

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Mer



COURS DE :
POLLUTION DES EAUX
MARINES ET CONTINENTALES



Pr. BELDI Hayet

Destiné aux étudiants de 3^{ème} Année Licence (BEMA)

Année universitaire 2019/2020

Semestre : VI

Unité d'enseignement fondamentale: UEF2

Matière 1: Pollution des eaux marines et continentales

Crédits : 05

Coefficient : 03

Contenu de la matière

Chapitre 1 : Introduction à la pollution

Définitions, historique, types de pollution.

Chapitre 2 : Indications générales de la pollution des eaux

1. Demande en oxygène (DBO, DCO)
2. Potentiel hydrogène
3. Turbidité
4. Matières en suspension
5. Détermination matière organique et minérale

Partie assurée par
M. RETIMA A.

Chapitre 3 : Pollution d'origine industrielle

1. Métaux lourds
2. **Les polychlorobiphényles : PCB**
3. **Les hydrocarbures aromatiques polycycliques : les HAP**
4. Organochlorés
5. Détergents.

Chapitre 4 : Pollution d'origine agricole

1. Problèmes des fertilisants : phosphates, nitrates.
2. Pollution par les pesticides.
3. Mécanismes de transfert dans l'hydrosphère (ruissellement, infiltration, lessivage)

Chapitre 5 : Pollution d'origine domestique

1. Introduction à la microbiologie (morphologie, notion de classification, germes témoins de contamination fécale)
2. Méthodes de prélèvement (échantillonnage).
3. Protocoles d'analyse par type de micro-organisme.

Chapitre 6 : Régulation du milieu aquatique

1. Effets des constituants de l'eau de mer (salinité, éléments à l'état dissous)
2. Action des microprédateurs (espèces prédatrices de petite taille) et des macroprédateurs
3. Effets de sécrétion des algues
4. Limites des mécanismes auto épurateurs

Chapitre 7 : Conséquences de la pollution sur l'homme et le milieu

1. Qualité des eaux de baignade
2. Fixation et concentration des polluants par les organismes
3. Transmission dans les chaînes biologiques

Chapitre 3. Pollution d'origine industrielle

Le fort développement de la technologie a donné de nouvelles dimensions aux risques d'intoxication et aujourd'hui le nombre de populations exposées aux contaminants environnementaux ne cesse d'augmenter. On estime à 25000, le nombre de nouveaux produits chimiques synthétisés qui viennent s'ajouter chaque année aux plus de 2 millions de substances déjà répertoriées. Plus de 100 000 substances sont commercialisées et la plupart se retrouvent dans l'environnement à la fin de leur cycle de vie. Les écosystèmes aquatiques représentent d'importants réservoirs de polluants qui se répartissent au niveau des différents compartiments (eau, substrat et organismes). La **figure 1** représente les principaux types de polluants qui atteignent l'environnement aquatique et leurs origines.

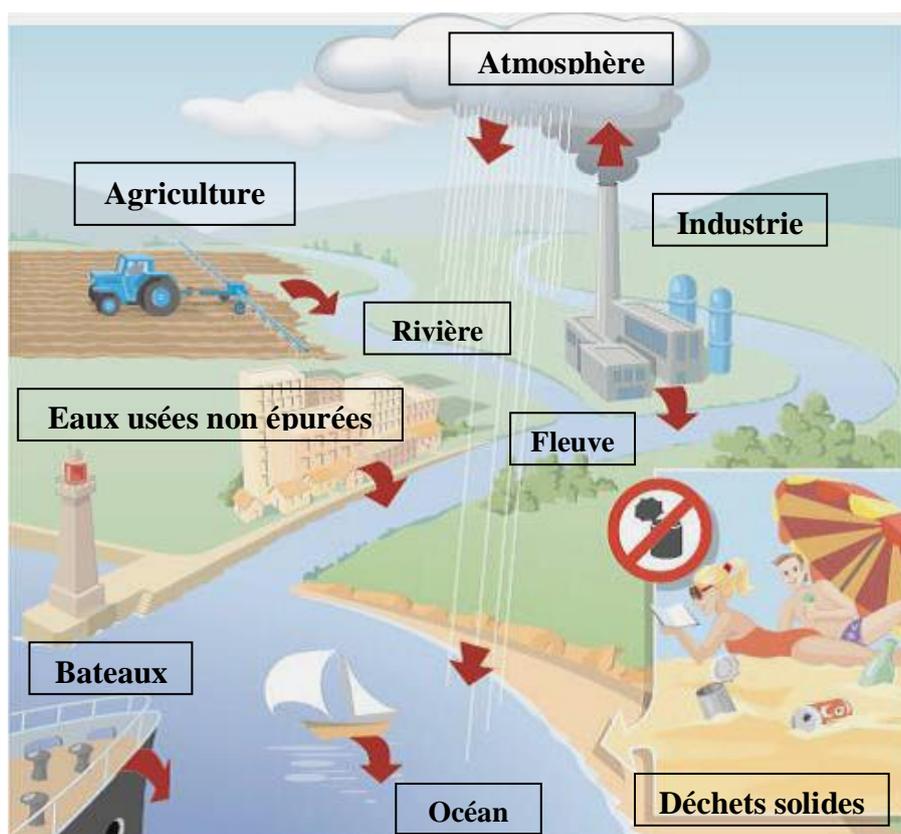


Figure 1. Sources de polluants dans l'environnement

Les contaminants peuvent être classés en deux groupes :

1/ **les composés organiques** qui sont représentés par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), les polybromobiphényles (PBB), les polychlorodioxines, les polychlorodibenzofuranes et les pesticides.

2/ **les composés inorganiques** qui regroupent les métaux et leurs dérivés organiques méthylés (méthylmercure) et les polluants atmosphériques (ozone et chlorofluorocarbone).

1. Les métaux lourds

Les métaux sont des éléments présents à l'état naturel, dispersés dans les roches, les minerais, le sol et l'eau. Le **dépassement de la teneur naturelle** peut être considéré comme une **pollution**. Les métaux rencontrés dans l'environnement peuvent être classés selon leur caractère essentiel ou non.

Un métal est considéré comme **essentiel** si des symptômes pathologiques apparaissent lorsque sa teneur diminue ou qu'il est absent et disparaissent lorsqu'il est rajouté. Cependant, un élément essentiel peut également être toxique lorsqu'il est présent à de trop fortes concentrations. Suivant ces critères, 17 métaux sont considérés comme essentiels, dont quatre (Na, K, Ca et Mg) sont présents en grande quantité (supérieurs à 1 mmol.kg⁻¹ de poids frais) alors que les treize autres (As, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Si, Sn, V et Zn) sont présents à l'état de trace (0,001 à 1 mmol.kg⁻¹ de poids frais) ou d'ultra-trace (<1µmol.kg⁻¹ de poids frais).

Les métaux **non essentiels** n'ont aucun rôle biologique actuellement connu. C'est le cas du Hg, Ag, Cd et Pb. Ils sont considérés comme néfastes dès qu'ils sont présents dans le milieu et entraînent des effets biologiques délétères à de très faibles concentrations. Les métaux peuvent être dangereux pour la santé de l'ensemble des populations, en particulier des organismes aquatiques du fait de leur présence dans l'eau au-delà d'un certain seuil de tolérance (à titre d'exemple la catastrophe de Minamata au Japon, en 1953, liée à une pollution des eaux par le mercure, mais également l'important développement de la maladie Itai-Itai au Japon, dans les années 60, en raison d'une contamination des eaux de boisson et du riz par le cadmium). La **nocivité** des polluants métalliques est liée essentiellement à leur **persistance** dans le milieu aquatique.

Les métaux sont présents dans l'environnement sous différentes formes chimiques qui résultent d'équilibres entre les ions métalliques et des complexes organiques et inorganiques. Leur spéciation est un problème fondamental puisque leur disponibilité et leur toxicité dépendront de leurs formes chimiques dans l'eau et dans l'air (fixation aux particules). Dans les organismes, les métaux pénètrent sous forme ionique et peuvent se fixer sur de nombreuses molécules biologiques avec une préférence pour celles possédant des groupements thiols (-SH).

La pollution métallique peut être due à différents métaux comme l'aluminium, l'arsenic, le chrome, le cobalt, le cuivre, le manganèse, le molybdène, le nickel, le zinc... ou encore à des métaux lourds comme le cadmium, le mercure ou le plomb, plus toxiques que les précédents. De multiples activités humaines en sont responsables. Cette pollution provient en effet essentiellement :

- **des rejets d'usines**, notamment de tanneries (cadmium, chrome), de papeteries (mercure), d'usines de fabrication de chlore (mercure) et d'usines métallurgiques,
- **des épandages** sur les sols agricoles d'oligo-éléments ou de boues résiduelles de stations d'épuration,
- de l'utilisation de certains **fongicides** (mercure),
- des retombées des **poussières atmosphériques** émises lors de l'**incinération** de déchets (mercure) ou de la **combustion** d'essence automobile (plomb),
- du **ruissellement des eaux** de pluie sur les toitures et les routes (zinc, cuivre, plomb).

La pollution métallique pose un problème particulier, car les **métaux ne sont pas biodégradables**. En outre, tout au long de la chaîne alimentaire, certains se concentrent dans les organismes vivants. Ils peuvent ainsi atteindre des taux très élevés dans certaines espèces consommées par l'homme, comme les poissons. Cette " bio-accumulation " explique leur très forte toxicité.

Le mercure (Hg) : La première pollution grave imputée à un métal, le mercure, s'est produite au Japon en 1953. Une usine de fabrication de matières plastiques déversait alors ses déchets dans une baie, à Minamata. Au bout de quelques années, les habitants des littoraux voisins qui consommaient beaucoup de poissons et de fruits de mer ont commencé à être victimes de graves troubles osseux pouvant conduire à des décès (maladie de Minamata). Dans les années

1950 et 1960, 150 tonnes de mercure ont ainsi été déversées dans la baie ! Et les taux de mercure trouvés dans les poissons contaminés étaient 500 000 fois supérieurs à ceux des eaux de la baie.

Dans le monde, des milliers de tonnes de mercure sont rejetées chaque année dans les cours d'eau où ce métal se transforme en méthyl-mercure, un composé très stable qui se concentre ensuite dans les organismes vivants. La toxicité élevée du mercure est liée à son aptitude à se combiner au soufre. Dans les organismes vivants, il peut ainsi bloquer certains sites actifs comportant des atomes de soufre, comme celui de la vitamine B12. Les composés mercuriels sont particulièrement dangereux pour le cerveau où ils s'accumulent.

Le plomb (Pb) : La toxicité du plomb est due notamment à son effet inhibiteur de certaines enzymes qui provoque des troubles cérébraux et des retards mentaux chez les jeunes enfants. La pollution par le plomb provient surtout des additifs anti-détonants (qui augmentent la résistance à la détonation des essences. Ils sont formés principalement de composés organiques du plomb) de l'essence. Rejetés dans l'atmosphère, ceux-ci retombent et se concentrent de part et d'autre des routes. Le plomb qu'ils contiennent passe alors directement dans l'herbe ou dans les eaux de ruissellement. Pour limiter ces rejets dangereux, l'usage d'essence sans plomb s'est beaucoup développé ces dernières années. En 1994, les ventes d'essence sans plomb avaient atteint en France 45 % des ventes totales d'essence. Mais cette solution n'est pas idéale car elle diminue le rendement des moteurs et augmente l'émission d'autres polluants comme le monoxyde de carbone.

