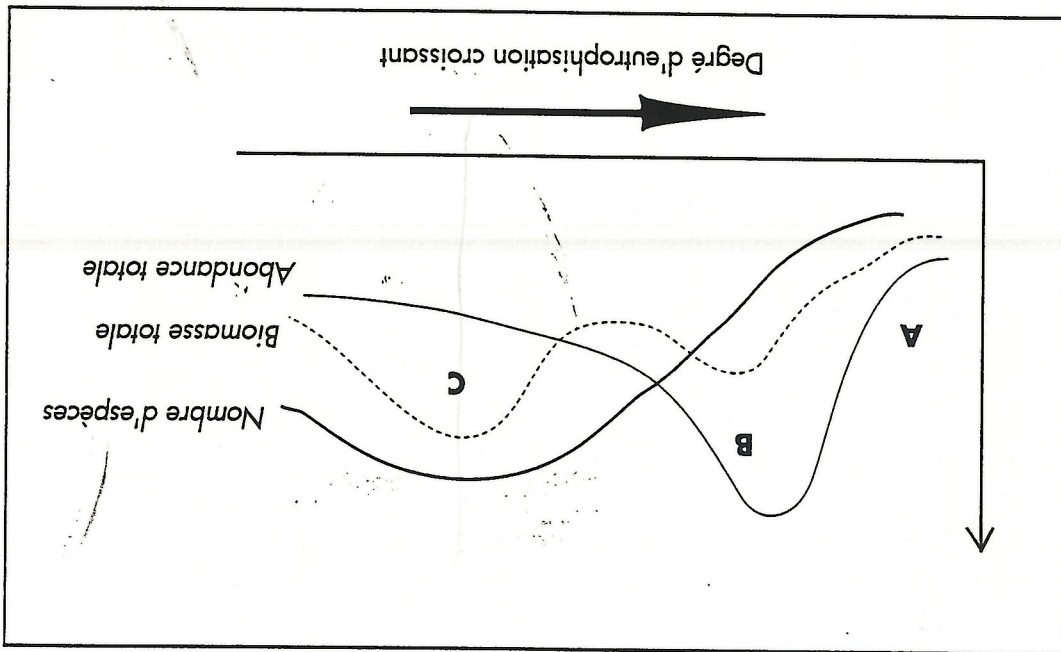
Il est certain que dans certaines zones, l'enrichissement du milieu par des apports anthropiques en sels nutritifs peut, d'une certaine façon, être bénéfique au développement d'une vie plus florissante.

Un objectif intéressant serait de "gérer" l'eutrophication afin d'atteindre une teneur en sels nutritifs "idéale", c'est-à-dire un compromis entre équilibre du milieu et richesse biologique.

Il faudrait pour cela avoir un moyen de contrôle de l'eutrophication et donc avant tout savoir la mesurer avant de mettre en place des mesures qui en limiteraient les conséquences néfastes.

Dans ce contexte, l'intensité des modifications de la faune benthique, qui ne sont pas toujours visibles car elles ne provoquent pas de nuisances, va pouvoir être utilisée comme une "mesure" du degré d'enrichissement (figure 7).

Connaître la structure des peuplements benthiques pour mieux gérer l'eutrophication



A : le milieu est fortement eutrophisé et la faune benthique est pauvre, tant en qualité qu'en quantité.

Il s'agit d'un milieu à restaurer par une amélioration de la qualité des eaux et une diminution des apports en matières nutritives.

B : L'eutrophication est moyenne, ce qui se traduit par une diminution du nombre d'espèces et une augmentation du nombre d'individus d'espèces dites "opportunistes" qui se développent bien dans les milieux enrichis.

C'est un milieu qui peut être favorable à l'amélioration de la productivité d'une exploitation aquacole ou conchylicole et dont le degré d'eutrophication doit être contrôlé.

C : L'eutrophication est faible ou nulle, ce qui se traduit par un peuplement benthique équilibré : nombre important d'espèces sans prédominance d'une espèce par rapport aux autres.

La productivité naturelle du milieu est faible, mais les eaux, de qualité, sont favorables à la mise en œuvre d'une production aquacole ou conchylicole intensive par apports extérieurs (et contrôlés) des éléments nutritifs indispensables.

Figure 7

Chapitre 4 :
comment mesurer
l'eutrophisation ?

