

*MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ CHADLI BENDJEDID D'EL-TARF
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER*

*Dr RACHEDI MOUNIRA
MAÎTRE DE CONFÉRENCES « A »*

*COURS DE
POLLUTION MARINE
&
CONTINENTALE
&
IMPACTS*

*3^{ème} A. LICENCE HALIEUTIQUE
3^{ème} A. LICENCE BIOLOGIE & ECOLOGIE DES MILIEUX AQUATIQUES*

Avant-propos

Ce polycopié de cours est essentiellement adressé aux étudiants inscrits en troisième année licence, et ceci pour les deux spécialités : **Halieutique & Biologie et Ecologie des Milieux Aquatiques**, de la filière d'Hydrobiologie Marine et Continentale, du domaine des Sciences de la Nature et de la Vie.

Le contenu de ce polycopié de cours est conforme au programme officiel des deux spécialités précitées (selon le nouveau canevas ministériel de 2018-2019).

L'enseignement de cette unité fondamentale et dont l'intitulé : **Pollution des eaux marine et continentale et impacts**, permet de connaître les différents types de pollution aquatique (pollution organique, industrielle, biologique,..), leurs effets sur l'environnement et les organismes marins, et l'écotoxicologie des milieux aquatiques.

Dr RACHEDI Mounira

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
1	Image montrant un milieu naturel turbide (a), et un turbidimètre portatif ou de terrain (b) (lavallab.com).	11
2	Image d'une station d'épuration (algerie-eco.com).	14
3	Classification de la matière organique adapté de Crittenden <i>et al.</i> , 2005.	16
4	Exemples de minéraux (un par classe) (Descouens, 2009).	19
5	L'eutrophisation : un phénomène naturel pouvant être accéléré par l'homme (Ministère de l'Environnement, 2005).	21
6	Photos de <i>Dynophysis aigu</i> sous microscope (strinfixer.com).	22
7	Différents types d'hydrocarbures, (a) : pétroles, (b) : gaz de schiste (futura-sciences.com).	37
8	Pollution au nitrate : une bombe à retardement dans nos sols (consoglobe.com).	53
9	Exemple d'eutrophisation dans des milieux naturels (planet-vie.ens.fr).	55
10	Les symboles et indications de danger (INRS, 2009).	57
11	Cycle des pesticides (aquaportail.com).	58
12	Devenir en mer des micro-organismes d'origine fécale (Piquet <i>et al.</i> , 2011).	66
13	Photo d'un <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (a) et <i>Escherichia coli</i> (b).	70
14	Analyse physico-chimique de l'eau, (a) : multi-paramètre de terrain, (b) : mesure <i>in situ</i> des paramètres physico-chimique.	75
15	Analyse d'échantillons d'eau par spectrométrie, (a) : spectromètre, (b & c) : cuves pour spectrophotométrie.	75
16	Quelques exemples d'espèces d'algues toxiques, (a) : dinoflagellé <i>Karena brevis</i> , (b) : <i>Laminaria digitata</i> , (c) : <i>Desmarestia ligulata</i> , (d) : <i>Caulerpa taxifolia</i> , (e & f) : marée rouge par prolifération de microalgues.	80
17	Photo d'un dinoflagellé <i>Alexandrium minutum</i> .	84

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
1	Classification de l'eau d'après leur pH (Gomella <i>et al.</i> , 1978).	10
2	Normes bactériologiques de potabilité de l'eau pour la consommation humaines (Directive CEE norme humaine).	71
3	Normes chimiques de potabilité de l'eau pour la consommation humaines (Directive CEE norme humaine).	71
4	Valeurs limites de qualité des eaux de baignades, proposées par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET, 2007).	73

TABLE DES MATIÈRES

COURS 1 : INTRODUCTION A LA POLLUTION	1
1.1. Définition de la pollution	1
1.2. Pollution des écosystèmes aquatiques	1
1.3. Origine de la pollution marine	1
1.3.1. La pollution domestique	1
1.3.2. La pollution industrielle	1
1.3.3. La pollution agricole	2
1.4. Nature de la pollution marine	2
1.4.1. Pollution chimique	2
1.4.2. Pollution physique	2
1.4.3. Pollution biologique	2
1.5. Source de pollution marine	3
a. Par la mer des macro-déchets sur les plages	3
b. Par les oueds des matières et contaminants	3
c. Par voie atmosphérique	3
d. Par les stations d'épurations	3
e. Par les apports urbains	3
1.6. Les conséquences de la pollution des eaux	4
1.6.1. Conséquences sur l'environnement	4
1.6.2. Les conséquences sur la santé	4
1.7. Les solutions pour remédier à cette pollution	4
COURS 2 : INDICATIONS GENERAUX DE LA POLLUTION DES EAUX	6
2.1. La demande en oxygène	6
2.1.1. Définition de la DBO	6
2.1.2. Définition de la DCO	7
2.2. Le potentiel hydrogène (pH)	9
2.3. La turbidité...	10
2.4. Matière en suspension (MES)	12
2.4.1. Écologie, écotoxicologie	13
2.4.2. Épuration	14
2.5. Détermination de la matière organique et minérale	15
2.5.1. Matière organique naturelle (MON)	15
2.5.1.1. Facteurs contrôlant les taux de décomposition de la matière organique	16
2.5.2. Matière minérale	17
2.6. Eutrophisation	20
2.6.1. Définition	20
2.6.2. Origine	20
2.6.3. De quels composés nutritifs l'homme enrichit-il le milieu ?	21
a. les rejets urbains	21
b. les rejets agricoles	22
c. les rejets industriels	22
2.6.4. Les différents stades de l'eutrophisation	22
a. Oligotrophe	23

b. Mésotrophe	23
c. Eutrophe	23
2.6.5. Les facteurs favorisant l'eutrophisation	23
a. Une température élevée	23
b. Un éclaircissement fort	23
c. Un courant faible	24
d. Profondeur de l'eau faible	24
d'eau d. L'homogénéisation des conditions d'habitats des cours	24
2.6.6. Mécanisme de l'eutrophisation	24
2.6.7. Impact sur l'écosystème aquatique	25
a. Asphyxie du milieu	26
b. Apparition de composés toxiques	26
c. Destruction d'habitats	26
d. Diminution du rendement de la pêche	26
e. Gène aux activités de loisirs	26
f. Nuisances esthétiques et odorantes	26
g. Altération des matériaux et des installations humaines	26
h. Altération de la transparence	26
Cas particulier : le phénomène des « algues bleues »	26
2.6.8. moyen de lutte contre l'eutrophisation	27
COURS 3 : LA POLLUTION D'ORIGINE INDUSTRIELLE	29
3.1. Des métaux lourds	29
3.1.1. Dans les cycles biogéologiques	30
3.1.2. Cinétique environnementale	31
3.1.3 Impacts écotoxicologiques	31
3.1.4. Impact toxicologique	31
3.2. Des organochlorés	33
3.2.1 Composés naturels et artificiels	33
3.2.2. Impacts environnementaux et sanitaires	34
3.3. Des détergents	35
3.4. Des hydrocarbures	36
3.4.1. Définition	36
3.4.2. Différents types d'hydrocarbures	36
3.4.2.1. Les hydrocarbures conventionnels	38
3.4.2.2. Les hydrocarbures non conventionnels	38
3.4.3. Inconvénient de l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels	38
3.4.4. L'utilisation des hydrocarbures	39
3.4.4.1. Combustibles	39
3.4.4.2. Pétrochimie	39
3.4.5. Pollution par les hydrocarbures des milieux marins	39
3.4.5.1. Définition du Pétrole	39
3.4.5.2. Sources de pollution par les hydrocarbures	40
3.4.5.3. Devenir	41
3.4.5.4. Impact	42
a. Conséquences d'ordre physique	42
b. Conséquences d'ordre biologique	42
c. Pollution pétrolières en milieu fermé	43

d. Conséquences pour l'homme	43
3.5. Pollution thermique	44
3.5.1. Définition	44
3.5.2. Les principaux pollueurs	44
3.5.3. Effets de la pollution thermique	45
3.5.4. Lois et réglementation	46
3.6. La pollution radioactive	46
3.6.1. Définition	46
3.6.2. Origine	46
3.6.3. Impact	47
3.6.4. Lutte	48
3.7. Pollution mécanique	48
3.7.1. Définition	48
3.7.2. Différents formes de pollution mécanique	48
a. Boues (M.E.S)	48
b. solides flottants	49
c. Ordures ménagères	49
COURS 4 : LA POLLUTION D'ORIGINE AGRICOLE	51
4.1. Les problèmes des fertilisants : phosphates, nitrates	51
4.1.1. La pollution par les nitrates	51
4.1.2. La pollution par le phosphore	53
4.1.3. L'Eutrophisation des milieux aquatiques et des zones humides	54
a) Les effets de l'eutrophisation	56
4.2. Pollution par les pesticides	57
4.3. Mécanismes de transfert dans l'hydrosphère (ruissellement, infiltration, lessivage)	59
COURS 5 : LA POLLUTION D'ORIGINE DOMESTIQUE	61
5.1. Introduction à la microbiologie (morphologie, notion de classification, les germes témoins de contamination fécale...)	61
1. Les algues	62
2. Les protozoaires	62
3. Les mycètes	62
4. Les bactéries	62
5. Les virus	62
6. Les prions	62
5.1.1. Les germes témoins de contamination fécale	63
5.1.1.1. Intérêt de cet indicateur	63
5.1.1.2. Quels sont les germes que l'on peut utiliser ?	64
5.1.1.3. Devenir des micro-organismes dans les milieux aquatiques	64
5.1.1.4. Autres indicateurs possibles	66
5.2. Les méthodes de prélèvement (échantillonnage)	66
5.2.1. Méthodes d'analyse	67
a) Les méthodes en analyse bactériologique	68
b) Les méthodes en analyse virologique	68
c) Les méthodes en analyse parasitologique	69
d) Les apports de la biologie moléculaire	69
e) Les méthodes en algologie	69
5.3. Protocoles d'analyse par type de micro-organisme	70

Table des matières

5.3.1. Germes et tests de contamination fécale	70
5.3.2. Contrôle des eaux de boisson	71
5.3.3. Contrôle des eaux de baignades	72
COURS 6 : REGULATION DU MILIEU AQUATIQUE	74
6.1. Effets des constituants de l'eau de mer (salinité, éléments à l'état dissous)	74
6.1.1. Les indicateurs biologiques	76
6.2. Action des microprédateurs et des macroprédateurs	77
6.3. Effets des sécrétions des algues	78
6.3.1. Facteurs qui favorisent les algues toxiques	81
6.3.2. Pourquoi les algues produisent des toxines ?	82
6.3.3. Les effets des toxines sur l'homme	83
6.3.4. Les moyens de lutte	83
6.3.5. Les raisons de ces efflorescences	84
6.4. Les limites des mécanismes auto-épurateurs	85
6.4.1. Définition	85
6.4.2. Conditions et limites	86
COURS 7 : CONSEQUENCES DE LA POLLUTION SUR L'HOMME ET LE MILIEU	87
7.1. Qualité des eaux de baignade	87
7.2. Fixation et concentration des polluants par les organismes	87
7.3. Transmission dans les chaînes biologiques	87
REFERENCES	90
GLOSSAIRE	97



INTRODUCTION

À LA POLLUTION

Cours 1 : Introduction à la pollution

1.1. Définition de la pollution :

Polluer, c'est salir, profaner, contaminer et dégrader.

C'est la dégradation d'un biotope par l'introduction, généralement humaine (anthropique), de substances chimiques ou organiques, des gènes ou de radiations (radioactivité, lumière artificielle), en altérant de manière plus ou moins importante le fonctionnement de l'écosystème.

1.2. Pollution des écosystèmes aquatiques :

C'est un fait inévitable qui se produit depuis plusieurs années déjà dans tous les océans et mers. Elle résulte surtout des déchets organiques et toxiques rejetés dans les mers suite à des **activités humaines** et quelquefois par suite de certaines **Catastrophe naturelles**. Mais il faut souligner que polluer les eaux marines revient aussi à polluer tous les écosystèmes aquatiques.

1.3. Origine de la pollution marine :

1.3.1. La pollution domestique :

Les effluents (rejet d'eaux usées) contiennent : Des germes fécaux, des sels minéraux (azote, potassium), des détergents, de fortes teneurs en matières organiques.

1.3.2. La pollution industrielle :

Elle provient des usines et contient une grande diversité de produits issus de l'activité humaine : Des graisses et matières organiques, des hydrocarbures, des métaux, des matières

radioactives provenant des activités nucléaire, industrielle, médicale et scientifique, de l'eau chaude.

1.3.3. La pollution agricole :

Provenant des fermes ou des cultures, caractérisé par : Des fortes teneurs en minéraux (azote, phosphate, potassium) provenant des engrais, de la matière organique et des germes provenant des élevages. De la présence des produits chimiques de traitement des terres (insecticides, pesticides, fongicides, engrais chimiques).

1.4. Nature de la pollution marine :

1.4.1. Pollution chimique :

pollution engendrée par un apport important de substances chimiques (rejets industriels) normalement absentes, ou présentes naturelles à des concentrations très faibles, telles que les hydrocarbures, les détergents, les biocides (pesticides), Métaux lourds....

1.4.2. Pollution physique :

On parle de ce type de pollution quand le milieu marin est modifié dans sa structure physique par divers facteurs : tel que le rejet d'eau douce qui fera baisser la salinité un lieu, d'un rejet d'eau réchauffée ou refroidie (centrales thermiques), le rejet de substance liquide ou solide modifiant la turbidité du milieu (boue, limon, ...).

1.4.3. Pollution biologique :

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, champignons ...etc.) provenant généralement des égouts.

Il peut également s'agir de l'introduction d'une espèce marine dans une zone où elle est normalement absente et dans laquelle elle a un impact non négligeable (ex : *Caulerpa taxifolia*).