2. Les polychlorobiphényles : PCB

Les polychlorobiphényles (PCB) sont des composés aromatiques chlorés (**Fig. 2**). Ils ont été fabriqués et commercialisés pour la première fois en 1929 par la société MONSANTO. Il existe un grand nombre de combinaisons différentes liées au nombre d'atomes de chlore et aux positions qu'ils occupent : 209 composés ou congénères avec des niveaux différents de toxicité.

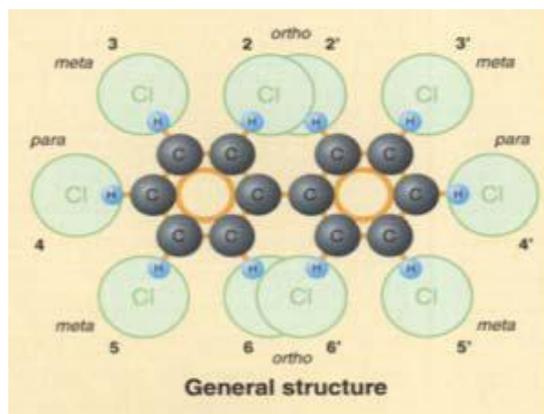


Figure 2. Structure générale des polychlorobiphényles (PCB)

Les propriétés thermiques, **d'isolement électrique** et **d'ininflammabilité** de ces substances ont conduit à leur utilisation comme **fluide caloporteur** (fluide chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Le terme « caloporteur » est synonyme de « caloripporteur », l'isolation électrique et le refroidissement des transformateurs et condensateurs électriques.

Ces liquides sont principalement connus sous le nom commercial de « Pylène ». Les PCB ont en commun une **grande stabilité chimique et physique** et une **faible biodégradabilité**

qui explique l'**accumulation dans les organismes** vivants qui se succèdent dans les chaînes alimentaires au bout desquelles se trouve l'espèce humaine. Les taux de contamination trouvés dans l'environnement ont amené les industriels et les pouvoirs publics à prendre des mesures pour limiter la production et l'emploi de ces substances (PCB). Malgré leur interdiction à partir de 1975, ces composés persistent toujours dans l'environnement (**duré de ½ vie de plusieurs années**), ils ont des effets à long terme sur les organismes qui continuent à s'exercer sur des fonctions biologiques diverses. Actuellement, les estimations les plus précises font état d'une charge minimale globale en PCB dans les océans de 230 000 tonnes.

3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques : les HAP

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont une famille de composés chimiques constitués d'atome de carbone et d'hydrogène dont la structure des molécules comprend au moins deux cycles aromatiques fusionnés. Les hydrocarbures sont classés en deux groupes : les **hydrocarbures saturés** (alcane) et les **hydrocarbures aromatiques** HAP. La famille des HAP comprend de nombreuses substances qui diffèrent entre elles par le nombre de cycles benzéniques et leur position respective.

Seize HAP ont été retenus par l'Agence pour la Protection de l'Environnement des Etats-Unis (EPA US) comme polluants organiques prioritaires et suscitent donc un intérêt particulier dans la surveillance de l'environnement (**Fig. 3**).

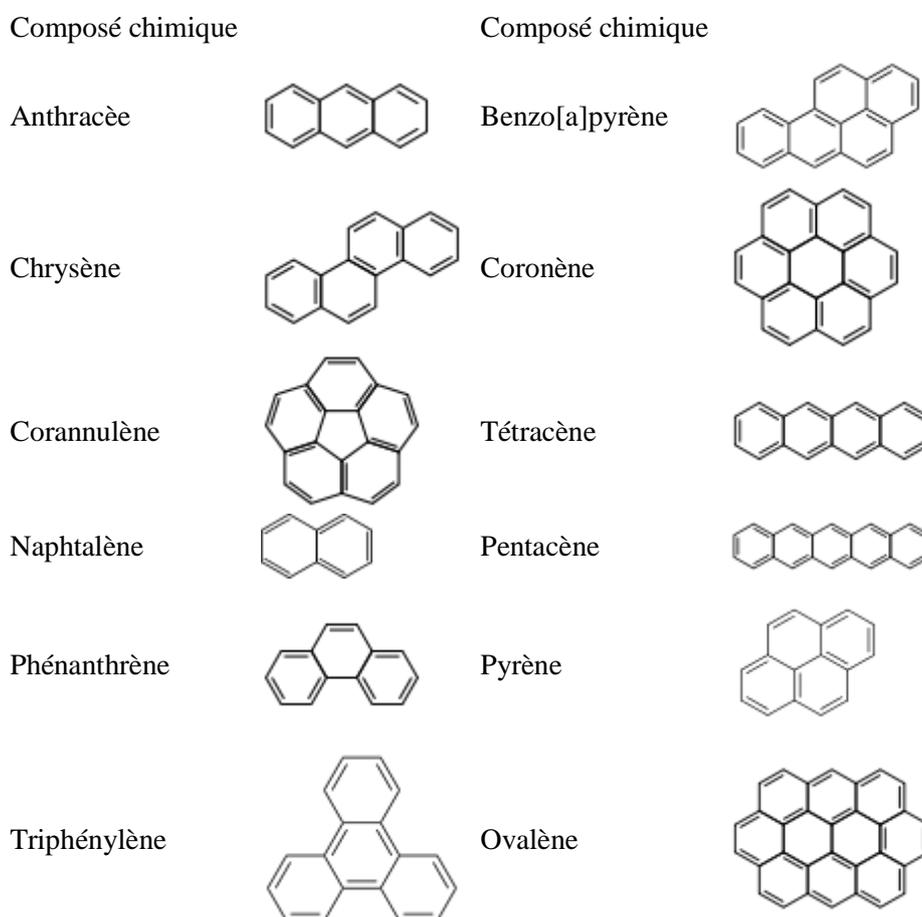


Figure 3. Principaux HAP.

Les propriétés physico-chimiques des HAP dépendent de la structure et de la masse moléculaire de ces composés et conditionnent leur distribution dans l'environnement. D'une manière générale les HAP sont **peu solubles dans l'eau**. La solubilité aqueuse est comprise entre 0,26 et 31000µg/L et elle diminue de façon considérable lorsque le poids moléculaire augmente.

Les sources des HAP dans le milieu marin sont divers ; Ils sont soit formés au cours de la lente maturation de la matière organique, lors de son enfouissement dans les bassins sédimentaires (**origine pétrogénique**), soit issus de la combustion incomplète à haute température de matières organiques fossiles et récentes (**origine pyrolytique**). Cette dernière origine peut être liée soit aux activités naturelles (feux de forêts, volcanismes) soit aux activités humaines industrielles. La source majeure de ces composés est cependant liée à l'activité humaine (**origine anthropique**). Les HAP peuvent pénétrer directement dans le milieu aquatique par des effluents industriels et urbains et par lessivage des sols et de l'atmosphère.

Les HAP sont des composés relativement **stables** et par conséquent **ubiquistes** dans l'environnement. Ce sont des substances toxiques qui présentent des **propriétés cancérigènes** ou mutagènes liées à leurs structures moléculaires.

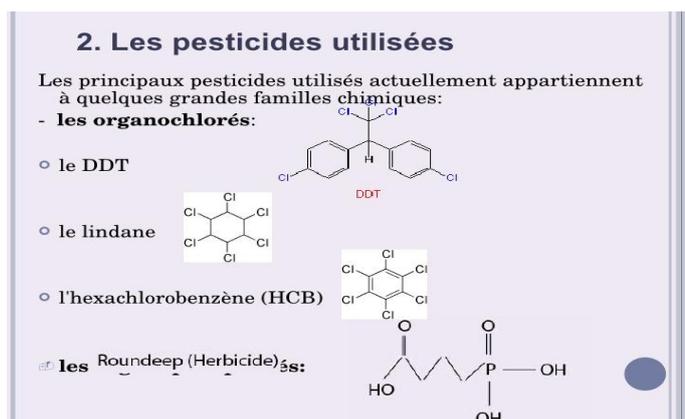
Pour les invertébrés marins, la capacité à métaboliser les HAP est variable mais généralement à des taux plus faibles que ceux trouvés chez les vertébrés. Les dosages des HAP et de leurs métabolites présents dans la vésicule biliaire de poissons, constitue une méthode largement employée pour estimer la contamination du milieu par les HAP, et l'analyse des métabolites biliaires a contribué à la détermination des réactions biochimiques impliquées dans l'élimination de ces contaminants.

4. Les organochlorés

Un composé organochloré est un **composé organique de synthèse**, comportant au moins un atome de **chlore** et utilisé comme **solvant, pesticide, insecticide, fongicide** ou **réfrigérant** ou molécules intermédiaires de synthèse en chimie et pharmacie.

Les plus connus sont les pesticides (DDT, aldrine, kepone, dieldrine, chlordane, heptachlore, endrine, mirex, BPC, toxaphène, lindane, etc.), les PCB et les dioxines.

Les organochlorés les plus lourds, **stables** et **complexes** sont produits par l'industrie chimique ou issue de l'incinération de produits issus de cette industrie. Mais les organismes vivants ou des processus naturels en produisent aussi ; certaines dioxines sont produites par les incendies de forêt. La plupart sont produits par des bactéries (qui peuvent les transmettre à l'homme, dans l'intestin notamment). Des composés organiques chlorés naturels sont présents dans presque toutes les classes de biomolécules (alcaloïdes, des terpènes, des acides aminés, flavonoïdes, des stéroïdes et des acides gras).



Impacts environnementaux et sanitaires

Comme les métaux lourds et certains métalloïdes auxquels ils peuvent ajouter leurs effets négatifs, les organochlorés massivement synthétisés par l'Homme et dispersés dans l'environnement (eau, air, sols) sont d'importants contaminants des écosystèmes, du réseau trophique (on les retrouve en particulier très concentrés par les animaux situés en tête de chaîne alimentaire : oiseaux marins prédateurs et cétacés superprédateurs) et parfois de la chaîne alimentaire humaine. Ils posent un double problème :

- Ils sont souvent extrêmement **stables** (pas ou peu biodégradables), ne se décomposent pas avant des décennies, et dans certains cas, des siècles. La plupart d'entre eux sont classés dans les « polluants organiques persistants ».
- Ils peuvent être cancérogène, mutagènes et/ou reprotoxiques.
- Des produits accumulés dans les sols ou les sédiments, peuvent être mobilisés par les vers de terre, d'autres animaux fouisseurs, la volaille ou les porcs et sangliers et contaminer l'alimentation humaine en causant par exemple des cancers tels que les myélomes multiples à la Martinique.
- Ils sont pour la plupart toxiques à **très toxiques** ou éco-toxiques ; ils sont **bioaccumulables** et sont facilement stockés dans les graisses. De plus, pour la plupart, ils franchissent facilement les muqueuses pulmonaires, intestinales et les barrières cutanées ou placentaires.