- Chapitre 4 : comment mesurer l'eutrophication ? -

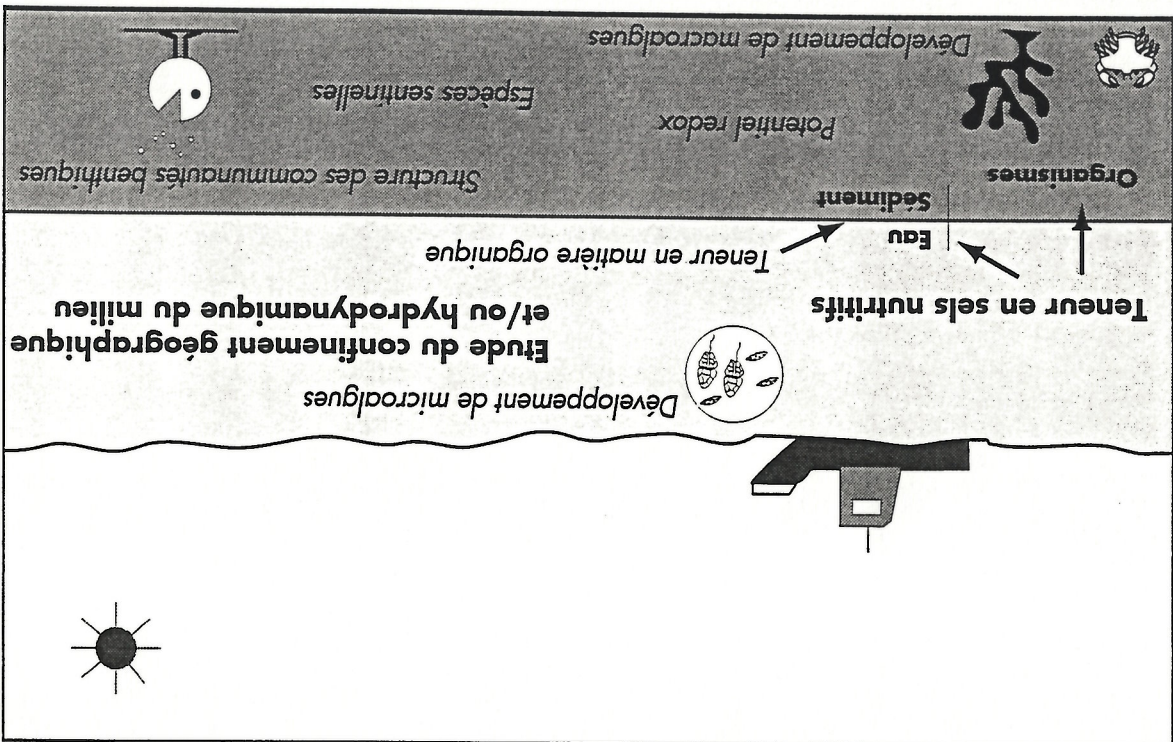
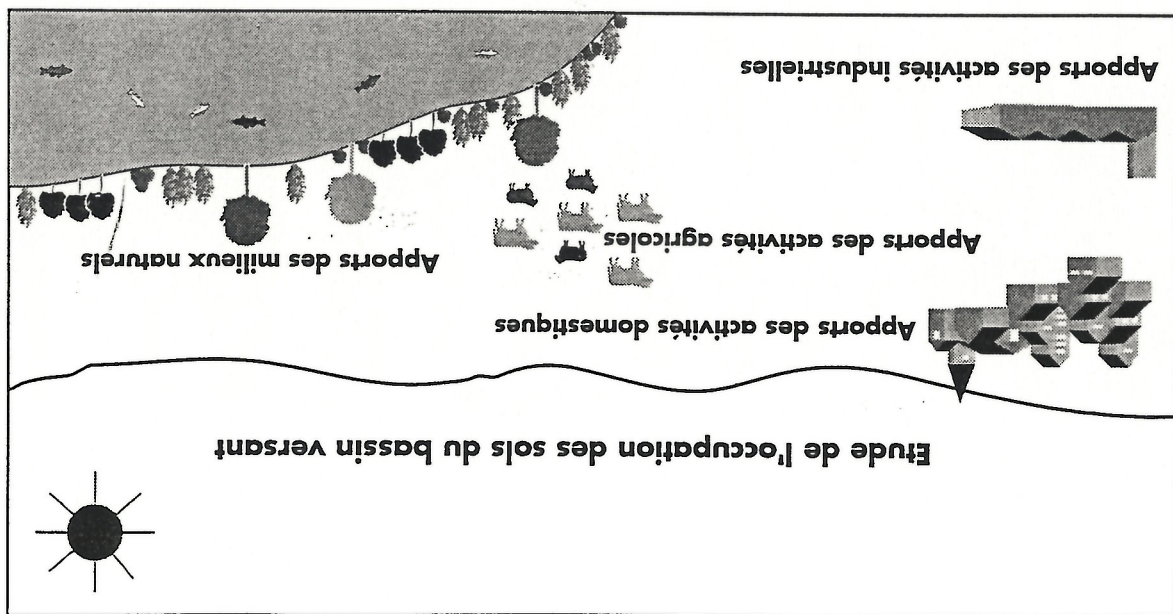
Les mesures de l'eutrophication s'orientent selon deux axes principaux :

- d'une part l'évaluation du **risque d'apparition de nuisances,**
- d'autre part les **effets de l'enrichissement** du milieu.

On peut y ajouter un troisième axe qui concerne la mesure de l'**évolution** du phénomène dans le temps à des fins de suivi ou de prévision.

Il existe donc un éventail assez large de méthodes de mesures de l'eutrophication, plus ou moins complémentaires et plus ou moins faciles à mettre en œuvre et il s'agit d'adapter au mieux la ou les mesures utilisées aux objectifs recherchés (figure 8).

Mesurer l'eutrophisation pour mieux connaître son origine et ses effets



LEGENDE :

En gras sont indiquées les mesures qui permettent d'évaluer le **risque** d'eutrophisation. En italique sont indiquées les mesures qui permettent d'évaluer les effets de l'eutrophisation.

Figure 8

Evaluer le risque d'apparition de nuisances liées à l'eutrophication

Le risque d'apparition de nuisances est lié à divers facteurs en relation avec la sensibilité du bassin versant et du milieu récepteur (cf chapitre .2).

Comment évaluer la sensibilité du bassin versant ?

L'objectif est de connaître la nature et la quantité d'éléments nutritifs qui arrive au milieu récepteur.

Les sels nutritifs et matière organique qui arrivent au milieu récepteur, issus du bassin versant, peuvent avoir plusieurs origines : agricole, domestique, industrielle ou naturelle.

✓ Déterminer la forme des matières nutritives

Les matières nutritives peuvent arriver au milieu récepteur sous forme de sels nutritifs directement assimilables par les végétaux et/ou sous forme de particules organiques qui vont d'abord affecter la faune benthique. Il est important d'en déterminer la nature afin d'adapter les éventuels moyens de traitements réalisés en amont.

✓ Evaluer les rejets en matières nutritives

L'évaluation des rejets peut être faite par l'étude de l'occupation des sols du bassin versant. Les différentes sources d'azote et de phosphore sont quantifiées grâce à l'utilisation de ratios estimés ou tirés de l'expérimentation et de la bibliographie (figure 9).

Deux outils principaux permettent d'évaluer les apports diffus : le cadastre et le Recensement Général de l'Agriculture. Le cadastre donne en effet une image de l'occupation des sols sur l'ensemble des communes concernées. Quatre types d'occupation des sols sont retenus :

- les terrains agricoles (terres, prés, vergers, vignes, jardins)
- les terrains naturels (bois-taillis, landes, eaux, terrains de sports et de loisirs)
- les terrains à bâtir (terrains à bâtir et terrains bâtis)
- les terrains autres (carrières, routes, ...)