1.5. Source de pollution marine :

- a. Par la mer des macro-déchets sur les plages :** On désigne par macro déchets toutes les matières, solides, déchets, débris divers de fabrication humaine qui ; au gré de leur déplacement en mer et des apports telluriques ; finissent par s'amonceler sur les plages. Il s'agit d'une pollution visible dont l'impact est important sur le tourisme côtier et telle qu'elle oblige les municipalités concernées à nettoyer.
- b. Par les oueds des matières et contaminants :** Les fleuves sont à l'origine d'importants apports de matières organiques et minérales d'Azote, de Phosphore et dans une moindre mesure, des métaux, de pesticides organochlorés, de biphényles, les polychlorures (PCB) et d'autres substances synthétiques dont on connaît encore mal les effets (les apports d'origine agricole par les lessivages).
- c. Par voie atmosphérique :** Des quantités importantes de contaminants métalliques organiques peuvent arriver en mer par voie atmosphérique : cadmium, cuivre, zinc et les hydrocarbures.
- d. Par les stations d'épurations :** C'est une technologie d'épuration visant essentiellement à éliminer la solution organique en suspension et en solution après désinfection de l'eau destinée à la consommation.
- e. Par les apports urbains :** C'est les rejets de matière organique provenant d'industries de type agro-alimentaire (laiteries, conserveries, abattoirs, etc.) et des zones urbaines.

1.6. Les conséquences de la pollution des eaux :

1.6.1. Conséquences sur l'environnement :

- Empoisonnement et dégradation de la flore et de la faune par les toxiques (ex : par les hydrocarbures en plus des nitrates et des phosphates)
- Radioactivité des eaux du fait du développement du déversement des résidus radioactifs dangereux.
- L'eutrophisation.

1.6.2. Les conséquences sur la santé :

- Effet cancérigènes et toxique, atteintes au foie, aux reins et au système nerveux (pesticide, hydrocarbures, solvants, colorants).
- Maladies de la peau (champignons, solvants)
- Maladies diarrhéiques telles que la dysenterie, la typhoïde et le choléra (bactérie, virus).
- Fausse couche, reproduction et/ou croissance perturbée, baisse de fertilité... (engrais, colorants, solvants, métaux lourds).

1.7. Les solutions pour remédier à cette pollution :

Comme le dit si bien le dicton : « Mieux vaut prévenir que guérir ». Ainsi, à l'évidence, mieux vaut ne pas polluer que de chercher à réparer les effets de la pollution. Il convient donc de lutter de manière individuelle mais aussi collective, dans la mesure du possible, à la source même de celle-ci :

- Diminuer les sources de pollution (= polluants),
- Diminuer notre consommation (= diminuer les traitements chimiques et les infrastructures nécessaires).

- Réduire la dose des détergents (vaisselles, carrelage, agricultures).
- Synthétiser des détergents qui respectent l'environnement (sans phosphate ni décolorants).
- Eviter les engrais chimiques (nitrate), et utiliser des engrais biologiques.
- Ne pas jeter des déchets dans l'eau (les trier).
- Ne pas jeter les huiles de vidange, huiles ménagères, herbicides et autres rejets de produits polluants dans les eaux usées (évier), une fosse sceptique (toilettes) ou une rivière.

INDICATIONS

GÉNÉRAUX DE LA

POLLUTION DES

EAUX

Cours 2 : Indications généraux de la pollution des eaux

2.1. La demande en oxygène :

L'oxygène est un des facteurs écologiques parmi les plus importants des systèmes aquatiques. D'abord parce qu'il est essentiel pour la respiration des organismes, ensuite parce qu'il y est rare et que son renouvellement n'y est pas aisé.

Les matières organiques consomment, en se dégradant, l'oxygène dissous dans l'eau. Elles peuvent donc être à l'origine, si elles sont trop abondantes, d'une consommation excessive d'oxygène, et provoquer l'asphyxie des organismes aquatiques. Le degré de pollution s'exprime en demande biochimique en oxygène sur 5 jours (DBO5) et en demande chimique en oxygène (DCO).

Ainsi, les matières organiques, sont des matières oxydables qui nécessitent pour leur décomposition une certaine quantité d'oxygène. Elles vont appauvrir le milieu naturel en oxygène, c'est pourquoi elles sont considérées comme des matières polluantes. Deux paramètres permettent d'évaluer la teneur en matières organiques : la DCO et la DBO5.

2.1.1. Définition de la DBO :

La DBO, ou Demande Biochimique en Oxygène, correspond à la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques (biodégradables), dissoutes ou en suspension dans l'eau en **mg O₂ / l**. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante entraîne une consommation de l'oxygène) au cours des

procédés d'autoépuration. La DBO permet de mesurer la qualité d'une eau dans un bocal (eaux superficielles : rivières, lacs...., eaux usées : stations d'épuration, rejets industriels...). L'eau analysée contient une quantité de matières organiques biodégradables, rejetées dans le milieu naturel, ces matières organiques vont être dégradées par voie biologique ce qui va entraîner un développement des micro-organismes aérobies. Cette prolifération provoquera une chute de l'oxygène dissous dans le milieu récepteur et conduira à l'asphyxie des espèces présentes. Cette analyse permet donc de connaître l'impact du rejet dans le milieu récepteur.

La demande biochimique en oxygène, elle permet d'évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux usées. Elle est en général calculée au bout de **5 jours** à **20°C** et dans **le noir**, On parle alors de DBO5.

La DBO5 est la quantité d'oxygène consommé dans les conditions de l'essai : incubation durant 5 jours à 20°C, à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite). Intérêt de la DBO5 est **quantifier la charge polluante organique d'une eau** c'est évaluer l'impact d'un rejet sur le milieu naturel, ainsi l'intensité du traitement nécessaire à l'épuration d'un rejet.

2.1.2. Définition de la DCO :

DCO ou la Demande Chimique en Oxygène, elle s'exprime en milligramme par litre (**mg/l**) d'oxygène et correspond effectivement à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder dans des conditions opératoires définies, les matières organiques présentes dans un échantillon donné. L'oxydation est réalisée ici par un réactif ayant un pouvoir d'oxydation puissant (le permanganate de potassium à chaud en milieu acide).

La quantité de réactif consommé pour l'oxydation des matières organiques présentes, rapportée en mg/l d'oxygène, correspond à la DCO. Les eaux destinées à la consommation humaine doivent avoir une DBO5 de 0 mg/l.

Les eaux superficielles de bonne qualité ont une DBO5 égale à quelques mg/l.

La DCO représente **l'ensemble des matières oxydables** et la **DBO5** représente la **part des matières organique biodégradables**.

La différence entre la DCO et la DBO5 représente la charge en matières organiques peu ou pas biodégradable.

Calcul : $DCO / DBO\ 5 = \text{Rapport}$.

Pour les eaux usées domestiques le rapport est de 1,5 à 2. Ce qui correspond à une biodégradation facile. Il peut atteindre 2,5 à 3 sans inconvénient très sensible.

Important : La DCO sera toujours **supérieure** à la DBO5 (sauf conditions particulières).

La DBO5 mesure la quantité d'oxygène consommée en 5 jours à 20°C par les microorganismes vivants présents dans l'eau.

La DCO représente quant à elle quasiment tout ce qui est susceptible de consommer de l'oxygène dans l'eau, par exemple les sels minéraux et les composés organiques. Plus facile et plus rapidement mesurable, avec une meilleure reproductibilité que la voie biologique, la DCO est systématiquement utilisée pour caractériser un effluent.

Sur la base de cette méthode, la DCO est devenue un paramètre couramment utilisé dans l'analyse des eaux usées. Il est utilisé pour la planification dans les usines de traitement des eaux usées, pour le contrôle de l'efficacité du nettoyage et pour le calcul des taxes sur les eaux usées.

En général, la demande biologique en oxygène sert de paramètre global pour l'évaluation de la pollution des eaux usées.

2.2. Le potentiel hydrogène (pH) :

Le pH est une mesure de l'activité chimique des ions hydrogènes H^+ (appelés aussi couramment protons) en solution. Notamment, en solution aqueuse, ces ions sont présents sous la forme de l'ion oxonium (également, et improprement, appelé ion hydronium).

Plus couramment, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25°C :

Indice servant à exprimer le degré d'acidité ou d'alcalinité dans une matière. Un potentiel hydrogène (pH) est dit « neutre » lorsqu'il est égal à 7, « acide » lorsqu'il est inférieur à 7 et « alcalin » (ou basique) lorsqu'il est supérieur à 7. Pour l'eau potable, il doit être supérieur à 6,5 unités. Au-dessous de ce seuil, l'eau est agressive, avec un effet corrosif sur les canalisations, qui peut conduire à la dissolution de métaux **toxiques** tel le plomb. Le pH doit être inférieur à 9, limite au-dessus de laquelle l'eau est ns alcaline.

Donc le Potentiel Hydrogène (pH) : est un paramètre qui nous permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau. Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 étant le pH de neutralité à 7. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau) (Tab. 1).

Tableau 1 : Classification de l'eau d'après leur pH (Gomella *et al.*, 1978).

pH	Qualité d'eau
pH < 5	Acidité forte : présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée, majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité fort évaporation intense

Le pH de l'eau de mer voisin de 8,2 est principalement fixé par la présence des carbonates : CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} . La modification des concentrations en CO_2 respiration, photosynthèse ou échange air-océan) ou en CO_3^{2-} (précipitation) entraîne donc une modification du pH (Aminot *et al.*, 1983).

En milieu côtier certains rejets industriels ou les apports d'eaux de ruissellement sont la cause de variation du pH qui s'avère être dans ce cas un indice de pollution, mais cette variation reste très localisée aussi bien dans le temps que dans l'espace.

2.3. La turbidité :

En fonction de son origine, l'eau à l'état naturel peut être plus ou moins chargé de particules en suspension ou de matières colloïdales (argile, limon, matières organiques, oxydes métalliques, plancton, etc.). Le trouble de l'eau causé par ces particules est la turbidité, son unité est Le NFU l'appareil utilisé pour les mesures s'appelle le turbidimètre (Fig. 1).

La turbidité de l'eau ne présente pas en soi un risque sanitaire direct, mais elle a pour inconvénient d'offrir une protection aux micro-organismes au cœur des particules. Elle peut aussi être à l'origine d'une odeur ou d'une saveur désagréable et d'une modification de la couleur de l'eau de consommation.



Fig. 1 : Image montrant un milieu naturel turbide (a), et un turbidimètre portable ou de terrain (b) (lavallab.com).

La référence de qualité de l'eau du robinet est de 2 NFU pour l'eau de source et de 1 NFU pour les eaux issues des nappes, des lacs ou des rivières. Afin d'améliorer la turbidité de l'eau, les stations de traitement sont équipées d'unités de filtration ou de microfiltration en fonction des besoins. La gestion minutieuse des réseaux de distribution de l'eau potable (nettoyages des réservoirs et purges des canalisations) permet également de limiter les perturbations liées à la turbidité. Les fortes pluies sur sols dévégétalisés (sans végétales) sont le premier facteur d'augmentation de la turbidité (Fleuve Betsiboka à Madagascar).

Donc La turbidité désigne la **teneur d'un fluide en matières qui le troublent**. Dans les cours d'eau elle est généralement causée par des matières en suspension et des particules colloïdales qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière. Dans les eaux eutrophes, il

peut aussi s'agir de bactéries et de micro-algues. Quand un fleuve turbide se jette en mer, il crée généralement un bouchon vaseux, un delta sédimentaire et produit en mer un « éventail turbiditique » parfois bien visible de satellite.

La turbidité est un facteur écologique important, qui peut traduire :

- Une teneur importante (normale ou non) en matières en suspension (consécutives par exemple à l'érosion, au lessivage de sols fragiles, dégradés ou agricoles labourés).
- Une teneur élevée en plancton.
- Une pollution ou eutrophisation de l'eau, cause éventuelle d'asphyxie (par anoxie) du milieu ou colmatage des branchies des poissons.
- Les eaux turbides limitent la pénétration des rayons lumineux nécessaires à la photosynthèse, et la pénétration des rayons UV qui jouent un rôle important en limitant les populations microbiennes de certains éléments pathogènes.
- La couleur de l'eau, liée à la nature des matières en suspension, a un impact sur la température de l'eau (un liquide foncé absorbe mieux la chaleur, un liquide blanc se réchauffant le moins vite).

2.4. Matière en suspension (MES) :

La notion de matière en suspension (ou MES) désigne l'ensemble des matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes dans un liquide. Plus une eau en contient, plus elle est dite turbide. En effet, les MES et les particules solides transportées dans les cours d'eau proviennent de l'érosion de la couche superficielle des sols sous l'action dynamique de l'eau de pluie, de ruissellement ou encore d'écoulement dans les eaux.

Elle est également étudiée en tant que « matrice » capable d'absorber divers polluants, qui peuvent s'y transformer et être transportés par le courant, ou qui peuvent passer dans le réseau trophique et l'alimentation (via les organismes filtreurs notamment).

Les particules fines en suspension dans une eau sont soit d'origine naturelle, en liaison avec les précipitations, soit produites par les rejets urbains et industriels. Leur effet néfaste est mécanique, par formation de sédiments et d'un écran empêchant la bonne pénétration de la lumière d'une part (réduction de la photosynthèse), ainsi que par colmatage des branchies des poissons d'autre part. Leurs effets sont par ailleurs chimiques par constitution d'une réserve de pollution potentielle dans les sédiments.

Ce terme, surtout utilisé dans les domaines de l'écologie des milieux aquatiques et dans le secteur industriel du traitement de l'eau, inclut toutes les formes de minéraux, de sable, de boue, d'argile, de roche sous forme de débris, de particule de matières organiques ou autres, dont la taille est comprise entre 1 micromètre et 1 centimètre.

On différencie :

- Les matières en suspension des colloïdes (taille comprise entre 10 nm et 1 μ m),
- Les matières dissoutes (taille inférieure à 10 nm).

2.4.1. Écologie, écotoxicologie :

Les MES jouent un rôle majeur dans l'environnement et certains cycles biogéochimiques. Leur rôle est positif neutre ou négatif selon les cas, par exemple négatif quand les MES sont dues à des phénomènes anormaux d'érosion, de pollution ou d'eutrophisation/dystrophisation.

Les MES peuvent asphyxier les coraux, d'autre espèces ou tout un milieu aquatique quand elles sont présentes en excès, ou provoquer des anoxies momentanées (en interdisant la photosynthèse tout en étant source de consommation d'oxygène).

Elles font normalement partie de nombreux animaux filtreurs et planctoniques. Elles alimentent le bouchon vaseux des estuaires. Elles adsorbent et transportent de nombreux polluants et contribuent à des transferts importants de certains polluants, dont radioactifs qu'on ne peut pas trouver dans l'eau filtré, mais abondamment trouvés dans les matières en suspension.