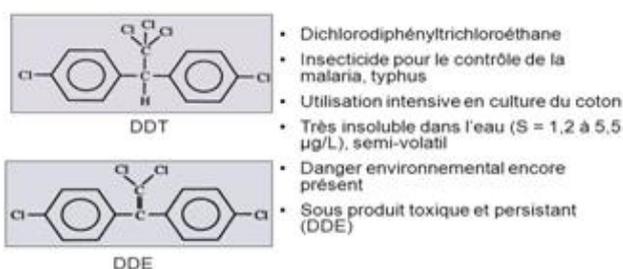
5. Les pesticides

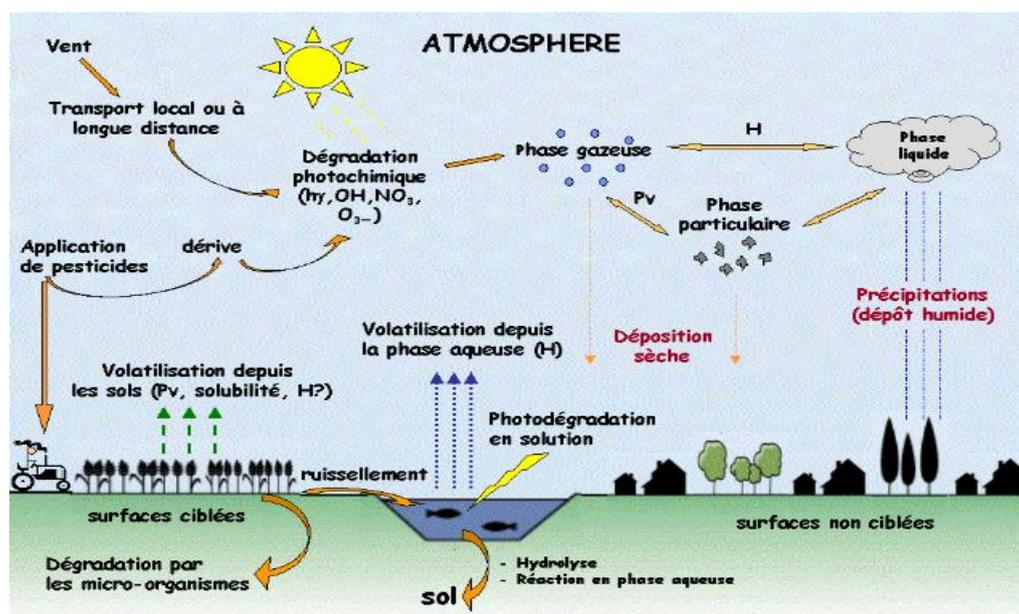
Les pesticides étymologiquement “tueurs de fléaux” sont des produits obtenus le plus souvent par **synthèse chimique**. Ils ont été définis par la FAO (Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation) en 1986 comme « *toute substance ou mélange de substances utilisé pour la prévention, la destruction ou le contrôle d'un facteur nuisible, incluant les vecteurs de maladies animales ou humaines, les espèces non désirées de plantes qui interfèrent avec la production, la fabrication, le stockage, le transport et la commercialisation des productions alimentaires, agricoles, du bois et de ses dérivés* ». D'un point de vue réglementaire, on distingue les pesticides utilisés principalement pour la protection des végétaux que l'on appelle produits phytopharmaceutiques (directive 91/414/CE) ou plus communément produits phytosanitaires, des autres que l'on appelle biocides (définis notamment dans la directive 98/8/CE). Par exemple, un **insecticide** sera un **produit phytosanitaire** s'il est utilisé sur du blé mais **un biocide** dès lors qu'il est utilisé sur du bois de charpente.

Parmi les résidus retrouvés dans les eaux lors des contrôles sanitaires ou de la surveillance environnementale de la qualité des eaux, les pesticides incluent tous les produits permettant de lutter contre les organismes nuisibles, qu'ils soient utilisés en agriculture ou non. L'arrivée de ces polluants dans l'environnement marin et les perturbations qui peuvent en résulter ont fait prendre conscience de la nécessité d'actions de surveillance visant à évaluer les niveaux de contamination et permettant, à moyen terme, de dégrader les tendances de l'évolution de la contamination du milieu et de l'état de santé des organismes qui y vivent.

Les pesticides organochlorés

ORGANOCHLORÉS : Famille du DDT





6. Les détergents

Un détergent est un **composé chimique**, généralement **issu du pétrole**, doté de propriétés **tensioactives**, ce qui le rend capable d'enlever les salissures. Toutefois ces derniers ne sont pas sans conséquences. Les plus nocifs sont les détergents anioniques qu'on retrouve dans certaines lessives.

Les **phosphates** constituent un des ingrédients les **plus utilisés** et les **plus abondants** dans les **détergents domestiques et industriels**. Ils ont pour fonction de réduire la dureté de l'eau afin de permettre un nettoyage efficace par les détergents. Les phosphates sont des nutriments essentiels comme le montre leur utilisation dans les engrais. La principale préoccupation relative à l'utilisation des phosphates dans les détergents est qu'elle peut conduire à un excès de nutriments dans l'environnement aquatique ce qui, à son tour, peut provoquer des problèmes d'**eutrophisation**. Les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la **diminution de la biodiversité** et de la qualité de l'eau en tant que ressource. On constate notamment: l'augmentation du volume d'algue, l'augmentation de la biomasse du zooplancton gélatineux, la dégradation des qualités organoleptiques de l'eau, l'envasement plus rapide, et apparition de vase putride, sombre et malodorante, le développement de phytoplancton toxique, le développement de pathogènes par diminution de la pénétration des UV qui ont un pouvoir désinfectant, la diminution de l'indice biotique et enfin une perte de biodiversité dans les milieux aquatiques.

L'impact des détergents à base de phosphates sur l'eutrophisation est très variable d'un pays à un autre ainsi que dans les différents bassins hydrographiques en fonction des activités humaines et de l'utilisation du sol.

Chapitre 4. Pollution d'origine agricole

En agriculture, les engrais chimiques sont administrés en vue d'augmenter le rendement des cultures. Ils sont responsables d'une pollution massive des sols, mais sont surtout la cause majeure de pollution des eaux souterraines, principaux réservoirs d'eau potable. Il existe trois principaux types d'engrais chimiques : les **azotés**, les **phosphatés** et les **potasses**. Ils apportent les éléments nutritifs dont les plantes ont besoin pour se développer.

1. Problèmes des fertilisants : phosphates, nitrates

Aujourd'hui, 66 % de la **pollution de l'eau** aux nitrates est imputée à l'activité agricole. L'**épandage** des cultures fournit des doses massives d'engrais azotés. Les nitrates étant très solubles dans l'eau, lorsqu'ils ne sont pas consommés par les **plantes**, s'infiltrent aisément dans le sol et atteignent progressivement les eaux souterraines. Avant les années 1950, la teneur en nitrates par litre d'eau n'excédait pas 1 mg. De nos jours, elle dépasse facilement les 50 mg/l, limite fixée par l'**OMS** pour considérer une eau comme étant potable.

L'azote est responsable de fréquents dépassements de normes en Europe. Il provient des eaux usées domestiques, des effluents industriels (agro-alimentaires, papeteries...) et principalement du lessivage des engrais et effluents d'élevage dans les zones agricoles. Présent sous forme organique ou ammoniacale (NH_4^+) dans les effluents, il se transforme en nitrate (NO_3^-) dans le milieu naturel. Les nitrates sont fortement soupçonnés d'avoir des effets cancérigènes sur les organes digestifs de l'homme et ils déséquilibrent les écosystèmes aquatiques.

Le phosphore provient des eaux usées domestiques, des effluents industriels, de l'érosion des sols enrichis en phosphore par les engrais et les effluents d'élevage. Il ne représente pas de risque direct pour la santé humaine mais, encore plus que l'azote, il menace les milieux aquatiques continentaux d'eutrophisation. Le traitement des eaux riches en algues génère des surcoûts pour les stations de traitement d'eau potable. Les résidus organiques peuvent s'associer à du chlore dans les réseaux de distribution pour former des composés organo-chlorés cancérigènes.

Les nitrates en tant que tels ne sont pas dangereux pour la santé, mais ingérés par l'Homme, ils sont dégradés par une bactérie et se transforment en nitrites. Au-delà d'un certain seuil, ces nitrites peuvent empoisonner le sang en oxydant l'hémoglobine. Le fluide fixe alors mal l'oxygène et engendre des troubles respiratoires. On appelle cet empoisonnement la maladie bleue, ou la méthémoglobinémie. Les nourrissons y sont particulièrement sensibles.

Associés aux **phosphates**, les **nitrates** contribuent en outre aux phénomènes d'**eutrophisation**. Les phosphates ne s'infiltrent pas dans les sols, mais jouent un grand rôle dans les cours d'eau. Normalement limitant, ce composé émis en **masse** par les engrais dans l'environnement déséquilibre le bilan nutritif dans les eaux et provoque une **prolifération d'algues**. Celles-ci finissent par se minéraliser, n'étant pas assez consommées par les organismes présents. La décomposition de la matière organique favorise la prolifération de bactéries dans le fond, et les **algues** à la surface de l'eau inhibe cache le fond de la **lumière** solaire. C'est alors tout l'environnement aquatique qui est modifié, le milieu devenant anoxique, de nombreuses **espèces** disparaissent, au détriment d'autres (**Fig. 1**).