Estimation des apports en matières nutritives dans un milieu récepteur dont le bassin versant est bien défini

Les apports liés aux activités agricoles

Le principe d'évaluation des apports en sels nutritifs liés aux activités agricoles consiste à regrouper les espaces en trois types de cultures :

- les cultures à "risque", susceptibles de fournir de grandes quantités d'azote et de phosphore (céréales, cultures industrielles, légumes secs et protéagineux, légumes frais et pommes de terre, cultures florales, vergers...),
- la vigne, classée à risque élevé pour le phosphore et à risque faible pour l'azote,
- les autres sols agricoles qui correspondent à des risques faibles.

A chaque type de sol est associée une valeur d'exportation de phosphore et d'azote par an et par hectare. Ces ratios sont déterminés par des organismes de recherche comme le CEMAGREF et font l'objet d'évaluations continues. Connaissant la surface du bassin versant, on peut donc calculer les apports.

Les apports liés aux activités industrielles

Les apports des industries peuvent être estimés après enquête auprès des entreprises ou de la DRIRE pour connaître leurs rejets en sels nutritifs et / ou en matière organique.

Les apports liés aux activités domestiques

Les mesures des apports dus aux rejets des eaux domestiques sont basées sur les données de population INSEE. Connaissant les quantités estimées de phosphore et d'azote rejeté par habitant, on peut évaluer les rejets domestiques de sels nutritifs.

Les apports naturels

Les apports des terrains naturels sont considérés comme équivalents à ceux des terrains agricoles à risque faible.

Les apports dus aux précipitations directes sur le milieu récepteur sont calculés d'après l'importance des précipitations, les estimations d'apports atmosphériques en azote et phosphore, et la surface du milieu récepteur.

Les sources d'azote et de phosphore dans l'étang de Thau
 Une double influence domestique et agricole

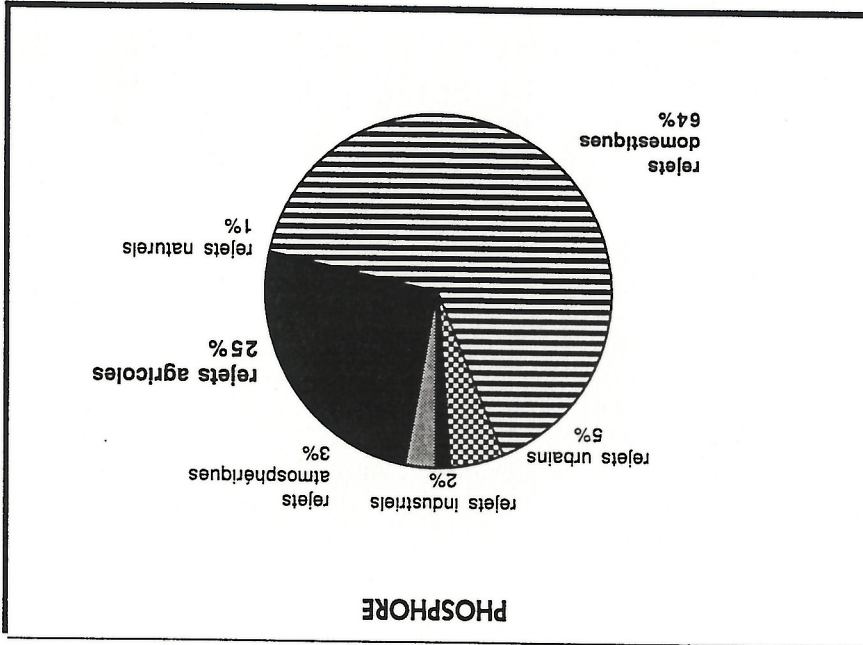
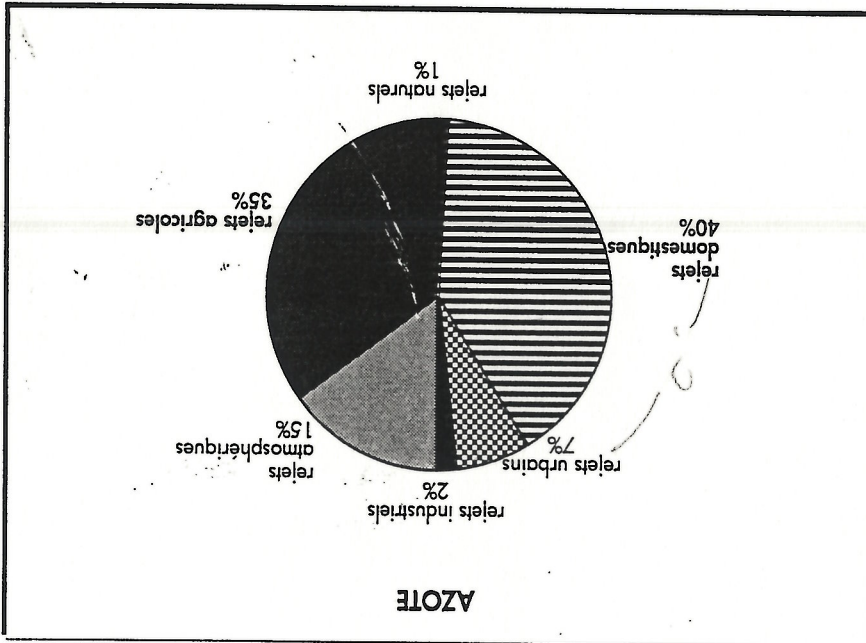


Figure 9

✓ Mesurer les teneurs en matières nutritives

L'azote et le phosphore, comme de nombreux éléments, évoluent selon un cycle (chapitre 1) et sont présents simultanément dans l'eau, le sédiment et les organismes vivants.

Les sels nutritifs présents dans l'eau sont très rapidement consommés par les algues, on trouve donc généralement de faibles quantités d'azote et de phosphore dans l'eau même en cas d'eutrophication.