2.4.2 Épuration :

Les MES sont mesurées en amont et en aval des stations d'épuration afin d'établir le niveau d'efficacité des procédés utilisés et d'ajuster le dosage des agents chimiques appliqués (Fig. 2). La méthode de mesure est normalisée par l'Afnor sous le numéro NF EN 872.



Fig. 2 : Image d'une station d'épuration (algerie-eco.com).

En Algérie, Cent soixante-douze stations d'épuration des eaux usées sont en exploitation à travers le pays, a indiqué le ministre des Ressources en eau et de l'Environnement, Abdelouahab Nouri, lors d'une visite de travail en 2016 à Laghouat. Ces infrastructures génèrent près d'un milliard de mètres cubes d'eaux traitées destinées à l'irrigation agricoles et font de l'Algérie le premier pays d'Afrique en la matière.

2.5. Détermination de la matière organique et minérale :

La **matière organique** se distingue du reste de la matière (**minérale**), à plusieurs titres : une faible proportion dans l'univers ; le rôle central joué par le carbone ; une évolution rapide au sein de cycles notamment dans les écosystèmes où elle passe par des étapes de décomposition.

2.5.1. Matière organique naturelle (MON) :

Les principaux éléments de la MON sont le carbone, l'oxygène, l'azote, le soufre et l'hydrogène. Le carbone est l'élément dominant en termes de masse puisqu'il représente 40 à 50% de la masse de la MON. C'est pourquoi la MON peut être quantifiée indirectement par l'analyse du carbone organique total (COT) (Servais *et al.*, 2005). Étant donné que la MON peut être dissoute ou particulaire, deux analyses de COT peuvent être faites : le carbone organique particulaire (COP) et le carbone organique dissous (COD). Le COD est le COT qui est inclus dans la MON qui passe à travers un filtre ayant une porosité de 0,2 μm à 1,2 μm , la porosité de 0,45 μm étant la plus courante (Servais *et al.*, 2005). De plus, on peut aussi mesurer les fractions biodégradables et réfractaires à la biodégradation du COD et du COP. Une classification générale du COT est illustrée à la Figure 3.

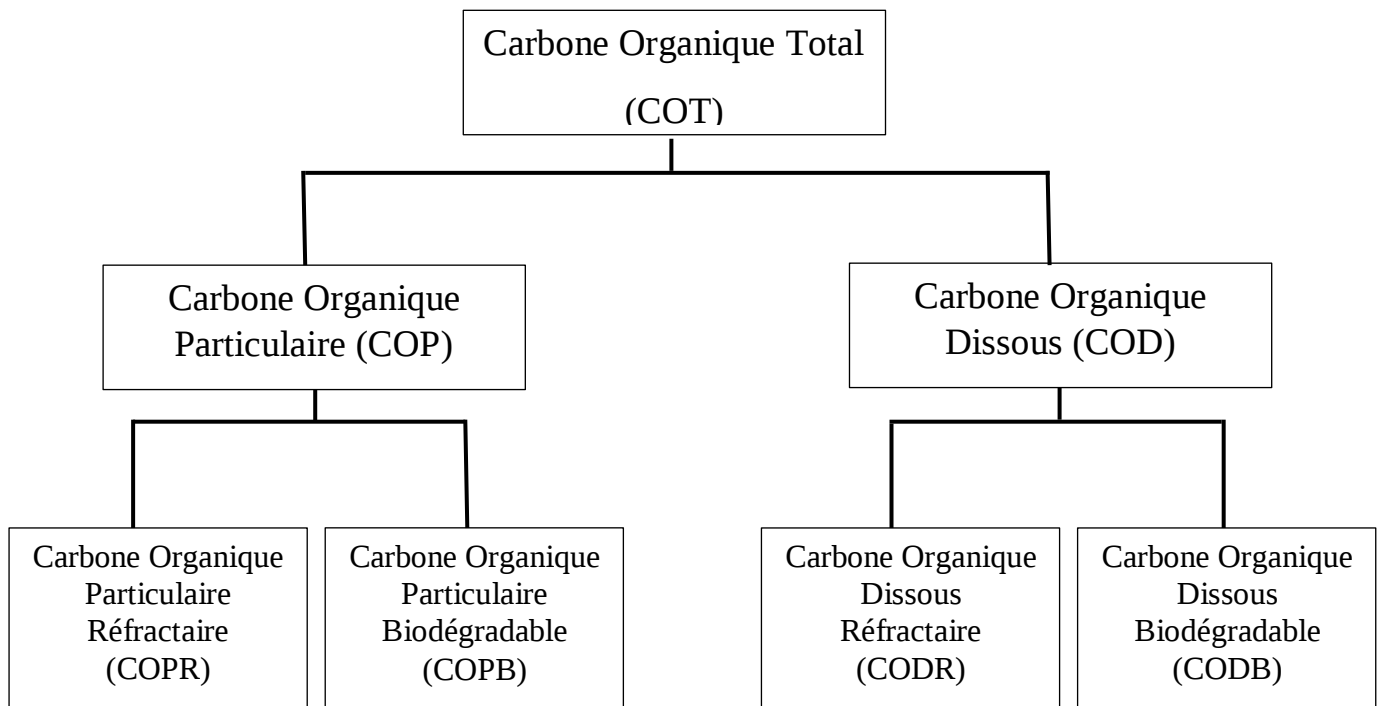


Fig. 3 : Classification de la matière organique adapté de Crittenden *et al.*, 2005.

2.5.1.1. Facteurs contrôlant les taux de décomposition de la matière organique :

Le travail de décomposition est réalisé par des bactéries, champignons, nématodes et autres organismes **nécrophages, coprophages** ou **décomposeurs**.

On distingue généralement trois types de facteurs susceptibles d'influer sur la vitesse et la qualité de la décomposition :

➤ **facteurs environnementaux :**

- ✓ Aération,
- ✓ Température,
- ✓ Humidité,

- ✓ pH du sol ou substrat,
- ✓ Présence éventuelle d'inhibiteurs freinant le métabolisme des décomposeurs (métaux lourds, biocides, etc.).
- **qualité de la matière organique introduite dans le système :**
 - ✓ Taille et forme des résidus organiques
 - ✓ Rapport C/N des résidus organiques ou du sol complet
- **Taux de décomposition de la matière organique ;** il varie selon la proportion des composés suivants, présentés dans un ordre correspondant à la décomposition de la plus rapide à la plus lente :
 - ✓ Sucres, amidons et protéines simples,
 - ✓ Hémicellulose,
 - ✓ Cellulose,
 - ✓ Graisses, cires, huiles, résines,
 - ✓ Lignine, composés phénoliques, chitine, etc.

2.5.2. Matière minérale :

Les **matières minérales**, comme le sable, le gravier, l'argile, la pierre, l'ardoise... Les **matières** utilisées en chimie, comme le pétrole, le calcaire, le sel... Il qualifie le monde souterrain, minier. Il décrit globalement les multiples corps présents à la surface de la terre ou à faible profondeur (moins de quelques kilomètres). Le nombre des matières minérales ne cesse d'augmenter avec le perfectionnement des techniques d'analyse. On en compte autour de 4 750 minéraux en 2016, Ils sont classés principalement d'après des critères chimiques et cristallographiques.

Leur composition chimique permet de les grouper en dix classes principales suivant l'ancienne classification de Strunz (2001) (Fig. 4):

1. Éléments natifs, corps simple engendré par un seul élément chimique plus ou moins pur, comme le carbone (et le diamant), le soufre, l'or natif, l'argent natif, le cuivre natif, le platine ; la première classe de Strunz comprend aussi les carbures, nitrures, phosphures et siliciures ;
2. Sulfures (anion S^{2-}), comprenant les sulfosels ;
3. Halogénures : chlorures (Cl^-), fluorures (F^-), etc. ;
4. Oxydes (O^{2-}) et hydroxydes (OH^-), comme la magnétite, le corindon ou le rutil ;
5. Carbonates (CO_3^{2-}) et nitrates (NO_3^-) ;
6. Borates (BO_3^{3-}) ;
7. Sulfates (SO_4^{2-}), chromates (CrO_4^{2-}), molybdates (MoO_4^{2-}), tungstates (WO_4^{3-}) ;
8. Phosphates (PO_4^{3-}), arsénates (AsO_4^{3-}), vanadates (VO_4^{3-}) ;
9. Silicates (SiO_x^{4-2x}) ;
10. Minéraux organiques, composés organiques cristallisés et présents à l'état naturel, comme l'oxammite $(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$, un oxalate.

On peut aussi évoquer les faux minéraux, que l'on trouve en nombre croissant aujourd'hui, dont beaucoup sont fabriqués à destination de l'industrie, des bijouteries et du tourisme.



Fig. 4 : Exemples de minéraux (un par classe) (Descouens, 2009).

2.6. Eutrophisation :

2.6.1. Définition :

Processus d'accumulation de matières organiques dans les eaux stagnantes, dû à la prolifération anarchique d'algues et de plantes aquatiques qui consomment l'oxygène indispensable à la survie des autres espèces. Ce processus naturel est accéléré par l'apport de matières nutritives liées aux activités humaines. Elle est observée surtout dans les eaux, qui se renouvellent lentement.

*** Eutrophisation : eu (= bien, beaucoup) + trophisation (= nutrition)**

2.6.2. Origine :

Les principaux nutriments à l'origine de ce phénomène sont l'azote (des nitrates par exemple) et phosphore (orthophosphates, polyphosphates). Le phosphore est généralement le facteur limitant dans les milieux naturels d'eau douce, tandis que l'azote est limitant en milieu marin. Ce sont ces composés, en particulier les phosphates qui permettent l'emballement du processus. Ce milieu déséquilibré, dystrophe, devient alors hypertrophe.

Ce processus naturel est très lent : il peut s'étaler sur siècles ou des millénaires, et parfois sur de plus longues périodes encore c'est la **dystrophisation**.

Mais l'eutrophisation peut être fortement accélérée par les rejets qui résultent de l'activité humaine et conduire à la mort de l'écosystème aquatique en quelques décennies voire même en quelques années. On parlera alors d'**hypereutrophisation**.

La différence entre eutrophisation naturelle et eutrophisation due à la pollution est que le deuxième est plus rapide (Fig. 5).

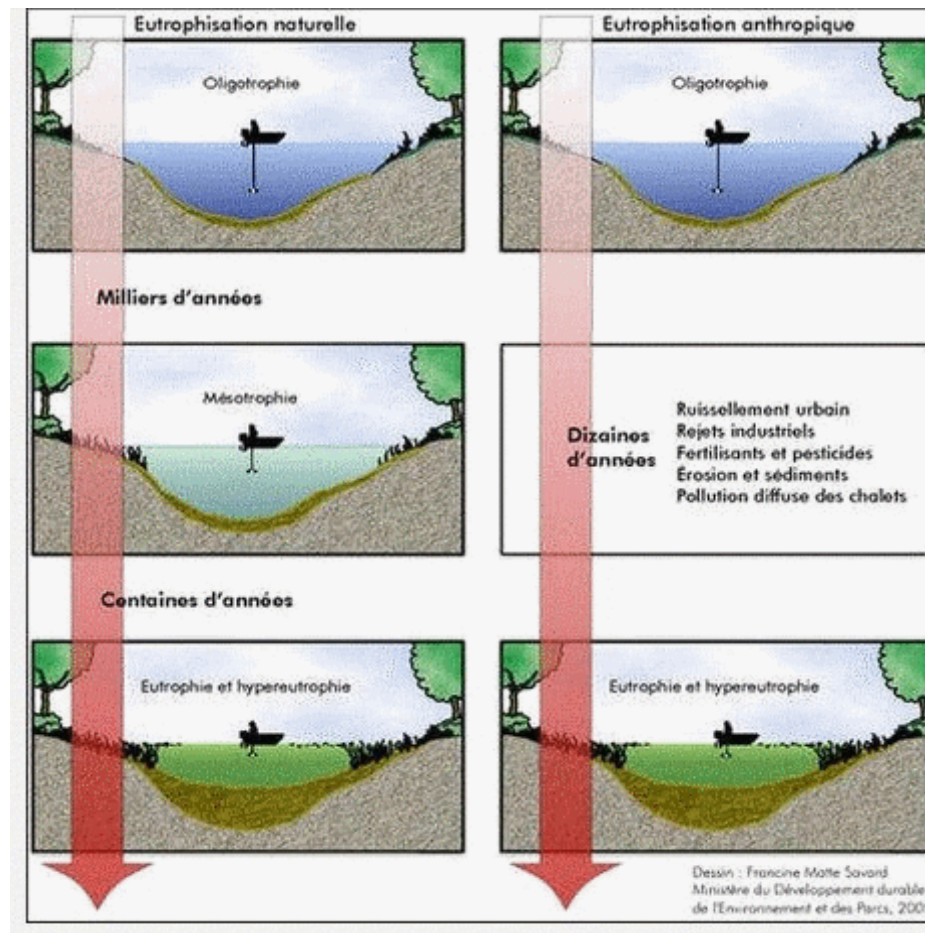


Fig. 5 : L'eutrophisation : un phénomène naturel pouvant être accéléré par l'homme
(Ministère de l'Environnement, 2005).

Il faut toujours avoir en mémoire que dans l'eau, l'azote (nitrates) et le phosphore, proviennent pour 2/3 de l'agriculture et pour 1/3 rejets des agglomérations.

2.6.3. De quels composés nutritifs l'homme enrichit-il le milieu ?

a. les rejets urbains :

La production de déchets domestiques (résidus alimentaires et produits d'excrétions) est une conséquence inévitable de l'existence même de l'homme. Les déchets sont riches en phosphate et d'azote organique et particuliers.

b. les rejets agricoles :

L'épandage agricole (technique agricole consistant à répandre divers produits sur des zones cultivées) est excessivement riche en engrais (azote et phosphate).

c. les rejets industriels :

Riches en nitrates, ammonium, matière organique non traitée, la présence de polyphosphates dans les lessives fait de l'eutrophisation un processus fréquent, atteignant même les zones océaniques, pouvant provoquer l'extension de zones mortes, ou le développement d'algues toxiques, telles *Dynophysis* (Fig. 6), sur les littoraux, par exemple en Bretagne (France).