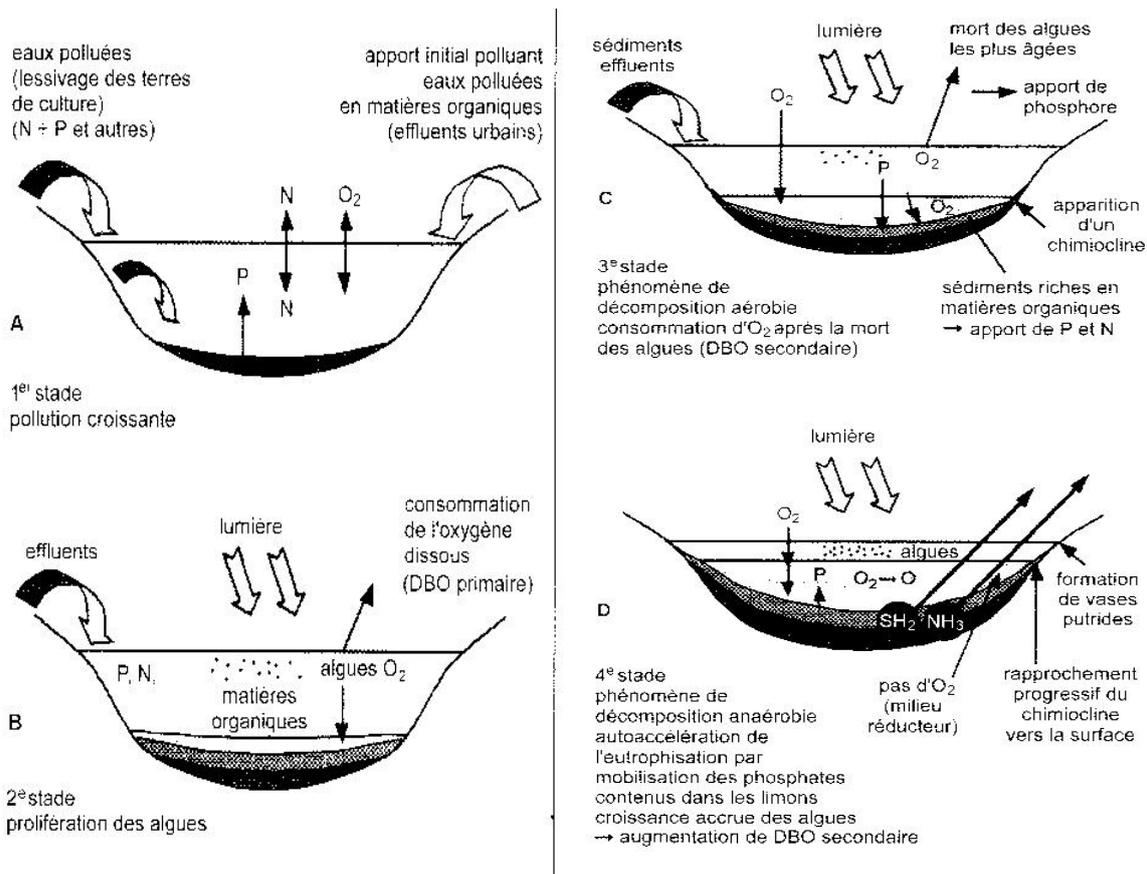


Figure 1. Eutrophisation d'un lac.

2. Pollution par les pesticides (produits phytosanitaires)

L'agriculture moderne cherche à obtenir une production à l'hectare très élevée au moyen de variétés végétales à haut rendement et de techniques intensives. La fragilité génétique de ces variétés productives et les conditions dans lesquelles elles sont cultivées les rendent très vulnérables aux maladies et aux ravageurs. Pour protéger ses récoltes l'agriculteur utilise toute une batterie de pesticides élaborés par l'industrie chimique. Les fabricants, les vendeurs et les utilisateurs préfèrent employer l'expression « produits phytosanitaires » qui fait référence à la santé des plantes plutôt que « pesticides » qui évoque plus brutalement le fait qu'il s'agit de biocides, c'est à dire de substances destinées à éliminer, de façon plus ou moins sélective des organismes vivants.

Les différentes catégories de pesticides

Les herbicides ou désherbants

Les herbicides représentent, avec les fongicides, l'essentiel des interventions chimiques destinées à protéger les cultures. Les désherbants sélectifs détruisent la majorité des plantes à l'exception de l'espèce cultivée. Ils évitent le sarclage, manuel ou mécanique, et ils permettent le retour fréquent des mêmes cultures sur les mêmes parcelles qui autrement seraient envahies par les plantes adventices qui leurs sont associées.

Les fongicides

Des maladies des plantes comme l'oïdium ou le mildiou sont dues à des champignons microscopiques. Il existe des espèces et des variétés très sensibles à ces maladies. Les cultures très denses entretiennent une atmosphère chaude et humide qui favorise le développement des champignons pathogènes. Pour être efficaces les traitements fongicides doivent être répétés régulièrement. Les fongicides neutralisent ou réduisent l'activité des champignons qui participent au recyclage de la matière organique.

Les insecticides

Beaucoup d'insectes attaquent les plantes cultivées. Les larves sont les plus voraces mais les insectes adultes peuvent aussi commettre des dégâts. Ils peuvent détruire une partie de la récolte, stériliser les fleurs, ou rendre le produit fini impropre à la commercialisation le consommateur étant accusé, à tort ou à raison, de ne pas supporter le moindre défaut dans un fruit ou un légume. Les pucerons sont les insectes les plus redoutés d'une part en raison des dégâts qu'ils occasionnent en suçant la sève des plantes mais aussi parce qu'ils sont les vecteurs de maladies à virus.

La [pollution des eaux par les nitrates](#) et les [pesticides](#) de l'[agriculture](#) est un exemple de [pollution diffuse](#) : elle se produit sur tout le territoire, d'année en année et affecte grandement la [qualité des eaux](#) et les [écosystèmes](#)

3. Mécanismes de transfert dans l'hydrosphère (ruissellement, infiltration, lessivage)

Le rejet des polluants dans l'environnement est un phénomène complexe, il ne saurait être limité à l'aspect fallacieusement ponctuel du panache de fumée d'une cheminée d'usine ou à l'émissaire d'égout déversant ses effluents dans la mer.

Dans la quasi-totalité des cas, les substances libérées dans l'écosphère vont être entraînées fort loin du point de rejet. La circulation atmosphérique et hydrologique les dispersera de façon progressive dans l'ensemble de l'écosphère.

Fort heureusement, à quelques rares exceptions près, les polluants atmosphériques ne séjournent pas indéfiniment dans l'air. Les précipitations, les mécanismes de dépôt sec des particules, les ramènent à la surface du sol et (ou) dans l'hydrosphère. Les particules solides sont entraînées mécaniquement ou par dissolution, les substances gazeuses sont également dissoutes dans les eaux pluviales. Ces mécanismes inertes de dépôt à la surface des eaux, des sols et de la végétation constituent les processus d'épuration de l'atmosphère de loin les plus importants pour les polluants qui ne sont pas dégradés *in situ* dans l'air.

En définitive, les phénomènes géochimiques vont avoir pour conséquence d'amener la masse des polluants émis par l'homme, tôt ou tard, dans l'océan mondial qui constitue en définitive l'ultime réceptacle des agents toxiques et autres contaminants produits par la civilisation technologique.

En conclusion, le jeu combiné des divers facteurs géochimiques assure la dispersion et la répartition des polluants dans l'ensemble de la biosphère

Le vent et la pluie sont les principaux vecteurs responsables des transferts de produits phytosanitaires vers les nappes et les rivières.

3.1. Transferts liés au vent

➤ Par la dérive des embruns de pulvérisation

Ce phénomène est lié au vent soufflant lors de l'application ainsi qu'à la part de gouttelettes d'une taille inférieure à 100µm qui sont susceptibles d'être transportées sur de très longues distances. Ces gouttelettes peuvent également s'évaporer ou être transportées sous forme particulaire. Elles finissent par se déposer par voie sèche ou par lessivage par les pluies.

3.2. Transferts liés aux précipitations

➤ Par le ruissellement de surface

Le ruissellement de surface est lié à l'état du sol. Il peut avoir pour origine des pluies sur un sol déjà saturé en eau (cas des pluies hivernales), la formation d'une croûte de battance imperméable, un sous-sol imperméable qui bloque l'infiltration, une intensité de pluie supérieure à la capacité d'absorption du sol (pluies orageuses estivales). Le ruissellement est aggravé par les fortes pentes.

➤ Par infiltration en profondeur

Il s'agit de l'entraînement en profondeur des eaux, provoquant le transfert des pesticides dans les eaux souterraines. L'infiltration intervient après que les sols aient reconstitué leur réserve en eau ; l'eau excédentaire peut alors migrer en profondeur. Ceci intervient essentiellement pendant la période hivernale, lorsque l'évapotranspiration est faible, mais aussi dans des sols saturés lors de longues périodes pluvieuses. Les sols peu profonds, à faible réserve utile, ainsi qu'une forte porosité, favorisent l'infiltration. Celle-ci peut également se concentrer au niveau d'engouffrements, ou même dans des sols argileux très secs avec de profondes fentes de retrait.

➤ Par lessivage

Est une source potentiellement significative de diffusion des pesticides à application foliaire vers le sol et les eaux. Il peut concerner plusieurs dizaines de % du pesticide appliqué sur le couvert végétal.

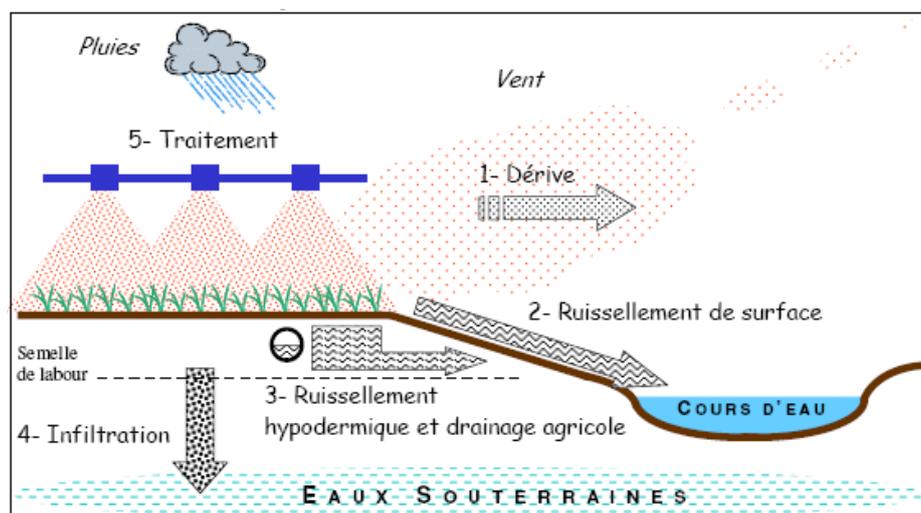


Figure 1. Principaux mécanismes de transferts vers les eaux souterraines et superficielles.