Il est par conséquent très difficile d'évaluer les quantités de sels nutritifs disponibles pour les végétaux. Il faut alors évaluer les stocks de phosphore et d'azote contenus dans le sédiment et les stocks contenus dans les organismes susceptibles d'être reminéralisés après leur mort.

Notons par ailleurs que les apports en sels nutritifs au milieu marin dépendent en grandes parties des conditions climatiques et sont donc très variables.

Les mesures des teneurs en sels nutritifs, azote ou phosphore, dans l'eau ou le sédiment, ne sont pas, à eux seuls de bons indicateurs de l'eutrophication, ils sont par contre de bons compléments des autres types de mesure.

Comment évaluer la sensibilité du milieu récepteur ?

La sensibilité du milieu récepteur va dépendre essentiellement du degré de confinement de la zone, et pourra être mise en évidence par la recherche d'indicateurs biologiques benthiques.

✓ Déterminer le degré de confinement de la zone

Il est maintenant admis que les nuisances liées à l'eutrophisation ne se manifestent pas dans un milieu où l'hydrodynamisme est fort. Dans une zone parcourue par de forts courants, les sels nutritifs auront un temps de résidence bref dans le milieu récepteur, très vite dispersés, ils ne pourront être consommés par les végétaux. Une mesure des courants dans un milieu récepteur sera donc un élément permettant d'évaluer les risques d'eutrophisation.

✓ Rechercher des indicateurs biologiques benthiques

Certaines espèces benthiques, de par leur présence, sont caractéristiques d'un certain degré d'enrichissement du milieu. Des listes d'espèces et d'associations d'espèces ont ainsi été établies et permettent d'évaluer l'état eutrophe des lagunes en Languedoc-Roussillon. On peut citer, pour exemple, quelques espèces caractéristiques d'un milieu pollué par la matière organique : *Capitella capitata* (mollusque gastéropode), *Scolelepis fuliginosa* (Annélide polychète), *Nereis diversicolor* (Annélide polychète), *Cerianthus membranaceus* (Cnidaire).

Non ?

Mesurer les effets de l'enrichissement du milieu

Les effets de l'enrichissement du milieu peuvent être directs comme c'est le cas des développements de micro et macrophytes. Ils peuvent également être indirects. Ainsi l'enrichissement du milieu aura des effets sur la teneur en matière organique, en oxygène, sur le benthos et les poissons, la structure des communautés ou de l'écosystème.

✓ Les effets directs de l'enrichissement en matières nutritives

• Le développement du phytoplancton

Le phytoplancton peut, sous certaines conditions, servir d'indicateur de l'eutrophication. Certaines espèces sont en effet fréquemment signalées lors d'enrichissement de milieu. Plus simplement, l'augmentation de la teneur en micro-algues ou en chlorophylle peut indiquer des apports accrus en sels nutritifs. Les mesures de ces teneurs sont par ailleurs faciles à mettre en œuvre et donc adaptées à un suivi de routine. Il convient néanmoins de prendre en compte les variabilités naturelles, saisonnières notamment, des peuplements d'algues, la compétition qui peut exister entre macro et micro-algues pour l'utilisation des sels nutritifs qui favorisera l'une ou l'autre forme en fonction des autres paramètres environnementaux, et enfin des teneurs en sels nutritifs.

• Le développement des macro-algues

Les macroalgues sont, quand la profondeur du milieu ne dépasse pas deux mètres, des indicateurs d'eutrophication. Au fur et à mesure de l'enrichissement du milieu, les phanérogames (plantes à fleurs) sont remplacées par les algues rouges et les algues vertes, puis par des algues vertes opportunistes. En fonction du groupe dominant et du type de milieu, on peut donc évaluer l'enrichissement du milieu. La quantité d'algues produites

donnera une indication sur l'importance de l'eutrophisation. Elle peut être évaluée par la quantité d'algues collectées par exemple.

Cette méthode, spécifique aux lagunes saumâtres est cependant limitée aux plans d'eau peu profonds et dépend largement de la salinité moyenne des plans d'eau qui conditionne la nature des peuplements végétaux.

✓ Les effets indirects de l'enrichissement en matières nutritives

• La matière organique

L'enrichissement du milieu va entraîner une augmentation de la teneur en matière organique dans l'eau et les sédiments, provoquer une diminution de la pénétration de la lumière et une accélération de la sédimentation qui va se traduire par une augmentation de la teneur en vase. Des mesures de la transparence de l'eau, de la granulométrie du sédiment ou de la teneur en carbone organique du milieu donneront donc des indications complémentaires quant à l'eutrophie du milieu.

• L'oxygène

Des mesures du taux d'oxygène dans l'eau mettront en évidence une baisse de la teneur en oxygène liée à une consommation de plus en plus importante des bactéries qui décomposent la matière organique. La raréfaction de l'oxygène peut entraîner la mortalité de la faune benthique et des poissons.

• *Le potentiel redox du sédiment*

Le potentiel redox constitue une variable synthétique qui traduit les conditions de renouvellement des eaux du milieu, de la teneur en matière organique, de l'oxygénation du sédiment et de l'activité biologique du sédiment, en particulier celle des bactéries qui assurent la décomposition la matière organique. Il constitue une méthode opérationnelle d'analyse de l'enrichissement organique, diffus ou ponctuel, d'un milieu naturel. Il permet, dans une certaine mesure, d'évaluer l'ancienneté de l'enrichissement et sa réversibilité, ce qui représente un avantage considérable dans la mise en place de procédures de gestion.

Le potentiel redox est évalué en continu le long d'une carotte de 20 cm de hauteur.

Sa mesure est facile et peu coûteuse puisqu'elle ne demande pas de laboratoire et peut être effectuée le jour même du prélèvement. Elle nécessite un prélèvement *in situ*, en plongée lorsque la profondeur est importante mais ce problème devrait être résolu par la mise au point d'un carottier adapté.

Parmi les valeurs obtenues le long du profil, on va en retenir particulièrement deux qui vont permettre de caractériser le degré de pollution organique du sédiment :

- Les valeurs moyennes comprises entre 2 et 4 cm de profondeur traduisent les conditions de vie pour la macrofaune et notamment l'importance des apports en matière organique
- les valeurs moyennes des profondeurs supérieures à 10 cm permettent d'évaluer du sédiment à se restaurer après une importante pollution organique (figure 10).