Fig. 6 : Photos de *Dynophysis aigu* sous microscope (strinfixer.com).

2.6.4. Les différents stades de l'eutrophisation :

On peut classer les plans d'eaux en trois grandes catégories trophiques, selon leur stade d'eutrophisation.

a. Oligotrophe : (peu nourri) plan d'eau pauvres en matières nutritives et contenant plusieurs espèces d'organismes aquatiques, chacune d'elles étant représentée en nombre relativement faible. L'eau se caractérise par une grande transparence, une importante teneur en oxygène et peu de matières organiques.

b. Mésotrophe : se situe entre les oligotrophes et les eutrophes. Par rapport aux oligotrophes, on y note une augmentation de la quantité de matières organiques et des organismes aquatiques (végétaux, animaux, bactéries).

c. Eutrophe (Bien nourri) : Riches en matières nutritives. Ils sont relativement peu profonds, recouverts d'un large ceinture de végétation aquatique et on y note la présence d'espèces de poissons peu exigeants en oxygène. Le fond est couvert de sédiments riches en matières organiques.

2.6.5. Les facteurs favorisant l'eutrophisation :

De nombreux paramètres physico-chimiques peuvent accélérer le processus d'eutrophisation du plan d'eau :

a. Une température élevée : les végétaux aquatiques prolifèrent particulièrement entre 15 et 25°C.

b. Un éclairage fort : les espèces végétales aquatiques recherchent un fort ensoleillement pour leur photosynthèse et par l'action de l'homme qui déboise le bord des rives ce phénomène est amplifié.

c. Un courant faible : si le courant est faible les végétaux s'implantent plus facilement. Par ailleurs, plus courant est faible moins le milieu se renouvelle ce qui favorise le développement du phytoplancton.

d. Profondeur de l'eau faible : le phénomène est d'autant plus important que l'on se trouve au niveau d'eau stagnante comme c'est le cas dans les lacs. Le faible débit ne permet pas le remaniement des fonds, ce qui favorise l'eutrophisation.

d. L'homogénéisation des conditions d'habitats des cours d'eau : une espèce prolifère d'autant plus facilement qu'elle rencontre un habitat favorable sur des grandes distances. Un habitat diversifié limite donc ces proliférations.

2.6.6. Mécanisme de l'eutrophisation :

Dans un milieu aquatique, les végétaux (phytoplancton, algues et végétation des rives) sont les premiers éléments d'une chaîne alimentaire. Si l'on déséquilibre leur croissance, c'est tout le milieu qui est touché.

Les phosphates sont des nutriments des végétaux, c'est-à-dire qu'ils permettent leur croissance. Lorsqu'on apporte de l'azote et surtout des phosphates en excès dans le milieu, les végétaux vont se développer très fortement. On assiste donc à une explosion de la vie dans le milieu : végétaux et animaux deviennent de plus en plus nombreux.

Cependant, si dans cette première partie, l'effet des phosphates peut paraître bénéfique, on constate rapidement des conséquences néfastes. En effet, la formation d'une couche de végétation en surface empêche la lumière de traverser l'eau. Or les végétaux ont besoin de lumière pour produire l'oxygène (pour effectuer la photosynthèse) donc les algues situées au fond du milieu ne produisent plus d'oxygène.

De plus, les végétaux qui se développent en grand nombre meurent aussi beaucoup. La matière morte se dépose alors sur le fond. Des bactéries sont chargées de transformer cette matière morte : ce sont des bactéries aérobies, c'est-à-dire qu'elles consomment de l'oxygène (sans ces organismes, la matière morte s'accumulerait, ils sont donc indispensables au bon fonctionnement de l'écosystème).

Or plus il y a de matière morte sur le fond, plus les bactéries vont être nombreuses et plus elles vont consommer de l'oxygène. Donc, le résultat indirect de l'ajout de phosphate est que plan d'eau s'appauvrit en oxygène (l'oxygène de l'atmosphère se dissout dans l'eau, mais à cause de ces différents phénomènes, il ne parvient pas aux couches profonds).

Ce manque d'oxygène provoque la disparition des espèces « exigeantes » : la biodiversité du plan d'eau est réduite.

De plus, les bactéries aérobies qui minéralisent la matière morte ne peuvent donc plus fonctionner. Elles sont alors remplacées par d'autres bactéries, dites anaérobies, qui n'ont pas besoin d'oxygène. Cependant ces nouvelles bactéries en «travaillant» produisent des gaz nauséabonds (ammoniac, hydrogène sulfuré) et parfois des substances toxiques pour toutes les autres espèces du milieu.

Cela aboutit à la mort du milieu et la qualité de l'eau s'en trouve diminuée : elle est impropre au traitement et dangereuse pour les loisirs aquatiques.

2.6.7. Impact sur l'écosystème aquatique :

Les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la biodiversité et de la qualité de l'eau en tant que ressource, ils sont considérés comme des indices de problèmes.

- a. Asphyxie du milieu :** désoxygénation et mortalité des poissons.
- b. Apparition de composés toxiques :** apparition de vase putride, sombre et malodorante, riche en ammoniac gazeux (NH_3 et NH_4) très toxiques pour les poissons.
- c. Destruction d'habitats :** destruction des milieux de vie des invertébrés et des zones de frai des poissons.
- d. Diminution du rendement de la pêche :** mortalité des poissons et production d'espèces moins nobles.
- e. Gène aux activités de loisirs :** baignade et sports nautiques.
- f. Nuisances esthétiques et odorantes :** couleur (aspect inesthétique) et odeur (odeur putride).
- g. Altération des matériaux et des installations humaines :** envasement plus rapide colmatage des tuyaux et des filtres, réduction du débit, corrosion de tuyaux et d'autres réalisations humaines.
- h. Altération de la transparence :** (elle est plus turbide), diminution de la pénétration des UV (qui ont un pouvoir désinfectant), ce qui réduit la photosynthèse, donc réduction de la production d' O_2 . Egalement, augmentation du volume d'algue, augmentation de la biomasse du zooplancton gélatineux.

Cas particulier : le phénomène des « algues bleues » :

Les cyanobactéries ou algues bleues sont capable de capter l'azote atmosphérique, et en présence du phosphore souvent en excès, présentent un développement exceptionnel.

Le phénomène s'observe surtout en été (étiage importance relativement plus grande des affluents, particulièrement dans les retenues établies sur les cours d'eau importants.

Les couleurs de l'eau sont spectaculaires, et le développement de ces microorganismes entraîne une sécrétion de toxines létales pour le zooplancton et d'autres espèces animales comme l'homme.

Parfois les algues peuvent boucher les prises d'eau, les filtres, entraver le fonctionnement d'écluses voire du moteur de petits bateaux pour les algues filamenteuses.

2.6.8. Moyen de lutte contre l'eutrophisation :

La lutte contre l'eutrophisation des plans d'eau devrait passer avant tout par des méthodes préventives, qui s'attaquent réellement au problème de contamination, en limitant la diffusion du phosphore, de l'azote, de la matière organique ou encore des polluants dans l'environnement.

Pour lutter et atténuation (déseutrophisation) contre l'eutrophisation et **la dystrophisation**, il faut : diminuer l'utilisation de polluants (produits ménagers, engrais...) eutrophisants dès l'amont du bassin versant ; diminuer l'utilisation de pesticides et d'engrais riches en phosphates ou nitrates.

- Arrêter tous les rejets de substances nutritives dans le cours d'eau déjà pollué.
- Enlever les algues qui polluent dans le cours d'eau.
- Mieux éliminer l'azote et phosphore dans des stations d'épuration (qui peuvent être équipées de procédés de dénitrification et de déphosphatation).
- Aérer les cours d'eau, pour accélérer le processus d'épuration.

➤ Soit par destratification des eaux : la destratification est une technique destinée à aérer, dans leur totalité, les plans d'eau de profondeur comprise entre 3 et 15 mètres, par le brassage de l'ensemble des masses d'eau, au moyen de rideaux de balles immergées, alimentées en air comprimé.

➤ Soit par aération hypolimnique : elle permet l'aération du fond des retenues par dissolution d'air comprimé, lorsque leur profondeur est supérieure à 15-20 mètres.

LA POLLUTION

D'ORIGINE

INDUSTRIELLE

Cours 3 : La pollution d'origine industrielle

3.1. Des métaux lourds :

Il s'agit de micropolluants minéraux rencontrés généralement sous le terme de métaux lourds bien que ce terme soit impropre. Dans la classification de Mendeleïev, tous les métaux du groupe de transition allant du chrome au zinc, C'est-à-dire comprenant outre ces deux éléments le manganèse, le fer, le nickel et le cuivre, Cependant on constate très souvent qu'il est question entre autres du mercure, du cadmium, du plomb et même de l'arsenic.

C'est pourquoi il est préférable d'utiliser le terme de micropolluants minéraux beaucoup plus général, pour éviter certaines confusion d'un point de vue physique, ce terme se rapporte aux éléments de densité supérieure à $5\text{g} / \text{cm}^3$ et pour les géologues, ce terme est utilisé pour désigner des éléments présents à l'état de traces dans l'environnement.

Selon les éléments et le contexte, ils sont plus ou moins bioassimilables et pouvant être bioconcentrés par la chaîne alimentaire, C'est pourquoi certains font l'objet d'un suivi (réglementaire ou volontaire) dans l'eau, l'air (associés aux aérosols ou poussières), les sols, l'alimentation, les boues d'épuration, etc.

Parce que les métaux sont tantôt indispensables tantôt indésirables ou très toxiques, il été proposé en 2010 de compléter les bilans sanguins et bilans de santé classiques par un **profil métallique**.

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 mercures.
- 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.

3.1.1. Dans les cycles biogéologiques :

L'abondance moyenne globale normalisée de l'élément dans la roche de la croûte est dite « valeur de Clarke » (*Clarke value* pour les anglophones), qui représente pour un métal donné dans le sol ou dans le sédiment ou dans un matériau géologique et qui désigne sa teneur moyenne dans le monde dans ce substrat.

On se réfère parfois à cette valeur moyenne, via le facteur d'enrichissement (EF) pour un élément chimique donné dans un compartiment de l'environnement pour estimer qu'un taux de tel ou tel élément est anormalement élevé dans ce compartiment, ce qui peut être un indice de pollution.

3.1.2. Cinétique environnementale :

Les éléments traces métalliques (ETM) posant problème pour l'environnement et la santé sont des nanoparticules qui sont généralement associés aux aérosols de petite taille. Quand ils sont présents dans l'air (pollution routière, industrielle, combustion, etc.), ils sont principalement évacués du compartiment atmosphérique par dépôt humide, Ils se retrouvent alors dans les sols, les sédiments et l'eau interstitielle puis dans les organismes et les écosystèmes, auxquels ils peuvent poser problème. Certains invertébrés (vers par exemple) peuvent les fixer grâce à des molécules métalloprotéines en général et en excréter une partie via leur mucus ou excréments ; ils peuvent alors les remonter en surface du sol ou des sédiments ; ces métaux ou métalloïdes sont alors à nouveau biodisponibles pour les bactéries, les plantes ou d'autres espèces qui peuvent à nouveau les bioaccumuler...

3.1.3 Impacts écotoxicologiques :

Comme les organochlorés auxquels ils peuvent ajouter leurs effets négatifs, Les ETM massivement rejetés par l'homme dans l'eau, l'air, et sols sont d'importants contaminants des écosystèmes, du réseau trophique. À la différence de la plupart des autres polluants, ils ne sont pas biodégradables ni dégradables.

On les retrouve en particulier très concentrés par les animaux situés en tête de chaîne alimentaire ; oiseaux marins prédateurs et cétacés super prédateurs notamment et de là parfois de la chaîne alimentaire humaine.

3.1.4. Impact toxicologique :

L'impact toxicologique des ETM dépend de leur forme chimique (nommé « **espèce chimique** »), de leur concentration, du contexte environnemental (c'est pourquoi on cherche à

cartographier les pollutions, et notamment dans les anciennes régions industrielles), de leur biodisponibilité et de la possibilité de passage dans la chaîne du vivant (le **réseau trophique**). Il existe aussi une certaine composante génétique faisant que l'organisme est plus ou moins capable d'excréter certains métaux toxiques (plomb par exemple).

On distingue en particulier les trois métaux mercure, plomb et cadmium, pour lesquels d'une part on n'a pas pu mettre en évidence de rôle positif pour l'activité biologique, et qui d'autre part peuvent être à l'origine d'intoxications ou de maladies chroniques graves, même à faibles doses ; par exemple l'absorption de plomb provoque, le saturnisme, particulièrement grave chez l'enfant, le cadmium détruit les reins et dégrade le foie, et le mercure est un puissant neurotoxique.

L'aluminium, plus commun est considéré comme neuro-toxique, il est cependant largement utilisé comme composant alimentaire, cosmétique, et comme adjuvant dans certains vaccins.

Inversement, d'autres métaux sont nécessaires (oligo-éléments), et d'autres encore semblent, au moins sous forme métallique (ce n'est pas le cas sous forme ionique) sans effets sur l'organisme ; ces derniers sont considérés comme « **bio-compatibles** » et utilisés en chirurgie ou dentisterie, comme le titane et l'or, ou des métaux communs comme le fer, ne peuvent être mis sur le même plan que le mercure, le plomb et le cadmium. D'autres métaux peuvent être très toxiques sous certaines formes (chrome « Cr^{+6} », cuivre oxydé « CuO^{+2} »...).

Les amalgames dentaires (dits « **plombages** ») et qui sont fortement utilisés dans les pays francophones et anglo-saxons font aujourd'hui l'objet d'une polémique car ils contiennent certains métaux lourds toxiques précités : mercure, mais aussi argent et étain. Certains pays comme la Suède, l'Allemagne, le Danemark, le Japon, la Russie et la Norvège en limitent l'utilisation et l'ont tout simplement interdit en ce qui concerne les trois derniers. En France et

en Belgique, il a été considéré que les preuves de leur toxicité étaient trop peu nombreuses pour déduire une nocivité non compensée par les avantages du mercure.

Les thermomètres au mercure ont été interdits à la vente dans l'Union européenne.

Les piles au mercure sont interdites en Europe (directive 98/101/CE) depuis décembre 1998 pour des problèmes environnementaux.