Chapitre 5. Pollution d'origine domestique

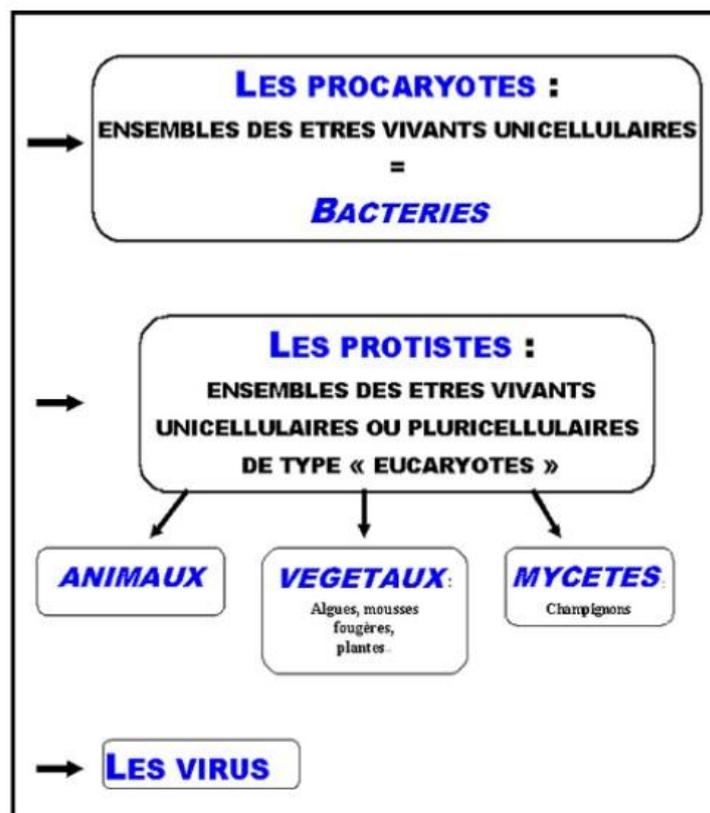
1. Introduction à la microbiologie (morphologie, notion de classification, germes témoins de contamination fécale)

La microbiologie est l'étude des organismes trop petits pour être vus à l'œil nu, les micro-organismes. Leur taille est généralement inférieure à un millimètre : ils doivent être observés au microscope (photonique ou électronique) et cultivés dans des milieux permettant leur croissance et leur isolement. La microbiologie est divisée en plusieurs branches, en fonction du type de « microbe » étudié :

- Virologie (Virus 25 à 300 nm)
- Bactériologie (Bactéries 0,2 à 10 µm)
- Mycologie (Levures 5 à 10 µm ; moisissures)
- Phycologie (Algues unicellulaires 10 à 50 µm)
- Parasitologie (Protozoaires 1 à 150 µm ; Helminthes 1 mm à 10m)

2. Place des micro-organismes dans le monde vivant : Notion de classification

Les règnes du monde vivant



Remarque : les virus, "organismes" non cellulaires, sont classés à part.

On appelle micro-organismes les organismes unicellulaires ou pluricellulaires, de très petite taille (nécessitant un microscope pour être vus), qui sont dépourvus de différenciation cellulaire (cellules équivalentes, sans spécialisation fonctionnelle).

On distingue :

- Parmi les procaryotes : les bactéries
- Parmi les eucaryotes ou protistes : les champignons et les parasites
- Les virus

3. Les microorganismes procaryotes : les bactéries

La taille d'une bactérie est de l'ordre du micromètre ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$). Les plus petites bactéries ont une taille similaire à celle des plus grands virus tandis que les plus grandes atteignent la taille de certaines algues unicellulaires. Quelques exemples :

- *Mycoplasma pneumoniae* $0,2 \mu\text{m}$
- *Escherichia coli* $1 \times 2 \mu\text{m}$
- *Treponema pallidum* (Spirochète) $0,1 \times 10 \mu\text{m}$
- *Oscillatoria* (Cyanobactérie) $7 \mu\text{m}$

Les bactéries les plus communes se présentent sous deux formes (Fig.2) :

- sphérique: il s'agit des coques(ou cocci) ;
- cylindrique (en bâtonnet) : il s'agit des bacilles, les bacilles courts à extrémités arrondies sont des coccobacilles.

Les spirochètes ont une forme spiralée, les actinomycètes sont filamenteux (comme le mycélium des moisissures).

Selon leur mode de division, les espèces bactériennes forment des arrangements caractéristiques appelés groupements, observables au microscope photonique, et utiles au laboratoire pour le diagnostic.

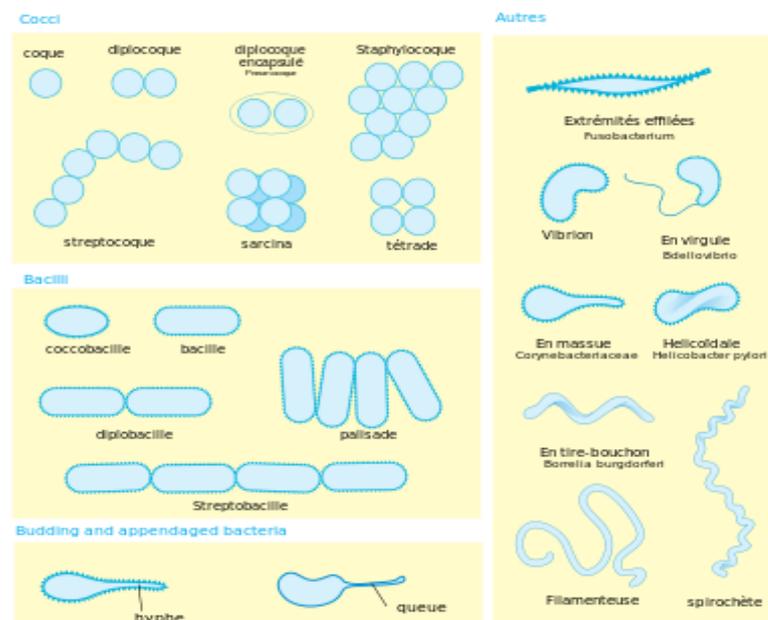


Figure 2. Les formes des bactéries.

Comparaison cellule procaryote/cellule eucaryote

	Cellule procaryote	Cellule eucaryote
Organisation génétique		
Enveloppe nucléaire	Absente	Présente
Nombre de chromosomes	Généralement 1	> 1
Chromosome circulaire	Oui*	Non
Nucléole	Absent	Présent
Structures cellulaires		
Réticulum endoplasmique	Absent	Présent
Appareil de Golgi	Absent	Présent
Lysosomes	Absents	Présents
Mitochondries	Absentes	Présentes
Chloroplastes	Absents	Présents chez les plantes
Microtubules	Absents	Présents
Paroi cellulaire avec peptidoglycane	Présente sauf chez mycoplasmes et archaeobactéries	Absente
Ribosomes	70 S	80 S (sauf mitochondries et chloroplastes)
Fonctions		
Phagocytose	Absente	Parfois présente
Pinocytose	Absente	Parfois présente
Flux cytoplasmique	Absent	Présent
Site du transport des électrons	Membrane cellulaire	Membrane des organelles

* : Quelques bactéries, comme certaines espèces du genre *Borrelia* ont un chromosome linéaire.

4. Notion de flore indicatrice, témoin de contamination fécale

Définition

Un germe « témoin » ou indicateur de contamination fécale est un germe commensale de l'intestin de l'Homme ou des animaux, et dont la présence traduit une contamination fécale.

Signification d'une contamination fécale

Les indicateurs de contamination fécale sont des micro-organismes dont la présence dans une eau ou un aliment est le signe d'une contamination par des matières fécales. Il est impossible de rechercher dans chaque type d'aliment la présence systématique de tous les pathogènes. On évalue alors la Qualité Sanitaire Globale en recherchant la présence de bactéries fécales.

Pourquoi?

- une contamination fécale est anormale, elle révèle un problème d'Hygiène Générale.
- Parce que cela signifie la présence possible de pathogènes = un grand nombre de pathogènes sont transmis par voie fécale /orale Ex: Cholera, Salmonelloses, Dysenterie

Critères de choix des germes témoins de contaminations fécales :

- Le germe doit être présent dans l'intestin, en quantité suffisante (sensibilité).
- Le germe doit être présent seulement dans l'intestin et pas dans le milieu extérieur (spécificité).
- La survie du germe doit être assez longue dans le milieu extérieur (résistance).
- Le germe choisit doit être facile à détecter.

Les germes retenus comme indicateurs sont:

- **Coliformes, E. coli, Entérobactéries,**
- **Entérocoques,**
- **Spores d'anaérobies sulfito-réducteurs et *Clostridium perfringens*.**

5. Méthodes de prélèvement (échantillonnage).

L'étape d'échantillonnage influence directement la qualité des résultats analytiques obtenus. Des précautions élémentaires doivent être prises pour obtenir un échantillon représentatif afin de minimiser les risques associés à la contamination de l'échantillon par le préleveur et de permettre le maintien de l'intégrité des échantillons. Les échantillons peuvent être contaminés par un manque de soins dans l'application des techniques d'échantillonnage. Ainsi, il incombe au préleveur ou au responsable de s'assurer de la qualité du prélèvement, de la conservation et du transport adéquat des échantillons avant qu'ils n'arrivent au laboratoire. Il est également de la responsabilité du préleveur ou du responsable de s'assurer de la représentativité de l'échantillon lorsque des analyses sur place sont effectuées.

Méthodes d'analyse bactériologique de l'eau :

Les analyses microbiologiques sont fondées sur la recherche des bactéries considérées comme des indicateurs de contamination fécale. L'indicateur le plus utile est bien la bactérie *Escherichia coli* car elle est abondante dans les fèces humaines et assez persistante pour être recherchée (sa durée de détection dans l'eau à 20°C varie de 1 semaine à 1 mois), son identification est cependant difficile sur le terrain et demande des appareils spécifiques ou l'utilisation de la méthode de « filtration sur membrane ». Dans les analyses de routine, on recherche les bactéries coliformes dites thermotolérantes, *Escherichia coli* étant un membre de ce groupe.

Sur le terrain, **la méthode de filtration sur membrane** est relativement facile à mettre en œuvre :

- Elle consiste à **filtrer** un volume d'eau connu **sur une membrane poreuse**, calibrée pour retenir les bactéries (0,45 µm).
- Cette membrane est ensuite mise dans des conditions qui autorisent le développement des coliformes thermotolérants mais pas les autres bactéries : incubation nécessaire pour cela pendant 24 h à 44°C (d'où le nom de bactérie « thermotolérante », car les autres coliformes ne se développent en principe pas au dessus de 37°C) sur un milieu nutritif favorable.
- Après 24 heures, les bactéries présentes ont formé des **colonies de bactéries identifiables à l'œil nu**.
- Les résultats sont exprimés en nombres de colonies par 100 ml d'eau filtrée.

En pratique, on se base sur l'utilisation d'indicateurs de pollution d'origine fécale pour avoir une idée bactériologique de la qualité de l'eau. Les germes tests sont les coliformes fécaux. Ils sont assez bien représentatifs de la qualité de l'eau et sont facilement mis en évidence.

Précautions à prendre :

Pour un produit chimique donné, le lieu et la fréquence du prélèvement seront déterminés en fonction de ses principales sources et de la variabilité de sa présence. Les substances dont la concentration ne varie pas notablement au cours du temps exigent un échantillonnage moins fréquent que celles dont la concentration fluctue de manière importante.

Dans nombre de cas, un prélèvement d'eau de source une fois par an, ou même moins fréquemment, notamment pour des eaux souterraines stables, peut suffire lorsque les concentrations des substances d'origine naturelle sources de préoccupations varient très lentement au cours du temps. Les eaux de surface ont tendance à présenter des caractéristiques plus variables et nécessitent un grand nombre de prélèvements, selon le polluant présent et son importance.

Les points des prélèvements dépendront des caractéristiques en termes de qualité de l'eau examinée.