Il s'agit donc d'un outil opérationnel permettant d'évaluer rapidement le degré d'enrichissement d'un sédiment.

Interprétation des valeurs du potentiel Redox

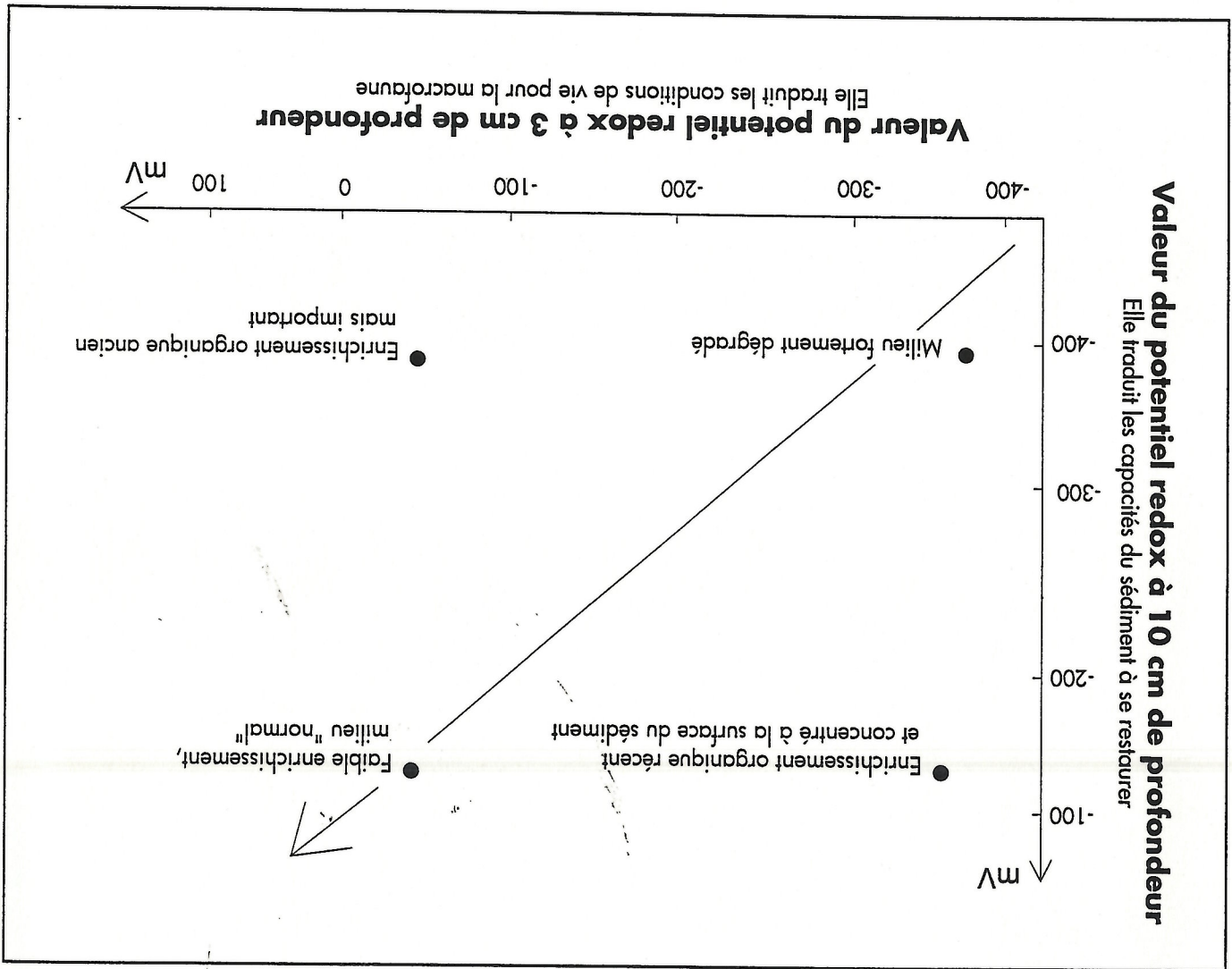


Figure 10

• *La structure de la communauté benthique*

L'enrichissement d'un milieu en matière organique va avoir d'importants impacts sur la faune benthique et les modifications qu'il va engendrer vont pouvoir être utilisées comme des indicateurs de la qualité du milieu.

Il existe par exemple des **espèces indicatrices** dont la présence atteste d'un enrichissement (mais dont l'absence n'est pas signe d'une absence d'enrichissement).

Des **indices de type ratio**, suspensivores/détritivores ou mollusques/polychètes, par exemple permettraient en outre de mettre en relation les caractéristiques de la faune benthique et le niveau d'enrichissement du milieu.

Dans la mesure où il existe des fluctuations rapides et imprévisibles des peuplements liés aux conditions climatiques et à la biologie des espèces (période de reproduction), il est préférable de faire l'analyse de la faune benthique toujours à la même saison, en hiver, période à laquelle les sources de fluctuation des peuplements benthiques sont réduites.

Un exemple d'application : L'étude du fonctionnement de l'étang

de Biguglia (Corse)

Les études menées sur l'étang de Biguglia (IARE, 1992) ont permis d'établir que :

- Les sels nutritifs sont très vite utilisés par les végétaux, il y a donc relativement peu de sels nutritifs dans les eaux.
- Une grande partie des apports provient du bassin versant : apports atmosphériques, lessivage des terrains agricoles, naturels et urbanisés, rejets industriels et domestiques. Il a été calculé qu'un rejet en mer des effluents de la station d'épuration diminuerait de 30 à 45 % les apports en sels nutritifs à l'étang.
- Un entretien du grau favoriserait les exportations vers la mer.
- Au vu des stocks de sels nutritifs contenus dans le sédiment, toute action de réduction des apports ne pourra avoir d'effet qu'à long terme.