3.2. Des organochlorés :

Un **composé organochloré** est un composé organique de synthèse, comportant au moins un atome de chlore et utilisé comme solvant. Les plus connus sont les pesticides, insecticides, fongicides.

3.2.1 Composés naturels et artificiels :

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 produits par les incendies de forêt et on en a trouvé dans des cendres issues d'orages datant d'avant la production de dioxines synthétiques.

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.

Le chlore est abondant dans l'eau de mer et on a trouvé plusieurs hydrocarbures chlorés simples tels que le dichlorométhane, le chloroforme et le tétrachlorure de carbone dans des algues marines. La majorité du chlorométhane de l'environnement est naturellement issu de la

décomposition biologique, des feux de forêt ainsi que des volcans. L'épibatidine est un organochloré naturel (alcaloïde). Il a stimulé la recherche de nouveaux médicaments anti-douleur.

3.2.2. 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 super prédateurs) 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 cancérogènes, mutagènes et/ou neurotoxiques.
- 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.
- 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.

Au moment où le dieldrine fut interdit en 1974, la *Food and Drug Administration* en retrouva dans 96 % de la viande, de la volaille et du poisson consommé aux États-Unis, dans 85 % des produits laitiers et dans la chair de 99 % des Américains.

Une recherche menée de 2009 à 2011 sur un pilote industriel a permis de valider la solution du traitement des organochlorés par un système de filtres plantés. Ce projet de Phytorestore a été mené avec l'Université de Savoie, le CNRS et le laboratoire d'écologie alpine. Les essais ont été réalisés avec des effluents issus de nappes polluées aux organochlorés et ces derniers ont été éliminés à 99 % et l'accumulation dans les plantes se serait avérée négligeable.

3.3. Des détergents :

Un détergent (ou agent de surface, détersif, surfactant) est un composé chimique, généralement issu du pétrole, doté de propriétés tensioactives, ce qui le rend capable d'enlever les salissures. La détersion est un élément d'hygiène fondamental, puisqu'il permet d'éliminer une grande partie des bactéries présentes en particulier sur la peau, et sur les ustensiles servant à la préparation et à la consommation des repas.

Consommation : Le règlement de l'Union européenne CE 648/2004 appliqué depuis octobre 2005, impose sur l'étiquetage des détergents ménagers la mention de tout conservateur ainsi que celle de vingt-six substances allergisantes des compositions parfumantes lorsque leur proportion pondérale dépasse 0,01 %. Ce règlement a pour objectif de permettre aux consommateurs de choisir plus facilement le bon produit, de l'utiliser en toute sécurité et d'en obtenir les meilleurs résultats possibles. D'autre part, l'industrie a élaboré de nouvelles icônes cognitives afin de rendre l'étiquetage plus efficace, plus clair et plus facile à comprendre pour les consommateurs. Les industriels négocient avec le gouvernement français un engagement de réduction des quantités de lessive par dose : la dose de poudre est passée de 150 g en 1998 à 100 g en 2005, et ne devrait être plus que de 60 à 70 g en 2010.

3.4. Des hydrocarbures :

La Pollution chimique est engendrée par un apport important de substances chimiques (rejets industriels) normalement absentes ou présentes naturellement à des concentrations très faibles, telles que : **les hydrocarbures**, les détergents, les biocides (pesticides), métaux lourds...

3.4.1. Définition :

Un **hydrocarbure (HC)** est un composé organique constitué exclusivement de carbone (C) et d'hydrogène (H), il provient de la transformation d'une roche riche en matière organique (la roche mère) par augmentation de la température et de la pression lors de l'enfouissement au cours des temps géologiques.

Il peut être d'origine naturelle telle que le **pétrole** et le **gaz** naturel ou synthétique fabriqués à partir du charbon. Il constitue une ressource énergétique essentielle pour l'économie, mais est aussi source de gaz à effet de serre suite à l'utilisation massive.

3.4.2. Différents types d'hydrocarbures :

On distingue les hydrocarbures conventionnels et non conventionnel (Fig. 7), la différence tient aux conditions de leur extraction du sous-sol. Il s'agit dans les deux cas des mêmes types d'hydrocarbures, c'est-à-dire de **pétrole** et de **gaz**, contenus dans la roche mère.

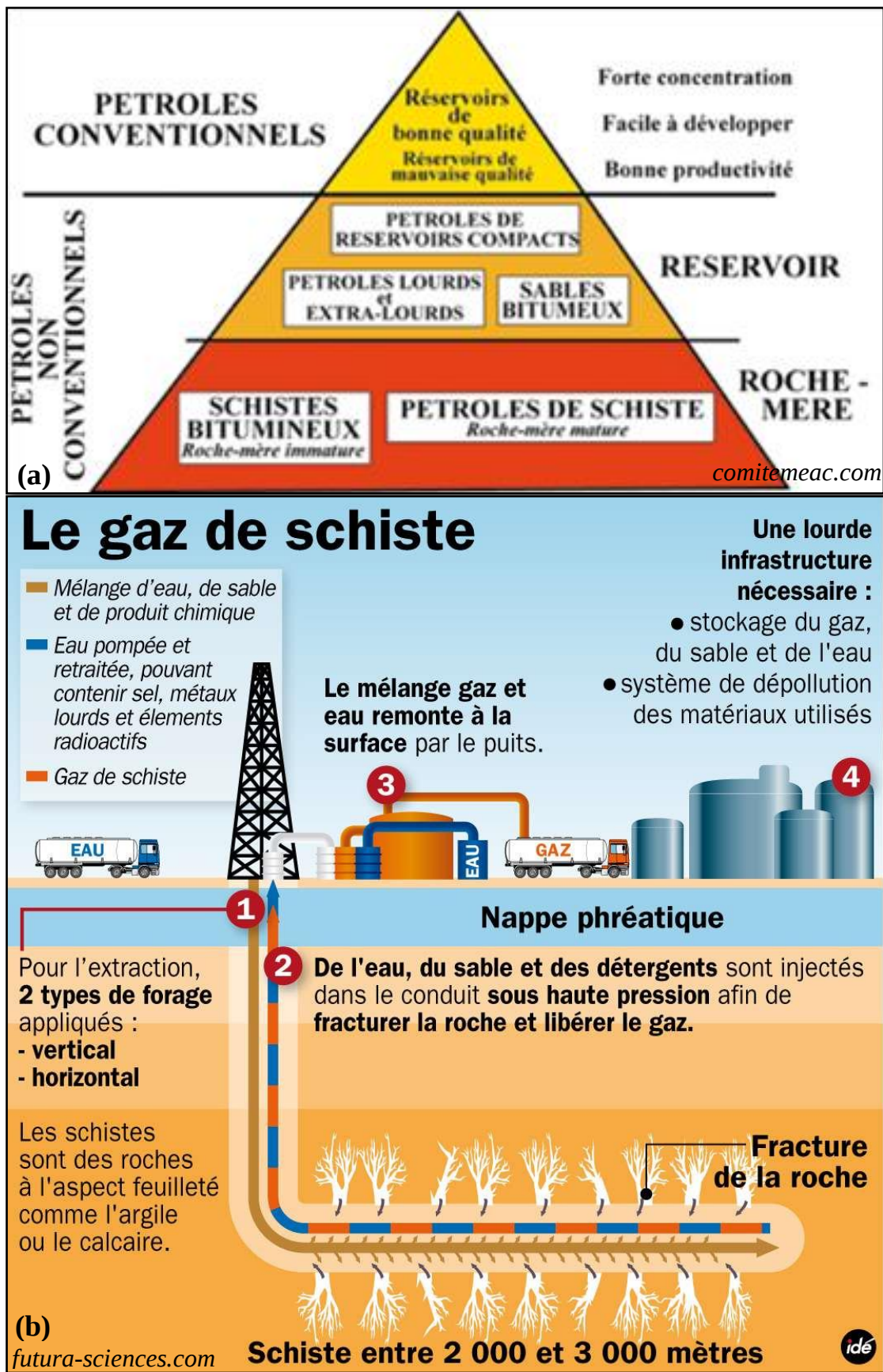


Fig. 7 : Différents types d'hydrocarbures, (a) : pétroles, (b) : gaz de schiste (futura-sciences.com).

3.4.2.1. Les hydrocarbures conventionnels :

Ils sont naturellement concentrés dans une roche poreuse perméable «Le **réservoir**» et forment des gisements faciles à exploiter, tels que le pétrole, gaz naturel et charbons exploités dans leurs **réservoirs géologiques** jusqu'aux années 2000, de grande qualité pour l'industrie mais se raréfiant car ayant été surexploité.

3.4.2.2. Les hydrocarbures non conventionnels :

Ils sont sous forme plus diffuse dans des couches peu poreuses et peu perméables de la roche mère «**mauvais réservoir**» où ils sont restés piégés. Il faut alors simuler la roche encaissante pour produire des hydrocarbures de manière économiquement rentable. Tels que le gaz de schiste (Fig. 7), le pétrole de schiste, le gaz de houille (adsorbé sur le charbon ou gaz de couche), les schistes bitumineux (roches sédimentaires) et sables bitumineux.

3.4.3. Inconvénient de l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels :

La production et l'utilisation des hydrocarbures qu'ils soient conventionnels ou non, rejette dans l'atmosphère des polluants notamment de gaz à effet de serre.

L'emprise au sol des exploitations modifie le paysage (enlèvement du couvert végétal, construction de routes, zones aplanies et bâties).

La fracturation hydraulique consomme de l'eau, qui demande à être ensuite retraitée, elle utilise des additifs chimiques dont la toxicité devra être prise en compte, des risques de pollution des nappes phréatiques existent même si des techniques de tubage métallique des puits visent à étanchéifier ces derniers.

3.4.4. L'utilisation des hydrocarbures :

3.4.4.1. Combustibles :

Aujourd'hui, la majorité des hydrocarbures utilisés sont brûlés soit pour alimenter le moteur d'un moyen de transport (carburant), soit pour produire de l'énergie (chauffage au fioul ou l'électricité), les impacts environnementaux de la combustion des hydrocarbures sont considérables : pollution atmosphérique, augmentation de l'effet de serre.

3.4.4.2. Pétrochimie :

Les hydrocarbures servent de base à la synthèse de nombreux matériaux utilisés dans notre quotidien : les polymères (matières plastiques, Nylon, résines,...), les solvants (peintures, colles,...), les lubrifiants mécaniques, les engrais et pesticides, les produits pharmaceutiques, les détergents et détachants, les produits d'hygiène et cosmétiques ...etc.

3.4.5. Pollution par les hydrocarbures des milieux marins :

L'une des formes les plus graves de la pollution des milieux marins, consiste surtout aux déversements du pétrole brut dans l'environnement marin. Afin de mieux cerner le problème de pollution marine par les hydrocarbures, il nous faut connaître l'origine, le comportement de ces deniers au sein des masses d'eaux, les interactions entre le milieu fluide et le sédiment ainsi que leur action sur la faune et la flore.

3.4.5.1. Définition du Pétrole :

C'est un liquide brun plus ou moins visqueux d'origine naturelle, mélange complexe d'hydrocarbures, principalement utilisé comme source d'énergie. Le pétrole contient des

Hydrocarbures saturés, à chaîne linéaires, ramifiés ou cycliques, ainsi que des tracés de soufre, d'azote, d'oxygène, d'eau salée et de métaux (fer, nickel). On le trouve en grandes quantités dans des gisements enfouis sous la surface des continents ou au fond des mers.

Le pétrole présente une grande importance commerciale ; on l'utilise comme carburant, combustible, huiles lubrifiant ainsi que comme produits de base en synthèses pétrochimiques.

 **Origine :** A la suite de la décomposition d'organismes marins, le dépôt au fond des océans pendant des millions d'années s'accumule et se mélange au sédiment, formant ainsi des couches riches en matières organiques. Celle-ci incorporée au sédiment finie par être enfouie à de grandes profondeurs. Sous l'effet de la pression, de l'élévation de température et de l'action de la flore bactérienne, cette matière organique se transforme en boue (Sapropel). L'augmentation de l'épaisseur de la couche sédimentaire ainsi que l'élévation de la température entraînent une transformation de la matière organique en Substances plus simples, les hydrocarbures.

3.4.5.2. Sources de pollution par les hydrocarbures :

Le commerce mondial s'effectue pratiquement à 95% par voie maritime grâce à près de 50.000 navires de toutes sortes, pétroliers bien sûr, mais aussi porte-conteneurs, vraquier, cargos polyvalents, navires spécialisés (transport de colis lourds, de voitures, porte barges), sans parler des car-ferries et des navires de croisière, mais ils ne représentent que 10% des 3 millions de tonnes d'hydrocarbures qui se répandent annuellement en mer d'après une étude faite en 2003, qu'ils soient intentionnels ou non.

Le reste c'est à dire 90% de ces hydrocarbures que l'on retrouve en mer, proviennent de :

- **La pollution des activités d'extraction du pétrole** «off-shore» qui représente environ 10%.
- **La pollution naturelle**, c'est-à-dire celle provenant de certaines fissures dans les fonds marins, sortes de sources sous-marines d'hydrocarbures, qui représente également environ 10% des apports annuels d'hydrocarbures dans les mers et les océans.
- **La pollution tellurique** (industrielle et domestique) qui représente environ 70%, arrive par les eaux de ruissellement et les cours d'eau, c'est la plus difficile à maîtriser car elle n'est même pas considérée. En Chine par exemple, tout ce qui est déchet industrie est rejeté à 80% dans les rivières et les fleuves, sans aucun traitement préalable.
- **Les autres sources de pollution** : sont les retombées atmosphériques (0,3 million de tonne par an), elles représentent environ 10%.

3.4.5.3. Devenir :

Après la pollution par les hydrocarbures, trois phases principales se déroulent :

a. Une phase initiale d'extension de la pollution en surface et en profondeur avec forte mortalité des organismes vivants. Sa durée est en général le double de celle du déversement des produits pétroliers.

b. Une Phase de stabilisation du niveau de contamination des différents ensembles touchés (eau de mer, roche en place, organismes vivants) qui peut durer de quelques mois à plus d'un an.

c. Une phase de recolonisation et de restructuration des peuplements aux rythmes variables suivant les ensembles bioclimatiques.