Les précautions à prendre sont multiples lors de l'analyse :

- **Avant le prélèvement** : vérifier que le cours d'eau n'est pas pollué en aval du point de prélèvement, ce qui rendrait les prélèvements inutiles. Vérifier également que tous les récipients soient propres et non contaminés de préférence stérilisés (utilisation de pastilles de chlore possible).
- **Lors du prélèvement** : bien exécuter le protocole de prélèvement (sondes étalonnées correctement, quantité de l'échantillon prélevée significatif...), ou d'analyses in vivo (mesure de la température...).
- **Après le prélèvement** : éviter les contaminations de l'échantillon prélevé : soit par le récipient, soit par l'apparition de bactéries lors du stockage. Réaliser les différentes analyses in situ selon un protocole expérimental bien défini.
- **Lors des résultats** : bien interpréter les résultats obtenus à l'aide d'une notice ou d'un modèle.

6. Protocoles d'analyse par type de micro-organisme.

Il existe plusieurs techniques possibles, elles sont relativement simples. Selon les inconvénients et les avantages de chacune, le responsable qualité devra faire des choix.

1) Dénombrement des coliformes totaux et thermotolérants dans 100mL d'eau:

Milieu utilisé: Bouillon Lactosé au BCP (*bouillon lactosé* au pourpre de bromocrésol)

Ensemencement: 10ml d'eau par tube contenant 10ml de milieu, 10 tubes à ensemercer.

Incubation:

30°C / 24-48H pour les coliformes totaux

44°C / 24-48H pour les coliformes thermotolérants

Lecture:

Tube positif si trouble du milieu et présence de gaz sous la cloche de Durham (au moins $1/10^{\text{ème}}$).

2) Recherche des streptocoques fécaux dans 100mL d'eau:

Milieu utilisé: Bouillon de Rothe

Ensemencement: 10ml d'eau par tube contenant 10ml de milieu, 10 tubes à ensemer.

Incubation:

37°C / 24-48H

Lecture:

Tube positif si trouble du milieu. Les tubes positifs devront obligatoirement être repiqués dans un bouillon de Litsky pour confirmation. Les résultats seront ensuite interprétés par la méthode du Nombre le Plus Probable (NPP)

3) Dénombrement des spores de germes Anaérobies Sulfito Réducteurs:

Milieu utilisé: VF (gélose viande-foie)

Ensemencement: Ensemencer 4 tubes de milieu VF avec 5ml d'eau puis les thermisé 10 min au bain-marie à 80°C.

Incubation:

37°C / 48-72H

Lecture: Comptage des colonies avec halo noir.

Chapitre 6. Régulation du milieu aquatique (Le pouvoir auto-épurateur de l'eau de mer)

Le terme d'**autoépuration** (ou **autopurification**) désigne l'ensemble des **processus biologiques, chimiques et physiques** permettant à un **sol** ou à un **écosystème** aquatique équilibré de **transformer** ou d'**éliminer** les **substances** qui lui **sont apportées** (**pollution**), de manière définitive (*autoépuration vraie*) ou temporaire (*autoépuration apparente*). L'autoépuration ne doit pas être confondue avec certains phénomènes de **bioconcentration** qui peuvent donner l'impression que le milieu est épuré, alors que le polluant y est encore présent. Par exemple des organismes **filtreurs** tels que les **moules** ou **huîtres** peuvent accumuler des quantités importantes de métaux lourds toxiques dans leur coquille (processus de détoxification naturel). Durant quelques décennies ces métaux ne seront pas bioassimilable ni présent dans l'eau, mais une partie sera libérée quand les fragments de coquilles seront érodés ou dissous dans le milieu (plus rapidement si le milieu est **acidifié**).

L'autoépuration peut provenir de deux catégories très différentes de processus :

1. Des processus **passifs** d'épuration, dus à des réactions **physicochimiques**, catalysées par la lumière (photodégradation) ;
2. Des processus d'épuration **activement** bioinduits par le vivant. Ici ce sont des microorganismes, des plantes, des animaux et/ou des champignons qui vont dégrader ou parfois inerte et/ou stocker tout ou une partie des contaminants d'un milieu (eau, air, sol...).

1. Effets des constituants de l'eau de mer (salinité, éléments à l'état dissous)

L'eau de mer riche en espèces animales et végétales transforme et élimine naturellement (en totalité ou en partie) les polluants auxquels elle sert d'exutoire. Grâce aux phénomènes de **filtration** et d'**oxydation**, combinés à l'action des organismes (bactéries, insectes, plantes, ...) vivant dans le milieu aquatique, la mer assure le maintien de la qualité de son eau et préserve l'équilibre de son écosystème. Si le niveau de pollution n'atteint pas un seuil critique, l'eau est capable de s'auto-épurer, c'est à dire d'éliminer progressivement les agents polluants. Quant aux **germes pathogènes**, il est universellement admis qu'un très grand nombre meurt rapidement au **contact** de l'eau de mer. Le phénomène de l'autoépuration peut cependant être moins efficace lorsque le milieu aquatique est victime d'une pollution excessive, ou lorsque la diversité du milieu est dégradée (ex.: travaux de canalisation). Ces perturbations peuvent provoquer la disparition, partielle ou totale, des **organismes décomposeurs**. Par ailleurs, l'épuration naturelle est impossible en cas de présence de substances non dégradables (exemple: certains plastiques, certaines molécules chimiques particulièrement stables,...).

Les bactéries, champignons et virus, en arrivant sur le littoral, vont être plus ou moins **dilués** selon les **conditions hydrodynamiques** rencontrées. Une partie importante de ces microorganismes est associée à des particules minérales ou organiques en suspension. Ils vont **sédimer** et se retrouver sur les fonds vaseux plus propices à leur survie. Ils pourront être éventuellement remis en suspension lors des marées, des tempêtes ou des opérations de dragage (ou de désenvasement des zones portuaires), et éventuellement contaminer les coquillages à proximité. Les **eaux marines** constituent un **milieu défavorable** pour ces **bactéries, champignons et virus**. Ils vont subir les **conditions stressantes** de cet environnement : la **salinité**, la **lumière solaire**, l'effet de la **prédation** et de la **température**.

Les bactéries vont, de plus, être sensibles à la compétition avec les bactéries naturellement présentes dans ce milieu et le manque de nutriment.

Le **devenir des micro-organismes** d'origine **fécale** dans le milieu marin est généralement évalué par le **T90**, soit le **temps nécessaire pour que 90 %** d'entre eux ne **soient plus détectés** par une technique classique. Ce paramètre permet ainsi de comparer leur **décroissance** dans des sites très différents. Il va varier, de façon sensible, selon l'**espèce** et l'état du **micro-organisme** et selon les **conditions environnementales** rencontrées (**Tab. 1**). La lumière solaire est souvent un des facteurs ayant le plus d'impact sur cette décroissance.

Tableau 1. Estimations du T90 en milieu marin (IFREMER, 2003)

Température	Bactéries	Virus
6°C	2-5 jours	10 – 30 jours
20°C	5- 35 heures	10 – 12 jours

La plupart des auteurs considèrent que de nombreux facteurs environnementaux physiques, chimiques ou biologiques sont décrits comme pouvant influencer la survie des entérobactéries en eau de mer, avec cependant une importance très inégale. On invoque ainsi l'influence de la **sédimentation** après **adsorption** des cellules sur le matériel particulaire, l'activité létale de la **salinité**, des **métaux lourds**, de la **carence en éléments nutritifs**, de la **lumière** et le rôle antagoniste de nombreux **éléments biologiques** propres aux eaux usées ou au milieu marin : micro- et macro prédateurs et substances antibactériennes produites par les algues, le phytoplancton ou les bactéries et les levures (**Fig. 3**).

- **La dilution** : elle intervient immédiatement après le rejet. Elle est favorisée par le mélange des eaux : courants, turbulence et action des marées. On estime que 90 à 99% des bactéries d'égout sont détruites après 48 heures de suspension dans l'eau de mer et que leur nombre décroît avec la distance beaucoup plus rapidement que l'on pourrait s'y attendre du fait de la simple dilution.
- **L'adsorption** : c'est la fixation des polluants sur toutes les particules organiques ou minérales en suspension dans le milieu aquatique. C'est un phénomène bien connu par lequel les microbes s'accrochent à des corpuscules dont ils suivent le sort ; l'adsorption contribue donc à un isolement des germes et à une efficace dissociation de la charge polluante, car elle peut atteindre 90 à 95% des bactéries et des virus.
- **La sédimentation** : directe ou indirecte (après adsorption), elle détermine la disparition momentanée des microbes. Cette disparition peut être provisoire, car il peut y avoir remise en suspension des sédiments et des bactéries. Très efficace en eaux calmes, elle se trouve amoindrie par la turbulence du milieu.
- **La lumière** : elle intervient sur la dispersion (dilution, adsorption, sédimentation) dans le sens où elle conditionne les mouvements verticaux et horizontaux des masses planctoniques. Une action bactéricide directe de la lumière ultraviolette est en principe admise, mais est très modeste car son action ne dépasse pas une profondeur de 0,05 m à 0,20m selon la turbidité.
- **La température de l'eau** : la décroissance des bactéries augmente avec la température de l'eau. Ainsi, en période estivale, celle-ci est un des facteurs majeurs de l'épuration microbienne.
- **Variations de pH** : au plan microbiologique, les fluctuations naturelles de pH n'interviennent pratiquement pas. Par contre elles jouent un rôle dans les mouvements de masses planctoniques.

- **La salinité** : les fortes variations de salinité d'un milieu à l'autre, ont tendance à empêcher l'accoutumance des bactéries allochtones à leur nouveau milieu, ce qui conduit à la décroissance de leur nombre.

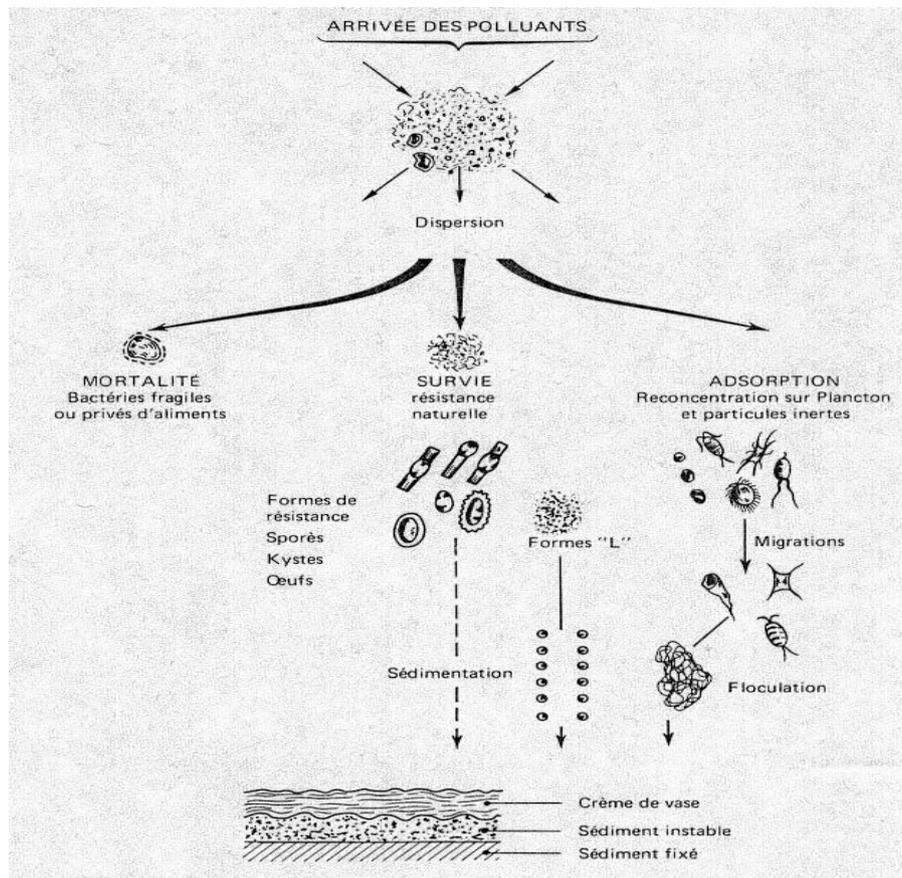


Figure 3. Devenir des microorganismes polluants dans le milieu marin.