Le potentiel redox : un outil pour suivre l'évolution dans le temps du phénomène

Les paramètres liés à l'eau (teneurs en sels nutritifs, en matière organique, nature et quantité de micro ou macro-algues) fournissent des informations sur l'état du milieu au moment même où sont réalisées les mesures. Une mesure fréquente de leur valeur va permettre d'appréhender les variations à court terme du milieu comme par exemple des apports plus ou moins importants en sels nutritifs en fonction des précipitations, des teneurs plus ou moins importantes en micro-algues en fonction de l'ensoleillement etc....

Les paramètres liés au sédiment (teneurs en sels nutritifs du sédiment, potentiel redox, nature et surtout de la faune benthique) ont l'avantage d'intégrer les variations environnementales sur une période beaucoup plus longue en "effaçant" en quelque sorte les variations rapides. Ainsi, un apport en sels nutritifs ponctuel et isolé ne se répercute pas sur les caractéristiques du sédiment, alors que des apports régulièrement croissants, même peu importants vont modifier les conditions d'oxydo-réduction dans le sédiment et la composition qualitative et quantitative des peuplements benthiques. Ces paramètres sont **indicateurs d'une tendance à moyen ou long terme**. La mesure du potentiel redox sur les 1-5-20 premiers cm du sédiment présente en outre l'avantage d'apporter des informations sur l'évolution passée et même future du sédiment. La détermination des ratios concernant le type de régime alimentaire des espèces benthiques permet également d'évaluer le stade d'évolution du milieu.

Les paramètres liés au sédiment, en particulier le potentiel redox et la composition de la faune benthique sont donc mieux adaptés à la **réalisation d'un suivi** qui permettrait de connaître l'évolution de l'eutrophisation et de prévenir à temps la manifestation de ses nuisances.

Néanmoins pour que les outils de l'évaluation de l'enrichissement organique d'un milieu naturel trouvent leur pleine efficacité, il faudrait à l'avenir élargir les bases de données existant sur le benthos, préciser pour chaque milieu les seuils d'apports au-delà desquels il y a perturbation de la chaîne alimentaire, et savoir interpréter de façon simple, précise et standardisée les résultats obtenus.

Les résultats de potentiel redox ou de faune benthique utilisés hors de tout protocole précis et standardisé, permettent cependant une première approche tout à fait satisfaisante de la qualité d'un milieu.

La modélisation : un outil prévisionnel intéressant à mettre au point

La connaissance des différents paramètres du milieu (courantologie, flux d'azote et de phosphore, nature du sédiment...) et de son fonctionnement peut donner lieu à l'élaboration d'un modèle mathématique qui simule, dans la mesure du possible, l'essentiel de ce fonctionnement. Ce modèle va permettre également de prévoir l'évolution de ce milieu en cas de changement de l'un des paramètres. On pourra ainsi prévoir l'influence d'une augmentation ou d'une diminution des apports en sels nutritifs sur la production des algues, ou les effets d'un changement de l'hydrodynamisme sur la dispersion des sels nutritifs et du phytoplancton etc.

Cet outil mathématique peut donc, dans une certaine mesure, aider à la détermination des seuils d'apports en sels nutritifs au-delà desquels il y a apparition de nuisances. Encore difficiles à mettre au point, ces modèles nécessitent à l'heure actuelle des études importantes.

Chapitre 5 :
comment prévenir
l'eutrophisation ?

- Chapitre 5 : comment prévenir l'eutrophisation ? -

La lutte contre l'eutrophisation peut se décliner selon deux grands types de méthodes :

- les méthodes curatives
- les méthodes préventives

L'eutrophisation a été définie comme l'enrichissement en sels nutritifs d'un milieu. On peut donc considérer que les méthodes curatives vont consister à limiter les effets de cet excès de nutriments, alors que les méthodes préventives auront pour objectif de limiter les apports en sels nutritifs au milieu, ce qui est la solution idéale au problème de l'eutrophisation.

Les méthodes curatives

Elles peuvent consister à "effacer" les nuisances de l'eutrophication comme le ramassage des algues, ou à empêcher qu'elles se manifestent en modifiant les conditions de circulation des eaux ou en effectuant des dragages du sédiment pour diminuer les stocks d'azote et de phosphore.

Le ramassage des algues

Sur les côtes bretonnes ou certains étangs palavasiens ont été organisés des ramassages d'algues. Alors qu'en Bretagne les algues échouées sur la plage sont ramassées au bulldozer, la commune de Palavas-les-Flots (Hérault) a fait l'acquisition d'une machine qui ramasse les algues directement dans l'étang. Dans la mesure où les algues sont ensuite entreposées dans les décharges, cela ne fait que "déplacer" le problème de pollution, cette solution n'est néanmoins permise de diminuer considérablement les problèmes de malalgues dans l'étang du Prévost. Il existe par ailleurs des filières de valorisation des algues (compost, alimentation pour animaux...) qui sont peu exploitées pour des raisons de trop faible rentabilité économique.

La lutte contre les algues à Palavas-les-Flots :

La ville de Palavas s'est dotée d'une faucardeuse embarquée sur un bateau qui ramasse les algues déposées sur le fond avant qu'elles ne se décomposent. Cette technique utilisable dans les étangs palavasiens peu profonds permet d'éviter le phénomène de malalgues. Parallèlement, la circulation de l'eau a été améliorée par la mise en place de stations de pompage qui assure la sortie de l'eau des étangs vers la mer. Les entrées d'eau de mer se font par le grau. Cette lutte est menée depuis environ cinq ans, et la baisse des nuisances liées à l'eutrophisation est très sensible.

La modification de la circulation des eaux

Il est désormais clairement établi que l'eutrophisation ne se manifeste sous forme nuisible que dans les milieux confinés, géographiquement comme les lagunes, ou hydrologiquement comme les baies. Limiter le confinement en favorisant la circulation de l'eau permet de réduire considérablement le temps de résidence des sels nutritifs (et de la matière organique) dans le milieu. Ces sels nutritifs sont alors moins disponibles pour les algues, ce qui ralentit leur développement.