3.4.5.4. Impact :

Un déversement d'hydrocarbures (les marées noires) entraîne une pollution avec des conséquences d'ordre physique et biologique qui peuvent avoir des répercussions sur l'homme :

a. Conséquences d'ordre physique :

Un film d'hydrocarbures étalé à la surface de l'eau s'oppose aux échanges air/mer nécessaires aux cycles biologiques marins, ainsi :

- Il étouffe le milieu et diminue le renouvellement d'oxygène.
- Il s'oppose au passage du rayonnement solaire, freinent la synthèse chlorophyllienne.
- Il entraîne une élévation de température et favorise la prolifération de micro-organismes consommateurs d'oxygène.

b. Conséquences d'ordre biologique :

Les effets des hydrocarbures sur la biocénose sont variés et complexes. Certains se manifestent immédiatement, d'autres à plus long terme, on observe :

- Asphyxie ou brûlure des tissus si contact direct avec le produit.
- Asphyxie par engluage et effet tensioactif sur les branchies des poissons qui quittent rapidement les zones polluées.
- Engluage du plumage d'oiseaux, empoisonnement par ingestion, destruction des nids et œufs par contact.

Par exemple : les marées noires, dues à des accidents de pétroliers, (l'Erika en 1999) représentent également de véritables catastrophes écologiques.

c. Pollution pétrolières en milieu fermé :

Sur la terre ferme aussi, une importante pollution est causée par l'exploitation et la production des hydrocarbures. Dans la plupart des cas, cette pollution est due à une mauvaise administration, ainsi qu'à des accidents techniques dus au manque d'entretien et au contrôle déficient des machines.

Par exemple : les sols et les cours d'eau d'Amazonie équatoriale sont pollués par de mauvaises pratiques d'exploitation, par l'élimination peu scrupuleuse des déchets pétroliers et par les pannes chroniques des séparateurs huile-eau.

En Russie, la corrosion et le manque d'entretien des oléoducs a causé une importante pollution en Octobre 1994, quand plus de 60 000 t de pétrole ont jailli une canalisation brisée, près de Usinsk, au sud du cercle polaire Arctique.

Les tropiques aussi sont touchés : au Nigeria, les fuites sont fréquentes sur les oléoducs qui serpentent à travers les terres agricoles, et dont la construction et l'entretien laissent à désirer. Une fois les résidus volatils brûlés il ne reste souvent rien sur ces zones sinistrées qu'une croûte de terre stérile de près de 2m de profondeur qui rend le sol inutilisable, les effets de tels épandements perdurent pendant plusieurs décennies.

d. Conséquences pour l'homme :

➤ Action indirect :

-  Dommages aux ressources biologiques, faune et flore marine, en conséquence des entraves à certaines activités.
-  Atteinte au tourisme qui dans presque tous les états méditerranéens à une valeur économique fondamentale.
-  Baisse la qualité de l'eau de mer avec incidences sur multiples usages (notamment la baignade).

➤ **Action direct :**

✚ Par inhalation des gaz, les effets possibles en fonction du pourcentage d'hydrocarbures contenus dans l'air respiré sont :

✚ Irritation des yeux, de la gorge et du nez.

3.5. Pollution thermique :

La pollution thermique est une pollution physique, cette dernière est due à la modification de la structure physique (T° , pH, salinité...) du milieu marin par divers facteurs, par exemple : rejets thermiques, radioactifs, mécaniques ...etc. Elle concerne tous les milieux : l'atmosphère, les eaux douces et marines mais aussi les sols. Toutefois c'est la pollution des eaux qui est le plus inquiétant, altérant gravement la santé.

3.5.1. Définition :

Correspond à une forte hausse ou diminution de la température d'un milieu par rapport à la température normale, suite aux activités de l'homme et qui affecte la vie aquatique. Il s'agit d'une pollution diffuse, non visible et elle n'est donc pas toujours considérée comme une vraie pollution.

3.5.2. Les principaux pollueurs :

Les activités humaines sont source de nombreuses pollutions dont la pollution thermique :

➤ L'industrie (rejet d'effluents industriels, les rejets d'eaux de refroidissement des centrales électriques, les aciéries, les industries de pâtes et papier, les industries chimiques et pétrolières).

➤ L'agriculture (drainage agricole).

➤ Les ménages (rejet d'eaux usées).

- La circulation (rejet de navires).
- L'urbanisation (rejet d'eaux usées, d'eau de traitement).
- Les forces armées (essais militaires et rejet de navires).

Actuellement, les producteurs d'électricité sont considérés comme l'une des principales sources de pollution thermique, la chaleur perdue lors de la production est pour la plupart rejetée directement dans les eaux de surface sous forme de courant d'eau pouvant aller de 1 à 15°C plus chaud que le milieu ambiant et affecte ainsi la faune et la flore du milieu.

3.5.3. Effets de la pollution thermique :

Cette pollution diffuse peut avoir des effets importants, plus la température augmente, plus l'effet toxique des substances chimiques présentes dans le milieu est plus grand donc l'élévation de température, augmente la sensibilité des organismes aux substances toxiques entraînant des effets létaux telles que la mortalité des poissons (selon la tolérance thermique des individus) et particulièrement chez les larves et les alevins qui ont une faible acclimatation ainsi l'apparition de zones mortes.

Les effets sub-létaux se traduisent par une modification dans :

- **Le métabolisme** : la vitesse de métabolisme et le taux de croissance augmentent généralement avec la température à l'intérieur des limites de tolérance de l'organisme.
- **Les activités de l'organisme** : mouvement et vitesse de nage, la migration, la compétition, la relation prédateur-proie.
- **Le taux de croissance** : inhibition de la croissance des alevins et des juvéniles si la température dépasse un certain seuil.
- **L'alimentation et la digestion** : l'augmentation du métabolisme augmente les besoins en nourriture ce qui peut être désastreux s'il y a parallèlement détérioration des lieux de nourrissage et de certaines ressources alimentaires.

➤ **La reproduction et le développement** : modification des cycles saisonniers de développement des gonades et diminution de la reproduction.

Ainsi, ces conditions favorisent l'apparition d'îlot thermique urbain qui est formé de populations d'espèces des milieux chauds, potentiellement invasives et diminution de la reproduction. Egalement, l'augmentation de l'activité métabolique des micro-organismes (jusqu'à un certain seuil) ainsi que leur consommation en oxygène puis diminue très rapidement par la suite. Et enfin, la prolifération des algues entraînant une augmentation de la décomposition bactérienne et donc une diminution de la concentration d'oxygène dissous.

3.5.4. Lois et réglementation :

Quoique le problème de la pollution thermique soit maintenant un phénomène connu, il existe encore peu de législation dans ce domaine. En fait, plusieurs sont d'avis que dans des milieux présentant de bonnes conditions pour le mélange rapide de l'effluent avec le milieu récepteur, nul n'est besoin de législation.

3.6. La pollution radioactive :

3.6.1. Définition :

Les pollutions radioactives sont caractérisées par l'émission de radiations ionisantes, susceptibles d'avoir des conséquences nocives pour l'homme et son environnement.

3.6.2. Origine :

La radioactivité fait peur parce qu'elle ne se voit pas, elle est pourtant tout autour de nous. Même notre corps est radioactif ! Il existe une radioactivité.

Naturelle, celle-ci est très faible, elle provient des rayons cosmiques et des roches.

Industrielle, pour la production d'électricité nucléaire (centrales électronucléaires), lors du retraitement des déchets et lors du stockage des déchets radioactifs.

Militaire, lors d'essai de bombes atomiques, par le rejet des bidons radioactif, par les sous-marins nucléaires, par les épaves russes, américaines et autres, laissées après avoir été détruits.

Médicale, l'utilisation de substances radioactives pour des examens médicaux (ex. scintigraphie) pourrait contaminer les eaux via les urines des patients, provoquent une variation faible mais sensible de la radioactivité mesurée.

Accidentelle, lors d'accidents nucléaire comme ceux de Tchernobyl ou Fukushima, un certain nombre d'éléments radioactifs peuvent se disperser dans l'atmosphère et/ou le sol et/ou le réseau hydrographique (fleuves, nappes phréatiques, etc.).

3.6.3. Impact :

La présence des éléments radioactifs dans le milieu aquatique a un impact direct sur ses organismes qui se traduit par un dérèglement de leur comportement.

L'exposition à des quantités élevées de radiation et même à faible quantité de rayonnements est dangereuse pour la santé humaine, elle entraîne des : tumeurs, dérèglement de tout le système, perte de cheveux, mal formation des bébés pour la femme enceinte.

Le corps humain peut être amené à fixer des radioéléments de plusieurs manières :

➤ **Par la respiration** : les particules se désintègrent dans les poumons, se transforment en élément lourds qui se fixe, et continuent leur « vie radioactive » et leurs émissions nocives jusqu'à leur fin de vie.



➤ **Par l'alimentation** : si un organisme animal ou végétal est contaminé par une pollution radioactive, sa consommation fait courir des risques de contaminations radioactives. Certains végétaux sont particulièrement radio-accumulants : lavande, champignons. Certains organes sont aussi plus sensibles : par exemple, la thyroïde fixe l'iode. (iode 131).

3.6.4. Lutte :

En cas de contamination radioactive, on distribue des pastilles d'iode stable, naturellement non radioactive, à la population avant l'exposition ou l'inhalation de fumées. L'iode stable, ainsi se fixe sur la thyroïde, la sature et empêchent l'iode 131 issue de la radioactivité, de s'y accumuler.

3.7. Pollution mécanique :

3.7.1. Définition :

C'est une pollution due aux décharges des déchets et des particules solides apportés par les eaux de ruissellement et les eaux d'égouts. Elle provient aussi des opérations de dragage et de l'érosion. Les polluants solides rejetés dans le milieu aquatique peuvent être répartis en trois catégories : les boues, les solides flottants et les ordures ménagères.

3.7.2. Différents formes de pollution mécanique :

a. Boues (M.E.S)

Elles sont d'origine et de composition variables. Il s'agit des boues résiduelles de certaines industries, des boues portuaires ou des boues originaires des stations d'épuration des eaux d'égouts. Ces boues présentent néanmoins deux caractères communs, elles vont entraîner

l'altération de la nature du substrat des fonds et un accroissement de la turbidité des eaux. La turbidité acceptable est de l'ordre de 200 mg/l, au-delà de cette dose survient le dépôt de la matière en suspension (**MES**) au niveau des branchies des poissons, ce qui conduit à l'anoxie puis à l'asphyxie. Ce sont les jeunes qui sont les plus vulnérables. En plus, il y a d'autres effets directs de cette augmentation de la concentration telle que l'agression des épithéliums des branchies et par conséquent la mortalité.

Il y a aussi des actions indirectes :

- Les matières en suspension servent de support à une colonisation bactérienne,
- Chute de l'oxygène.
- Colmatage de certains interstices des graviers.

L'augmentation de la turbidité de l'eau a un impact sur les organismes aquatiques. Elle peut conduire à une chute de taux d'oxygène, entraîner des agressions des épithéliums des branchies et par conséquent une forte mortalité des poissons.

b. solides flottants

Il s'agit de tout objet flottant comme des sacs en plastique, des morceaux en bois, des bouteilles... etc. Les solides flottants peuvent entraîner une chute ou même parfois un arrêt de la luminosité, ainsi qu'un enlaidissement de la nature.

c. Ordures ménagères

Elles sont représentées essentiellement par des décharges ménagères qui aboutissent directement dans la mer. Ces ordures ménagères peuvent entraîner un arrêt de la luminosité, ainsi qu'un enlaidissement de la nature.



LA POLLUTION

D'ORIGINE

AGRICOLE

Cours 4 : La pollution d'origine agricole

L'impact des activités agricoles sur la qualité des eaux est la conséquence des pertes de fertilisants (engrais chimiques, effluents d'élevages, effluents agro-alimentaires et boues) et des produits de traitement des cultures (produits phytosanitaires).

Ces pollutions peuvent empêcher certaines utilisations de l'eau, notamment son emploi pour l'alimentation humaine et animale (eaux souterraines et superficielles), et entraîner une dégradation des milieux aquatiques. Les fertilisants, nitrates et phosphates, concourent ainsi à l'eutrophisation (prolifération des algues) des eaux continentales et littorales, dont les conséquences économiques (impact sur le tourisme, la pisciculture, la conchyliculture...) s'ajoutent au dommage environnemental et écologique.

4.1. Les problèmes des fertilisants : phosphates, nitrates.

4.1.1. La pollution par les nitrates :

Les nitrates présents dans les eaux continentales proviennent aux 2/3 de l'agriculture (épandage d'engrais azotés et d'effluents d'élevage), avec des teneurs pouvant dépasser les 50 milligrammes par litre, norme limite pour l'eau potable. La problématique des algues vertes, qui touche la Bretagne de manière très spectaculaire, n'est pas absente sur notre bassin, où certaines plages et baignades en rivières sont ponctuellement altérées par la prolifération des algues. Il est donc urgent d'agir...

Concernant les nitrates, issus de la décomposition de l'azote, on constate une progression de leur teneur dans les eaux bien que variant considérablement dans le temps et dans l'espace. Les estimations attribuent la responsabilité de 55 % des rejets d'azote au milieu naturel à l'activité agricole, de 35 % à l'activité domestique et de 10 % à l'activité industrielle.

Les quantités d'engrais azotés chimiques épandues s'élèvent à 90 Kg/ha/an auxquels s'ajoutent 50 Kg/ha/an pour les effluents d'élevages.

L'essentiel de cette pollution est dû à la différence entre les apports en nitrates des fertilisants et à ce qui est réellement consommé par les plantes.

La pollution actuelle des nappes souterraines résulte de nombreuses années de surfertilisation. Elle augmente encore régulièrement dans certains secteurs dans lesquels, même si l'on arrêta aujourd'hui de fertiliser les sols, il faudrait attendre plusieurs décennies avant de retrouver une situation normale.

La pollution des eaux par les nitrates (Fig. 8) présente un double risque. Ingérés en trop grande quantité, ils ont des effets toxiques sur la santé humaine (surtout pour les femmes enceintes et les enfants), Par ailleurs, ils contribuent avec les phosphates à modifier l'équilibre biologique des milieux aquatiques en provoquant des phénomènes d'**eutrophisation**.