2. Action des microprédateurs et des macroprédateurs

En effet, à côté des phénomènes de défense **passive** du milieu, il existe des phénomènes **actifs**, intervenant directement contre les bactéries rejetées dans la mer. Ces phénomènes se diffèrent selon l'endroit où se produisent ces attaques contre les bactéries rejetées.

Pour simplifier le problème, on doit considérer trois zones :

La zone d'estuaire : c'est la zone même du rejet du fleuve ou de l'égout ;

La zone benthique : c'est la zone du fond marin où ont été englouties les bactéries rattachées aux particules qui ont sédimenté ;

La zone pélagique : c'est la zone qui s'étend vers la pleine mer où vont dériver les eaux superficielles. A chacune de ces zones correspondent des mécanismes spécifiques où l'auto-épuration s'élabore d'une manière particulière :

Dans la zone d'estuaire, proche de l'arrivée des eaux d'égouts, le taux bactérien est élevé : une ville de 300 000 habitants rejette environ $1,5\text{m}^3$ d'eaux résiduaires par seconde, donc chaque cm^3 contient en moyenne 2 à 3 millions de germes bactériens. Dans cette zone d'estuaire, divers mécanismes auto-épurateurs apparaissent, relevant de l'action de **microprédateurs** tels que les bactériophages ou les *Bdellovibrio bacteriovorus*. Des études

ont montré que ces bactéries parasitent les germes entériques habituels dans l'eau d'égout et les font éclater. Ces phénomènes sont très actifs et importants dans la zone d'estuaire.

Dans la zone benthique, qui comprend la couche sédimentaire et la strate aqueuse qui la recouvre, on voit jouer un double phénomène: l'action antagoniste des bactéries spécifiquement marines et l'activité antiseptique des sécrétions algacées. Les bactéries marines sont en effet très nombreuses dans la couche sédimentaire benthique, où elles atteignent couramment des concentrations de 10^8 à 10^9 cellules/g de boue. Elles y trouvent une richesse en matières organiques qui favorise leur développement ; elles y jouent le rôle que les bactéries du sol jouent au niveau des terres émergées et sont à l'origine des cycles de la matière (**Fig. 4**)

Les micro-organismes, comme les bactéries **aérobies** ou les champignons, qui se repaissent de toute la matière organique morte et **biodégradable** présente dans le milieu aquatique, qu'elle soit produite par les autres organismes (telles les sécrétions animales) ou issue de leur décomposition, ou encore qu'elle provienne d'eaux de ruissellement, d'eaux infiltrées dans les sols ou d'eaux usées rejetées par les hommes ; pour dégrader ces matières organiques, les décomposeurs utilisent l'oxygène produit par les plantes.

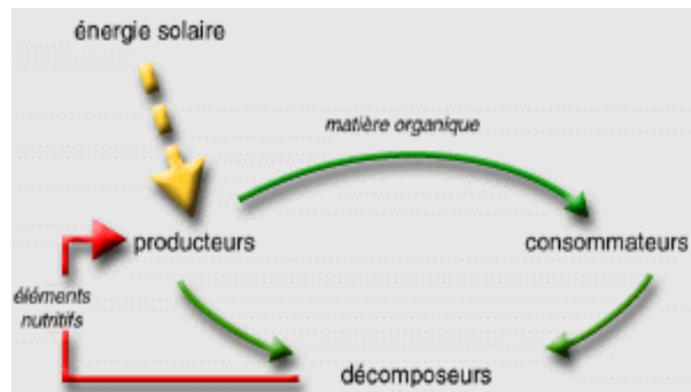


Figure 4. Le cycle de la matière.

Le rôle des décomposeurs, bactéries et champignons, est prépondérant car en décomposant les matières organiques, ils participent à l'épuration des écosystèmes aquatiques. En outre, en transformant les matières organiques complexes en substances minérales simples dont les producteurs, les végétaux, ont besoin, c'est-à-dire en recyclant les matières organiques, les décomposeurs referment en quelque sorte la boucle qui, des producteurs, mène aux consommateurs puis aux décomposeurs, une boucle que l'on a coutume d'appeler la chaîne alimentaire, ou chaîne trophique.

Au niveau de la zone pélagique, où est rejetée la majeure partie des bactéries entraînées dans les couches d'eaux superficielles et véhiculées par les courants, les mécanismes d'auto-épuration sont vraisemblablement plus complexes. On retrouve, les actions prédatrices dues aux petits crustacés planctoniques, mais c'est par ailleurs dans cette zone pélagique que se trouve la plus grande partie de la biomasse phytoplanctonique. Il a été montré que le phytoplancton, ou du moins certaines espèces, libérait dans l'eau de mer des substances qui ont une action antibactérienne et qui achèvent de détruire la plus grande partie des bactéries qui diffusent dans ces zones pélagiques. Il s'agit là surtout de micro-algues appartenant essentiellement à la classe des Diatomées et à celle des Chrysophycées. La nature chimique de certaines de ces substances a pu être déterminée : il s'agit d'un acide gras en C20, et d'un arabinosyl-nucléoside dans le cas d'une Diatomée très abondante, *Asterionella japonica*.

L'auto-épuration des eaux est soutenue par des *prédateurs microphages* : ce sont tous les organismes qui se nourrissent de microbes. Ils sont représentés par les amibes, les flagellés, les ciliés avec l'intervention des **macroprédateurs** ; des êtres plus évolués tels que les mollusques filtrants qui absorbent une grande quantité de bactéries et de virus avec leur nourriture.

Ainsi, dans l'ensemble du milieu marin, s'établit un certain nombre de dispositifs qui, par le jeu alterné de différents facteurs antagonistes spécifiques, règlent d'une manière constante la pollution bactérienne d'origine terrestre. Cette notion d'équilibre biologique constamment rattrapé constitue un des éléments de base les plus importants du milieu marin : **sa stabilité**.

3. Effets de sécrétion des algues

D'autre part, dans cette zone benthique, existent des **algues** qui tapissent le fond de la mer ; or, ces végétaux **rejettent** dans le milieu environnant des **substances** qui ont une **action fortement antibactérienne** : ce sont en particulier des phénols, des tanins, divers dérivés terpénoïdes et certaines substances de dégradation des chlorophylles. Ainsi donc, dans cette zone benthique, on trouve d'une part un mécanisme de **type antibiotique** dû aux bactéries spécifiquement marines et d'autre part un mécanisme de **type antiseptique** dû aux algues.

4. Limites des mécanismes auto épurateurs

L'autoépuration n'est possible qu'à certaines conditions et dans certaines limites (spatiales et temporelles, quantitatives et qualitatives). Elle est efficace pour les **polluants** qui sont **biodégradables** (rarement en condition **anaérobie**, et le plus souvent en condition **aérobie**), mais les polluants pas, peu, difficilement ou lentement dégradables ne sont souvent au mieux qu'inertés ou **stockés** dans les **sédiments** où ils peuvent **être remobilisé**

Mais le **processus d'auto-épuration** peut être **limité** : si les **rejets** de matières organiques sont **trop concentrés**, la capacité naturelle d'auto-épuration des organismes vivants est **saturée** et la pollution persiste. Par ailleurs, la présence de **substances toxiques** peut empêcher ce phénomène naturel. Cette capacité d'autoépuration est toujours fortement **corrélée** avec la capacité d'**oxygénation** du système.

Chapitre 7 : Conséquences de la pollution sur l'homme et le milieu

1. Qualité des eaux de baignade

1.1. Organisation du contrôle de la qualité des eaux de baignade

Connaître la qualité de l'eau de baignade en eau de mer ou en eau douce est un moyen pour prévenir tout risque pour la santé des baigneurs. Le suivi régulier de la qualité des eaux de baignade permet de connaître les impacts de divers rejets éventuels situés à l'amont du site et notamment d'apprécier les éventuels dysfonctionnements liés à l'assainissement d'eaux usées, aux rejets d'eaux pluviales souillées, etc, qui influencerait la qualité de l'eau du site de baignade. Les connaissances ainsi acquises peuvent fournir une aide à la décision aux collectivités locales afin d'améliorer la maîtrise des causes des pollutions engendrées notamment par une mauvaise gestion des eaux usées domestiques.

Le contrôle sanitaire des eaux de baignade est mis en œuvre par L'agence nationale pour la protection de l'environnement (A.N.P.E) demeure une préoccupation constante du ministère chargé de la santé.

A. Détermination des sites de baignade

Le contrôle sanitaire porte sur l'ensemble des zones accessibles au public où la baignade est habituellement pratiquée par un nombre important de baigneurs et qui n'ont pas fait l'objet d'un arrêté d'interdiction. Les eaux de baignade, qu'elles soient aménagées ou non, sont recensées annuellement par les communes. Le recensement s'effectue avant le début de chaque saison balnéaire et prévoit de prendre en considération l'avis du public exprimé au cours de la saison précédente.

B. Choix du ou des points de prélèvement de contrôle

La qualité des eaux de baignade est déterminée sur la base de résultats d'analyses sur des échantillons prélevés en un point de surveillance défini par l'A.N.P.E et le gestionnaire. Ce ou ces points de prélèvement(s) toujours identique(s) est (sont) défini(s) dans la zone de fréquentation maximale des baigneurs.

1.2. Réalisation du contrôle

a/ Prélèvement d'échantillons d'eau

Les prélèvements sont réalisés durant la saison balnéaire par des agents de l'A.N.P.E ou par les laboratoires agréés par le ministère chargé de la santé.

b/ Période de suivi des eaux de baignade

La période de suivi couvre l'ensemble de la saison balnéaire lorsque les sites de la baignade sont régulièrement fréquentés. Elle peut varier selon les départements en raison de conditions climatiques différentes.

c/ Fréquence de prélèvements

La réglementation en vigueur prévoit la réalisation d'un prélèvement entre 10 et 20 jours avant l'ouverture de la saison, puis des prélèvements, selon une fréquence minimale bimensuelle durant toute la saison balnéaire. Lorsqu'au cours des 2 années précédentes la qualité des eaux de baignade est demeurée conforme aux normes impératives définies par la réglementation, le nombre de prélèvements peut être réduit, sans toutefois être inférieur à 1 par mois.