Si ce type de mesure semble difficile à mettre en œuvre dans des milieux géographiquement très ouverts, dans les lagunes méditerranéennes en revanche, on pourrait améliorer la circulation des eaux en favorisant les échanges avec la mer, en élargissant les grau et/ou en créant une circulation des eaux de façon artificielle. Le milieu serait ainsi mieux oxygéné et donc moins sensible à l'apparition de malalgues.

Le dragage

Enlever le sédiment, notamment au fond des lagunes est un moyen de diminuer les stocks de sels nutritifs, en particulier le phosphore et de limiter de ce fait le développement des algues. Mais si cela permet d'éviter les malalgues, cela entraîne aussi une profonde modification du milieu et la destruction complète de la faune benthique dont se nourrissent beaucoup d'oiseaux. La recolonisation du milieu par les organismes benthiques se fait relativement vite. Il n'en reste pas moins que le dragage est un procédé coûteux qui nécessite par ailleurs un emplacement pour y déposer les rejets de dragage.

Les méthodes préventives

Diminuer les apports en sels nutritifs au milieu récepteur marin implique d'agir à la fois sur les pollutions diffuses et sur les pollutions localisées et d'intégrer la lutte contre l'eutrophication au sein même de l'aménagement du territoire. Les actions vont pouvoir être menées soit sur le bassin versant, soit sur le littoral.

Les actions qui peuvent être menées sur le bassin versant :

✓ La diminution des pollutions diffuses

1°- Amélioration des pratiques agricoles

La pollution diffuse est essentiellement liée aux pratiques agricoles : utilisation excessive des engrais puis lessivage par la pluie, libération directe des effluents d'élevage dans le milieu naturel...

Pour faire face à ce problème, il est nécessaire de mettre en place une politique volontariste d'incitation à une amélioration des pratiques agricoles :

- optimiser l'utilisation des engrais artificiels, c'est à dire en limiter l'usage au strict nécessaire, fractionner au maximum les apports pour éviter un lessivage ponctuel trop important, tenir compte du cycle biologique des plantes pour réaliser les apports au moment optimal,
- favoriser l'utilisation des engrais naturels,
- mettre en place un système de collecte des effluents d'élevage.

2°- Entretien du réseau d'assainissement

Les apports diffus peuvent également être dus à des rejets domestiques dans les zones à habitat dispersé où le réseau de collecte des eaux usées est insuffisant. Il est évident qu'il convient dans ce cas d'améliorer ce réseau de collecte et d'augmenter le taux de raccordement au système d'assainissement collectif.

3° Valorisation des zones humides

Les végétaux des zones humides jouent un rôle épurateur en consommant les sels nutritifs contenus dans l'eau. Il est donc important de respecter, voire de réhabiliter si nécessaire, les marais, marécages et rivages des rivières. On peut envisager d'utiliser les zones humides comme traitement d'appoint des effluents des stations d'épuration quand le rendement d'élimination de l'azote et du phosphore est insuffisant, s'il est possible de détourner les effluents vers ces zones de lagunage naturel.

✓ Les traitements en station d'épuration

Les effluents des stations d'épuration sont des sources de pollution localisées sur lesquelles il est donc *a priori* plus facile d'agir que sur les sources de pollution diffuses.

1° L'élimination du phosphore

Dans une station biologique classique, on élimine environ seulement un tiers du phosphore. Il existe des procédés de déphosphatation chimique (injection de réactifs tels que sels de fer et d'aluminium ou de la chaux qui ont l'inconvénient d'augmenter le volume des boues) et biologiques qui atteignent les zones anaérobie, anoxie et aérée. Leur efficacité peut atteindre 80% de l'élimination du phosphore mais demande un bon réglage de la station.

2° L'élimination de l'azote

La pollution azotée est éliminée par un système biologique de nitrification/dénitrification des eaux résiduaires (transformation de l'azote organique en azote atmosphérique minéral). Il existe deux procédés principaux : le système de nitrification/dénitrification sur boues activées avec zone anoxique en tête et biofiltration sur lit granulaire immergé. La nitrification des effluents entraîne une augmentation du coût de l'ordre de

25%. Les frais d'exploitation peuvent être majorés d'environ 10% par rapport à un traitement biologique classique. Un traitement en lagunage artificiel peut réduire les teneurs en azote et phosphore des effluents avant leur rejet dans le milieu naturel.

Les rendements d'élimination des stations d'épuration de Morlaix et Toulon

(D'après GUILLAUD *et al.* 1992)

	MORLAIX	TOULON
Type de traitement	biologique	physico-chimique
Ammonium	10%	-16%*
Azote total	32%	6%
Phosphates	13%	5%
Phosphore total	26%	67%

*Il y a eu formation d'ammonium et donc un rendement négatif.

Les nitrates : du point de vue législatif...

Sur le plan communautaire, la directive n°1/676 du 12 décembre 1991 vise à réduire la pollution des eaux par les nitrates à partir de sources agricoles. Devant être transposée en droit interne avant le 1^{er} décembre 1993, elle dispose que les Etats membres doivent définir dans leur territoire des zones vulnérables par référence à la teneur en nitrates ou à l'état d'eutrophisation des eaux.

Sur le plan interne, toute une série de mesures ont été prises ou sont en cours d'élaboration afin de limiter la pollution par les nitrates. Elles concernent en particulier :

- la potabilité des eaux destinées à la consommation humaine;
- la réglementation relative aux périmètres de protection autour des points de captage des eaux;
- les actions spécifiques en zone d'élevage intensif;
- les actions du CORPEN (Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates et les phosphates provenant des activités agricoles);
- l'élaboration d'un code de bonnes pratiques agricoles (CBPA);
- la réglementation au titre des installations classées (activités d'élevage);

Un décret subordonne la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à un inventaire des zones vulnérables qui se décompose en deux parties :

- d'une part les zones atteintes par la pollution dont la teneur en nitrates dépasse 50 mg/l ou qui sont victimes d'une eutrophisation
- d'autre part les zones menacées dont la teneur est comprise entre 40 et 50 mg/l ou qui présentent des signes d'eutrophisation.