Les eaux polluées nécessitent donc un traitement spécifique pour pouvoir être consommées. Les programmes d'action en cours, arrêtés en 2009 et en vigueur jusqu'au 31-08-2014 comportent a minima :

- une obligation d'élaboration d'un plan prévisionnel de fumure et d'enregistrement des pratiques de fertilisation.
- le respect des périodes d'épandage des effluents (ce qui implique de posséder les capacités de stockage nécessaires).
- l'implantation d'une bande enherbée le long des cours d'eau.
- l'obligation de 100% de couverture hivernale des sols en 2012.

A partir du 1^{er} septembre 2014, de nouveaux programmes adaptés à l'échelle régionale comporteront à minima les mesures déclinées dans le programme d'action national (arrêté du 19-12-2011) mus également des actions renforcées sur les zones les plus touchées.



Fig. 8 : Pollution au nitrate : une bombe à retardement dans nos sols (consoglobe.com).

4.1.2. La pollution par le phosphore :

L'origine de cette pollution provient de l'utilisation d'engrais phosphatés et des effluents d'élevage. Le phosphore est entraîné essentiellement par ruissellement et contribue à l'eutrophisation des rivières et des lacs.

La sensibilisation des éleveurs est notamment réalisée en zones vulnérables et dans les zones sensibles à l'eutrophisation.

Les quantités de phosphore épandues sont de l'ordre de 30 kg/ha/an dont 60 % d'origine chimique. Ces apports de phosphore chimique ont diminué de près de 50 % en 20 ans. Cependant, les apports de phosphore issu des engrais de ferme sont concentrés dans les zones d'élevage intensif où les teneurs en phosphore des sols sont déjà élevées. Concernant les

produits phytosanitaires, le rapport publié en 2000 par l'Institut français de l'Environnement (IFEN) confirme que leur présence est préoccupante. Au total, une centaine de molécules sont détectées à des teneurs et des fréquences variables. L'essentiel de la pollution est toutefois le fait d'une dizaine de molécules, dont principalement les herbicides de la famille des triazines.

Cette pollution affecte en priorité les eaux de surface, les eaux côtières, puis les eaux souterraines mieux protégées. Pour maîtriser les pollutions d'origine agricole, les pouvoirs publics s'appuient sur la combinaison de différents outils : réglementaires, économiques ou basés sur le volontariat.

4.1.3. L'Eutrophisation des milieux aquatiques et des zones humides :

Elle peut concerner ou affecter les eaux douces (les plus concernées car proches des sources anthropiques de nitrates et phosphates), mais aussi saumâtres et salées (marines ou intérieures), le milieu marin (profond ou superficiel), des berges ou des sédiments, et en particulier : les eaux dormantes (mares riches en feuilles mortes ou collectant des eaux usées, des eaux polluées par des engrais, étangs, lacs, lagunes...)

Les cours d'eau ayant un débit faible ou qui accueillent des effluents trop riches ou en trop grandes quantités issus par exemple, d'exploitations agricoles, humaines ou industrielles : les estuaires, golfes, baies et autres étendues semi-fermées où l'eutrophisation est plus visible.

L'**eutrophisation** est le phénomène d'asphyxie des écosystèmes aquatiques résultant de la prolifération d'algues, qui consomment tout l'oxygène nécessaire à la vie de l'écosystème. Ce phénomène résulte d'un apport trop riche de substances nutritives dans la rivière ou dans le lac concerné. Cette pollution de l'eau est principalement due au phosphore (contenu dans les phosphates, présents dans les lessives notamment) et à l'azote (contenu dans l'ammonium et les nitrates présents dans les engrais). Les algues qui se développent grâce à ces substances nutritives (Fig. 9) absorbent de grandes quantités d'oxygène lorsqu'elles meurent et se

décomposent. Leur prolifération provoque l'appauvrissement, puis la mort de l'écosystème aquatique présent : il ne bénéficie plus de l'oxygène nécessaire pour vivre. Ce phénomène s'intensifie avec la profondeur du lac ou de la rivière, notamment des lacs profonds qui sont naturellement peu oxygénés.



Fig. 9 : Exemple d'eutrophisation dans des milieux naturels (planet-vie.ens.fr).

La propagation des bactéries aérobies (elles se développent en l'absence d'oxygène) qui se nourrissent des algues en décomposition provoque la disparition de l'oxygène, ainsi que la production de méthane et de sulfure d'hydrogène. Le phénomène d'eutrophisation est fortement aggravé et accéléré par les rejets agricoles, domestiques ou industriels dans les cours d'eau et les lacs.

Appelé **dystrophisation**, cet état se traduit par l'accumulation des algues et des bactéries aérobies, qui absorbent l'oxygène présent dans l'eau et provoquent la mort de tous les écosystèmes aquatiques : une dystrophisation peut détruire tout un écosystème en quelques années. Des zones mortes d'une très grande superficie résultent de ces phénomènes. Pour lutter contre l'eutrophisation et la dystrophisation, il s'agit : d'arrêter tous les rejets de substances nutritives dans le cours d'eau pollué, d'enlever les algues qui pullulent dans le cours d'eau,

d'aérer de façon mécanique le cours d'eau pour accélérer le processus d'épuration globalement, de réduire ou de stopper la présence de phosphates ou de nitrates dans les engrais ou les produits ménagers.

a) Les effets de l'eutrophisation :

Les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la biodiversité et de la qualité de l'eau en tant que ressource.

- Augmentation du volume de micro-algues et d'algues fixées ou en suspension.
- Augmentation de la biomasse du zooplancton gélatineux.
- Dégradation des qualités organoleptiques de l'eau (aspect, couleur, odeur, saveur).
- Envasement plus rapide et apparition de vase putride, sombre et malodorante source de méthane.
- Diminution d'indice biotique.
- Diminution de la biodiversité (animale, fongique et végétale) sur terre, et de la biodiversité marine en mer.
- Diminution du rendement de la pêche (quoique l'effet puisse être contraire).
- Parfois les algues peuvent boucher les prises d'eau, les filtres,
- Entraver le fonctionnement d'écluses voire du moteur de petits bateaux pour les algues filamenteuses.
- Développement de phytoplancton ou bactéries cyanophycées éventuellement toxique.
- Développement de pathogènes par diminution de la pénétration des UV solaires (qui ont un pouvoir désinfectant).

4.2. Pollution par les pesticides :

Les pesticides sont des substances dont la terminaison du nom en « acide » indique qu'ils ont pour fonction de tuer des êtres vivants.

Les pesticides, parfois appelés produits phytosanitaires, ou produits de protection des plantes, (selon l'UIPP -Union des Industries de la Protection des Plantes), sont utilisés en agriculture pour se débarrasser d'insectes ravageurs (insecticides), de maladies causées par des champignons (fongicides) et/ou d'herbes concurrentes (ce sont les herbicides) etc. Donc, ce sont des produits dangereux et très toxique (T+) (Fig. 10), d'où la nécessité de l'étiquetage, ce dernier diffère selon la nature du produit (Fig. 10).

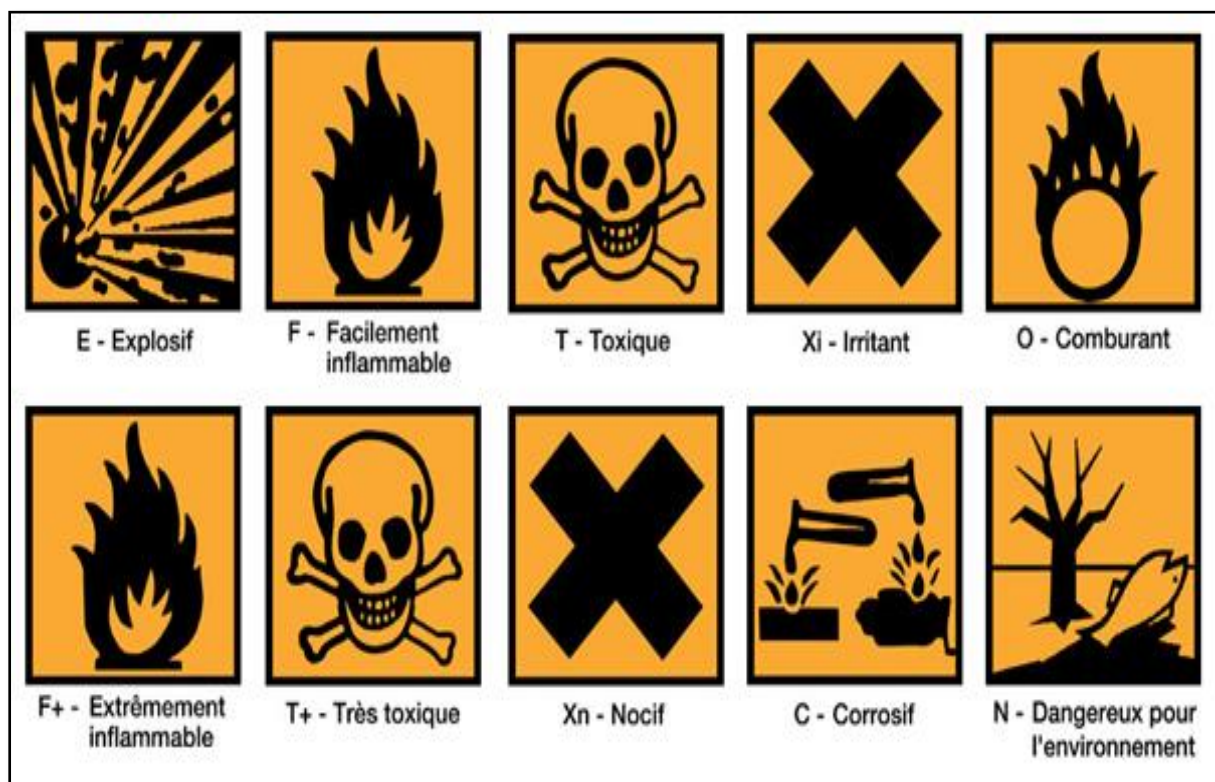


Fig. 10 : Les symboles et indications de danger (INRS, 2009).

Un pesticide est composé d'un principe actif d'origine naturelle ou synthétique. Les pesticides commercialisés (ou spécialités commerciales) sont composés d'une ou plusieurs

matières actives auxquelles on a ajouté d'autres substances : produits de dilution, surfactants, synergisants... afin d'améliorer leur efficacité et de faciliter leur emploi.

Les pesticides sont utilisés en quantités considérables depuis plus d'un demi-siècle par l'agriculture intensive. On retrouve des résidus de pesticides partout : dans l'eau bien sûr, mais aussi dans l'air, les brouillards et l'eau de pluie !

Les pesticides sont présents dans nos aliments également : plus de 50% des fruits et des légumes produits par l'agriculture intensive en contiennent. Ils finissent finalement dans nos organismes, apportés là par l'eau et les aliments consommés (Fig. 11). Nos organismes hébergent ainsi des centaines de molécules toxiques dont de très nombreux pesticides.

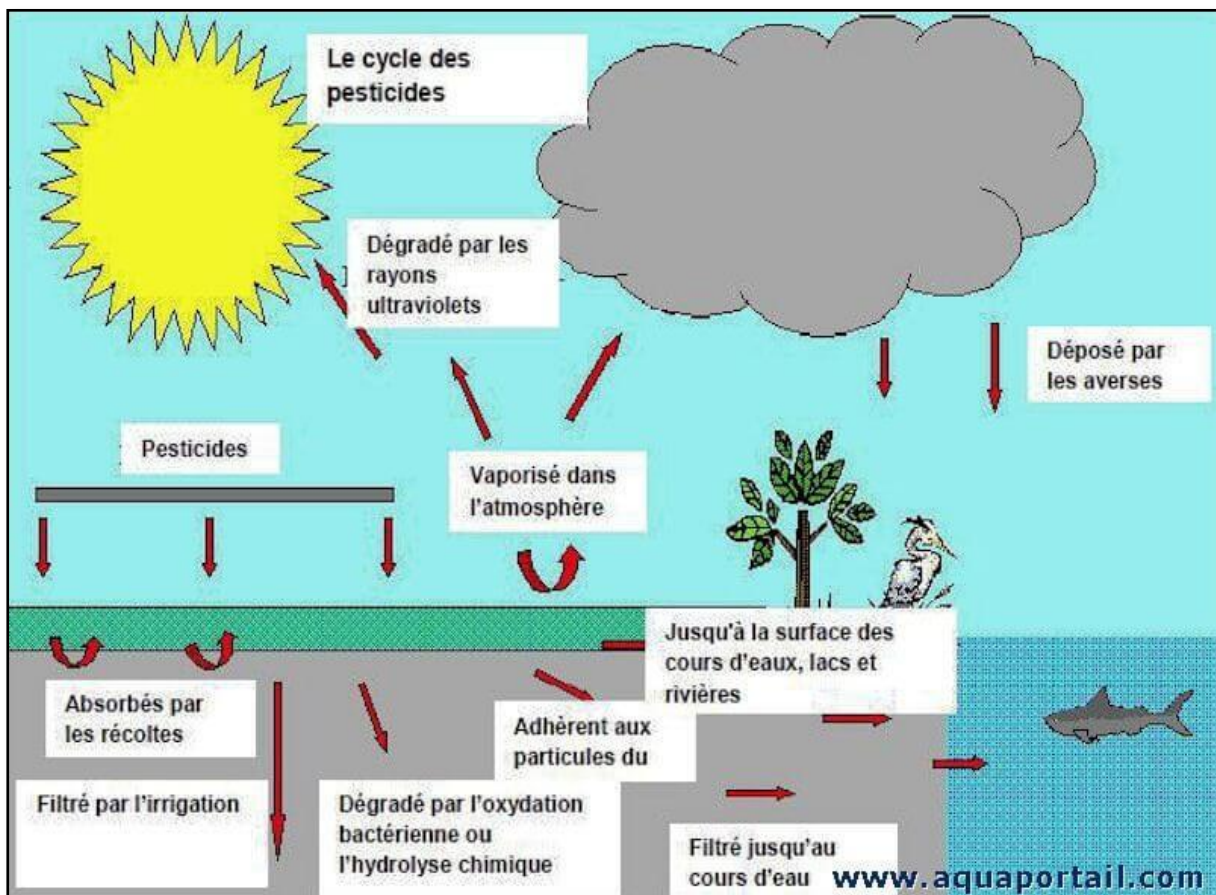


Fig. 11 : Cycle des pesticides (aquaportail.com).

Au plan régional français, le programme prévoit d'intensifier les travaux des groupes régionaux chargés de la lutte contre la pollution des eaux par les pesticides, sous l'autorité des préfets de région.