Si au cours de la saison, un résultat témoigne d'une dégradation de la qualité de l'eau de baignade, des prélèvements de contrôle sont réalisés dans les meilleurs délais jusqu'au retour à une situation conforme à la réglementation en vigueur, afin de garantir ainsi l'absence de risque sanitaire pour les baigneurs.

d/Analyse des prélèvements

Les analyses sont réalisées par des laboratoires agréés au titre du contrôle sanitaire des eaux par le ministère chargé de la Santé. Il est obligatoire de les réaliser conformément aux normes d'analyses en vigueur.

1.3. Interprétation des résultats d'analyse

a/ Critères d'évaluation de la qualité de l'eau

L'appréciation de la qualité de l'eau est effectuée selon les dispositions du code de la santé publique selon décret exécutif n° 93-164 du 10 Juillet 1993 définissant la qualité requise des eaux de baignade et l'arrêté interministériel n°08 du 17 Janvier 1994.

La qualité des eaux de baignade est évaluée au moyen d'indicateurs microbiologiques (bactéries) analysés dans le cadre du contrôle sanitaire organisé par l'A.N.P.E :

- Les analyses microbiologiques effectuées concernent la mesure des germes (bactéries) témoins de contamination fécale. Ces micro-organismes sont normalement présents dans la flore intestinale des mammifères, et de l'homme en particulier. Leur présence dans l'eau témoigne de la contamination fécale des zones de baignade. Ils constituent ainsi un indicateur du niveau de pollution par des eaux usées et traduisent la probabilité de présence de germes pathogènes. Plus ces germes sont présents en quantité importante, plus le risque sanitaire augmente.

Les bactéries recherchées en laboratoire sont :

- les *Escherichia coli*;
- les entérocoques intestinaux

Le contrôle sanitaire inclut également une surveillance visuelle destinée à détecter la présence par exemple de résidus goudronneux, de verre, de plastique ou d'autres déchets.

Par ailleurs, la personne responsable de l'eau de baignade est tenue de mettre en oeuvre une surveillance visuelle quotidienne pendant la saison balnéaire et d'assurer une surveillance d'autres paramètres, tels que les cyanobactéries, les macroalgues ou le phytoplancton marin, en cas de risque de prolifération de ces derniers.

b/ Interprétation des résultats

Au cours de la saison balnéaire, chaque résultat d'analyse est comparé aux seuils de qualité des critères microbiologiques figurant dans le tableau ci-après :

- l'eau est de bonne qualité lorsque les résultats sont inférieurs aux valeurs guides,
- l'eau est de qualité moyenne lorsque les résultats obtenus sont supérieurs aux valeurs guides mais restent inférieurs aux valeurs impératives,
- l'eau est de mauvaise qualité lorsque les résultats sont supérieurs aux valeurs impératives.

Résultats des analyses d'Escherichia coli en UFC/100mL*

Valeur guide = 100

Valeur impérative = 2000

RESULTAT BON	RESULTAT MOYEN	RESULTAT MAUVAIS
0	100	2000

Résultats des analyses d'entérocoques intestinaux en UFC/100mL*

Valeur guide = 100

Pas de valeur impérative

RESULTAT BON	RESULTAT MOYEN
0	100

En cas de dépassement des valeurs impératives, la baignade peut être interdite par arrêté municipal ou préfectoral. Une enquête est dès lors menée pour rechercher les causes de pollution de la zone de baignade.

* UFC : unité formant colonie

1.4. Mesures d'interdiction de baignade

Le gestionnaire de la baignade est responsable des conditions de sécurité et d'hygiène dans lesquelles est pratiquée la baignade. En tant que titulaire du pouvoir de police sur sa commune, il appartient au maire d'interdire ou de limiter la baignade par la prise d'un arrêté municipal en cas de danger ou de contamination des eaux et de prendre les mesures d'information du public appropriées.

Interdiction temporaire lorsqu'un résultat d'analyse est mauvais

Lorsque que les résultats d'analyse dépassent les valeurs impératives et qu'il existe un risque sanitaire pour les baigneurs, des interdictions peuvent être prononcées à titre temporaire. Dans ce cas, l'interdiction de baignade ne pourra être levée tant que les analyses ne respectent pas les valeurs réglementaires requises, sauf s'il est démontré que la cause de la pollution a été supprimée et que celle-ci n'a plus d'effet. Il peut être procédé, si nécessaire, à l'analyse de paramètres complémentaires (germes pathogènes, composés chimiques, ...).

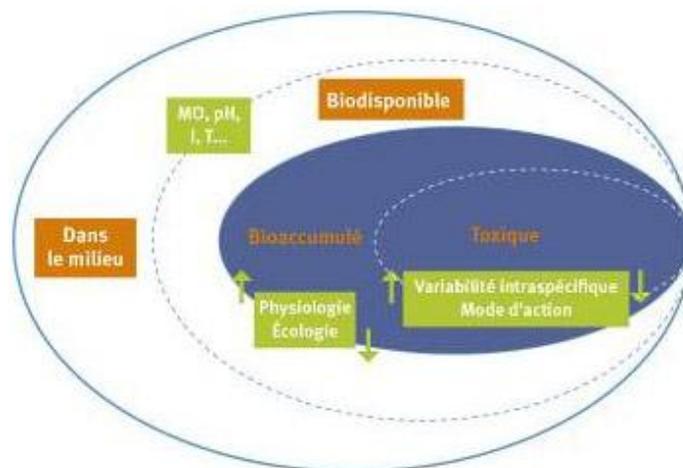
Par ailleurs, en cas de développement de micro-algues toxiques de type cyanobactéries ou de présence d'hydrocarbures sur les plages et/ou dans l'eau, des interdictions temporaires de baignade et d'usage de l'eau peuvent également être prononcées.

- il peut être « piégé » et ne pas contaminer les organismes vivants ou au contraire être « disponible » et les contaminer : ce concept se nomme **la biodisponibilité**. Ex.: un sol peut être fortement contaminé en métaux lourds sans pour autant que ces polluants soient dangereux pour la faune du sol (ex: vers de terre) si ces métaux ne sont pas biodisponibles, c'est à dire non assimilables par les organismes vivants. C'est le cas si les polluants sont adsorbés (=collés) très fortement à la surface des particules du sol. En revanche, si ces mêmes polluants sont dissous dans l'eau présente entre les particules du sol, alors ils sont biodisponibles et potentiellement dangereux pour la faune locale.

La biodisponibilité

La biodisponibilité désigne la fraction d'une substance ayant la possibilité d'être absorbée et d'être utilisée par le métabolisme d'un organisme vivant. Dans le cas d'un polluant, cela se traduit par une accumulation dans les tissus des organismes (fraction bioaccumulée) et /ou une contamination de ces mêmes organismes (fraction toxique).

Ainsi par exemple, les contaminants organiques, comme les HAP ou hydrocarbures aromatiques polycycliques générés par la combustion de matières fossiles, sont insolubles dans l'eau. Dans une rivière, les matières organiques présentes dans les sédiments peuvent piéger ces contaminants et les rendre indisponibles pour les organismes vivants. Cependant si la matière organique est elle-même ingérée par les organismes aquatiques, comme certains bivalves, sa capacité à fixer les polluants devient au contraire un vecteur de biodisponibilité et non une protection.



La biodisponibilité dépend à la fois du polluant, de son devenir dans l'environnement et de la physiologie de l'organisme exposé.

3. Transmission dans les chaînes biologiques

Comme on l'a vu précédemment, si un polluant se trouve dans le milieu naturel et qu'il est biodisponible, c'est à dire assimilable par les organismes, il est susceptible d'induire des effets sur les êtres vivants.

Une fois le polluant ingéré, ou encore respiré par un organisme, il est susceptible de s'accumuler au cours du temps dans les tissus. Il peut ainsi s'accumuler de façon très importante au point que les concentrations dans l'organisme sont très supérieures à celles que l'on trouve dans le milieu. Ce processus est appelé bioaccumulation.

Par ailleurs, c'est par ce processus de bioaccumulation que les polluants se transmettent tout au long de la chaîne alimentaire : la concentration est ainsi de plus en plus importante à

mesure que l'on monte au sommet de cette chaîne alimentaire dans laquelle on trouve des grands prédateurs tels que les poissons, les grands mammifères ou encore une espèce que nous connaissons bien, l'homme (**Fig. 3**)

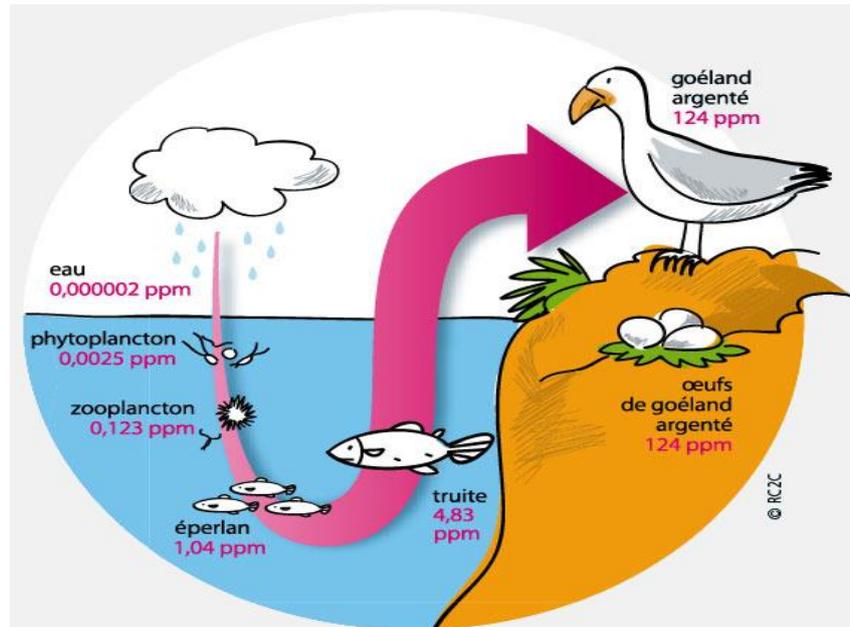


Figure 3. Fonctionnement d'une chaîne alimentaire.

➤ La bioconcentration

La bioconcentration correspond à l'accumulation d'une substance chimique dans un organisme à partir du milieu environnant. Elle comprend plusieurs étapes : l'absorption de la substance chimique, la répartition interne au sein de l'organisme, la modification par le métabolisme et l'élimination.

L'organisme peut concentrer plusieurs dizaines de milliers de fois la concentration du milieu extérieur. C'est le cas par exemple des vers de terre qui absorbent plusieurs fois leur poids en débris.

➤ La bioaccumulation

La bioaccumulation désigne le processus par lequel les organismes vivants concentrent et extraient à la fois directement et indirectement à partir de leur milieu et à partir de leur nourriture.

➤ La bioamplification

La bioamplification fait référence à l'accumulation progressive tout au long de la chaîne alimentaire d'un polluant. La concentration interne d'un polluant sera beaucoup plus importante chez un consommateur secondaire que chez un producteur primaire.