Un programme de surveillance est mis en œuvre sur l'ensemble du territoire.

(décret n°93-1038 du 27.08.1993, circulaire du 27.07.1993, circulaire du 21.09.1993 et Arrêté du 22.11.1993, JO du 5.01.1994).

✓ La réutilisation des eaux usées

Les eaux usées qui répondent aux normes sanitaires telles que certaines eaux industrielles ou les eaux d'usage secondaires peuvent être réutilisées en irrigation pour l'entretien par exemple des golfs et des espaces verts. Cette dérivation des effluents constitue une alternative au rejet direct en milieu marin ou lagunaire mais nécessite une étude de risques pour éviter la pollution des nappes phréatiques.

Les actions qui peuvent être menées sur le littoral :

✓ **Effectuer les rejets en mer plutôt que dans les lagunes**

Les nuisances liées à l'eutrophisation ne se manifestent que si le temps de résidence des matières nutritives dans le milieu est long. Il est dans ce cas judicieux de rejeter les effluents dans une zone ou la dispersion des effluents sera importante et rapide et où la faune benthique, en particulier les animaux suspensivores (chapitre 4), pourra contribuer à la dégradation de ces effluents en consommant les particules en suspension. Or c'est en mer ouverte que les courants sont les plus forts. Il est donc préférable de rejeter les effluents en mer plutôt que dans les milieux confinés que sont les lagunes littorales.

Les études de faune benthique au large de Palavas ont ainsi permis de déterminer la zone optimale pour rejeter les effluents de la future station d'épuration de Montpellier. Ce type d'aménagement permettra de limiter les apports d'éléments nutritifs aux lagunes et par voie de conséquence le risque de maladie.

✓ **Des aménagements littoraux adaptés**

Le problème de l'eutrophisation étant avant tout lié à un problème de confinement, il faut s'assurer de la bonne circulation de l'eau lors de la construction de nouvelles infrastructures littorales telles que les digues, les ports, etc., dans les zones soumises à des apports en sels nutritifs et en matière organique. C'est ainsi qu'un simple réaménagement de la zone portuaire de la lagune de Tunis a permis de supprimer les nuisances dues à l'eutrophisation.

L'azote ou le phosphore ?

Pour prévenir de façon optimale les manifestations de l'eutrophisation, il faut, dans chaque zone, définir les caractéristiques de ces manifestations et notamment l'espèce ou les espèces algales incriminées, leurs caractéristiques physiologiques afin de déterminer quel est le sel nutritif dont dépend majoritairement le développement des algues. C'est généralement l'azote ou le phosphore.

Connaitre le facteur responsable de l'eutrophisation permettra de définir le moyen le plus efficace pour limiter ses effets néfastes. Signalons toutefois qu'il est difficile de connaître le sel nutritif responsable de l'eutrophisation et que cela relève d'études scientifiques lourdes et parfois complexes.

S'il s'agit du phosphore,

Le phosphore est principalement rejeté avec les effluents domestiques, il existe des traitements en station d'épuration assez peu onéreux et efficaces qui sont d'ailleurs utilisés dans beaucoup de communes.

Une déphosphatation en station d'épuration doit donc permettre de résoudre en grande partie le problème. Simplement cette solution ne pourra se faire qu'à moyen ou long terme dans la mesure où il faudra que les végétaux aient épuisé les stocks de phosphore contenus dans le sédiment avant que la croissance des algues ne ralentisse puis ne s'arrête faute de "carburant".

Si le responsable de la prolifération algale est l'azote,

Le problème est plus délicat. A priori, un arrêt des rejets en azote dans le milieu marin aura un effet immédiat sur les algues, le problème est de diminuer ces apports en azote qui se font principalement de façon diffuse (pollution d'origine agricole). Là, la seule solution est une rationalisation de l'utilisation des engrais azotés, une remise en question des pratiques culturales, et une collecte et un traitement des eaux sortant des batteries d'élevage.

Il existe des techniques de dénitrification applicables aux stations d'épuration mais d'une part les traitements des nitrates dans les eaux usées est relativement coûteux, d'autre part la plupart des effluents agricoles se déversent directement dans le milieu naturel, y compris les effluents d'élevage, qui pourraient facilement être récupérés mais qui sont souvent déversés dans le milieu.

Conclusion

- Conclusion -

L'eutrophisation désigne un **enrichissement** des milieux aquatiques naturels en éléments nutritifs, qui provoque une perturbation épisodique du cycle naturel. Amplifiée par des apports en éléments nutritifs liés aux activités humaines, l'eutrophisation engendre divers types de nuisances : développements d'algues, dégagement d'odeurs nauséabondes, modifications des caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et écologiques de l'eau et du sédiment.

L'eutrophisation est un **phénomène dynamique** qui engendre des nuisances si le **temps de résidence** des éléments nutritifs dans le milieu récepteur est suffisamment long. Ce temps de résidence est le principal facteur qui permet de définir la **sensibilité du milieu** à l'eutrophisation.

Il est des cas cependant où l'enrichissement du milieu revêt des **aspects positifs** tels que la stimulation de la productivité naturelle favorable à la pêche ou à la conchyliculture.

Un objectif intéressant serait de "**gérer l'eutrophisation**", c'est à dire de trouver un compromis entre équilibre du milieu et richesse biologique à l'aide d'**indicateurs synthétiques** tels que la structure des communautés benthiques ou le potentiel redox.

Cela implique une lutte contre les apports excessifs en éléments nutritifs : **favoriser la circulation de l'eau** apparaît être le meilleur moyen de diminuer le temps de résidence des éléments nutritifs dans le milieu récepteur.

Cependant, le problème de l'eutrophisation ne doit pas être considéré en tant que tel mais pensé dans un contexte plus général de **gestion des ressources et d'aménagement du territoire**. Il doit être intégré dans la mise en place de nouvelles pratiques agricoles, de nouvelles techniques d'assainissement, dans l'élaboration du plan d'occupation des sols et les plans de gestion des milieux naturels.