En outre, il a été décidé d'appliquer, dès le 1^{er} janvier 2000, le principe pollueur-payeur aux pollutions diffuses d'origine agricole par la création d'une "pollutaxe" sur les produits phytosanitaires dans le cadre de la Taxe générale sur les activités polluantes. Cette taxe est appliquée aux quantités de substances classées dangereuses entrant dans la composition des produits commercialisés. Le niveau de la taxe varie selon la toxicité et l'écotoxicité des substances. Les produits ne contenant pas de substances classées dangereuses ne sont pas taxés. L'objectif de cette taxe est double :

- inciter les industriels à développer des substances moins toxiques pour l'homme et l'environnement.
- inciter les agriculteurs à choisir les produits les moins nocifs.

L'instauration de cette taxe a donné lieu à une large information des utilisateurs sur les dangers liés aux substances entrant dans la composition des produits phytosanitaires.

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

Les mécanismes de transferts de contaminants vers les captages et leur devenir dans le milieu aquatique en général sont avant tout liés aux chemins de l'eau et aux propriétés des différentes substances considérées. L'identification et la maîtrise de ces différents types de transfert constituent, selon le type de ressource prélevée, l'une des clés de la démarche de protection des AAC.

Parmi les transferts mis en jeu dans la contamination des eaux prélevées on distingue

- Les transferts par infiltration lorsque la substance, soluble, migre verticalement avec l'eau à travers le sol et la zone non saturée pour rejoindre les nappes d'eau souterraines. Cette infiltration peut intervenir sous forme diffuse et relativement lente mais aussi sous forme concentrée et rapide lorsqu'un écoulement de surface atteint une zone d'engouffrement (par exemple une béttoire ou doline en milieu karstique). Il s'agit du mécanisme considéré comme prédominant dans le transfert des nitrates (on parle alors de lessivage).
- Les transferts par ruissellement lorsque la substance, en solution ou adsorbée sur les particules en suspension (phénomène d'érosion), est entraînée par l'eau à la surface du sol pour rejoindre le réseau hydrographique. Il s'agit du mécanisme prédominant pour les transferts de certains pesticides et du phosphore.
- Les transferts de sub-surface qui correspondent à un écoulement à faible profondeur dans le sol, à la faveur d'une rupture de perméabilité (écoulement dit **hypodermique**) ou via des dispositifs artificiels qui concentrent l'écoulement (drains enterrés destinés à assainir les parcelles agricoles). L'eau est alors généralement restituée au réseau hydrographique avec tout ou partie des substances qu'elle transporte (en fonction des phénomènes de rétention par le sol).
- La dérive atmosphérique qui intervient spécifiquement lors de l'application des produits phytosanitaires par pulvérisation sur les cultures et entraîne ces derniers vers les eaux superficielles.

Bien entendu ces différentes modalités de transfert ne sont pas exclusives les unes des autres, des transferts par infiltration et par ruissellement sont par exemple susceptibles de coexister (tant dans le temps que dans l'espace) au sein d'une même parcelle et a fortiori à l'échelle de l'AAC.



LA POLLUTION

D'ORIGINE

DOMESTIQUE

Cours 5 : La pollution d'origine domestique

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe les conditions de vie de la flore et de la faune aquatique, elle compromet les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu aquatique.

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

La **microbiologie** est un domaine des sciences appliquées qui a pour objet les micro-organismes et les activités qui les caractérisent. Plus spécifiquement, la microbiologie se consacre à l'identification et à la caractérisation des micro-organismes ; à l'étude de leur origine et de leur évolution ; à définir leurs caractéristiques, les produits de leurs activités et leurs besoins ; et à comprendre les relations qu'ils entretiennent entre eux et avec leur milieu naturel ou artificiel.

Les micro-organismes appartenant à trois règnes présentant une structure cellulaire eucaryote ou procaryote, ou qui est eucaryote, et qui est caractérisé par l'unicellularité, une taille microscopique ou ultramicroscopique, un potentiel métabolique et de reproduction, l'omniprésence et l'abondance. Les micro-organismes sont répartis en cinq groupes : **les algues, les protozoaires, les mycètes, les bactéries, les virus et les prions**. Les bactéries sont classées parmi les monères. Les algues unicellulaires font partie des protistes procaryotes et eucaryotes. Les champignons unicellulaires, les lichens et les protozoaires sont des protistes eucaryotes. Les virus et les prions sont des acaryotes (soit sans organisation cellulaire).

On parle aussi maintenant de « *microbiologie moléculaire* », dans le domaine des biotechnologies notamment.

1- Les algues : Contrairement aux champignons et aux protozoaires, les algues ont des pigments chlorophylliens leur permettant de réaliser la photosynthèse. Elles sont donc des organismes vivant immobile et autotrophes. Les algues sont présentes dans le sol, les plantes, l'eau douce et l'eau de mer. Le mot « algue » n'a pas de sens d'un point de vue phylogénétique, c'est-à-dire que l'ancêtre commun à toutes les algues est celui des eucaryotes.

2- Les protozoaires : désigne les protistes hétérotrophes mobiles qui ingèrent leur nourriture par phagocytose, contrairement aux deux autres types de protistes.

3- Les mycètes : Le **mycète** est un champignon du règne des *Fungi*, *Mycètes* ou *Mycota*. Cet organisme eucaryote chimiohétérotrophe est capable d'absorber les éléments nutritifs sans être chlorophyllien. Ils ne peuvent pas fabriquer leur propre nourriture comme les plantes. Ce sont des hétérotrophes qui dépendent d'autres organismes pour leur source de carbone.

4- Les bactéries : Le terme bactérie est un nom vernaculaire qui désigne certains organismes vivants microscopiques et procaryotes présents dans tous les milieux.

5- Les virus : Un virus est une particule microscopique infectieuse qui ne peut se répliquer qu'en pénétrant dans une cellule et en utilisant sa machinerie cellulaire. Les virus qui infectent les bactéries sont les bactériophages. Il existe des virus qui infectent des animaux et d'autres qui infectent les végétaux. S'ils provoquent des maladies, les virus peuvent être considérés comme des germes pathogènes.

6- Les prions : Un **prion** est un agent pathogène constitué d'une protéine dont la conformation ou le repliement est anormal et qui, au contraire d'agents infectieux tels que les virus ou les bactéries, ou encore des parasites, ne dispose pas d'acide nucléique (ADN ou ARN) comme support de l'information infectieuse.

5.1.1. Les germes témoins de contamination fécale :

La plupart des micro-organismes présents dans les eaux proviennent de l'air, du sol, des plantes ou des animaux vivants ou en état de décomposition, de même que des excréments de l'homme. La présence potentielle de cette multitude d'espèces bactériennes soulève un problème sérieux de sante individuelle et publique, puisque l'existence des bactéries pathogènes n'est pas une fiction mais bien une réalite qui risque d'affecter l'homme en contact direct ou indirect avec des matières excrémentielles. L'homme peut être atteint par l'ingestion d'eau contaminée, de fruits et légumes mal lavés ou encore par l'intermédiaire d'insectes piqueurs, etc.

5.1.1.1. Intérêt de cet indicateur :

Ce type d'indicateur est utilisé pour évaluer la **qualité sanitaire** des eaux (en particulier des **eaux de baignades** ou des **eaux conchylicoles**). Il doit donc permettre d'estimer le risque épidémiologique et devrait en toute logique tenir compte de la présence plus ou moins importante de germes pathogènes.

Le nombre d'agents pathogènes potentiels étant très grand, il n'est pas possible de les étudier tous. Par ailleurs, leur abondance est toujours faible et les techniques analytiques à mettre en œuvre pour les mesurer sont lourdes et onéreuses. A l'inverse, certains micro-organismes (**coliformes fécaux** par exemple) se trouvent en très grand nombre dans les **eaux usées** (10^9 à 10^{10} dans 100 ml) et leur numération est plus simple et plus rapide. Le principe de l'utilisation de germes témoins, est donc fondé sur l'idée que dans toute contamination d'origine animale ou humaine arrivant dans le milieu aquatique il existe des germes spécifiques, présents en grande quantité, donc facilement décelables. On se contente alors de rechercher ces micro-organismes, non nécessairement pathogènes, mais dont la présence est le signe d'une contamination fécale, ce qui laisse suspecter qu'il existe un risque épidémiologique.

5.1.1.2. Quels sont les germes que l'on peut utiliser ?

La représentativité de l'indicateur est d'autant meilleure que les germes étudiés se trouvent présents de façon proportionnelle aux autres bactéries pathogènes. Au vu de ces principes, un micro-organisme est intéressant à rechercher comme témoin de contamination fécale s'il présente les caractéristiques suivantes :

- être associé aux organismes pathogènes et présent en beaucoup plus grande quantité ;
- être associé systématiquement et exclusivement à la source des organismes pathogènes ;
- présenter la même résistance que les organismes pathogènes à la désinfection, aux systèmes de traitement et à l'environnement aquatique ;
- être résistant et capable de résister longtemps dans le milieu extérieur ;
- être facile à identifier, à isoler et à doser.

Différents germes peuvent être utilisés. Citons :

- les **coliformes fécaux** (de loin les plus utilisés, en particulier *Escherichia coli*) ;
- les **streptocoques fécaux** (abondants, spécifiques et assez résistants, peu pathogènes) ;
- les **salmonelles** ;
- les *clostridium*s (en particulier *clostridium perfringens*) (très abondants et résistants, mais de spécificité discutable).

5.1.1.3. Devenir des micro-organismes dans les milieux aquatiques :

Selon les conditions hydrodynamiques rencontrées dans le milieu aquatique (débit, vitesse, courant), les bactéries et virus, souvent associés à des particules, vont être transportés sur des distances plus ou moins grandes par rapport au point de rejet. Leur dilution sera

également plus ou moins importante. Les conditions hydrodynamiques vont également conditionner leur sédimentation et éventuellement leur remise en suspension ultérieure si ces conditions changent (Fig. 12). Leur détection est donc difficile et les quantités trouvées peuvent varier selon les lieux et les moments de prises d'échantillons.

De façon générale les milieux aquatiques sont peu favorables aux micro-organismes intestinaux, essentiellement du fait de l'ensoleillement et de la température. De façon plus spécifique, les bactéries d'origine fécale vont entrer en compétition avec les bactéries naturellement présentes dans ce milieu et adaptées à des concentrations plus faibles en nutriments.

On estime généralement que la durée moyenne de survie varie de 1 à 3 jours pour les bactéries en eau froide (la durée de survie augmente avec la température) à quelques semaines pour les virus.

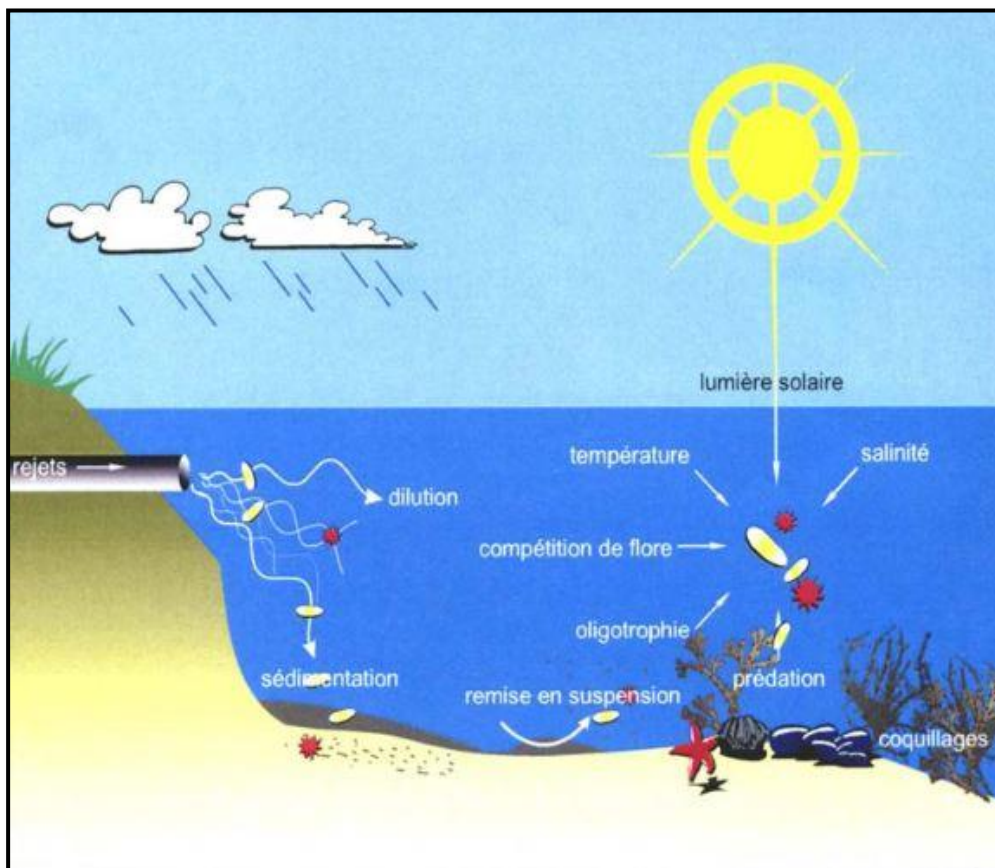


Fig. 12. Devenir en mer des micro-organismes d'origine fécale (Piquet *et al.*, 2011).

5.1.1.4. Autres indicateurs possibles :

Des bactériophages et les coliphages, qui sont des virus pathogènes pour certaines bactéries spécifiques, sont également souvent employés à la place des virus entériques pour évaluer le risque de contamination dans des rejets d'eau usée et d'eau pluviale. Certains indicateurs chimiques tels que le stérol coprostanol fécal qui est produit dans l'intestin par la réduction microbienne de cholestérol, se sont également avérés être des indicateurs précis de pollution fécale.

5.2. Les méthodes de prélèvement (échantillonnage) :

Les échantillons destinés à l'analyse chimique doivent être prélevés pendant les heures normales d'exploitation, de 15 à 30 cm sous la surface de l'eau ou, lorsque la profondeur du bassin est inférieure à 50 cm, à mi-chemin entre la surface de l'eau et le fond du bassin.

Les échantillons doivent être prélevés dans une partie peu fréquentée par les baigneurs au moment du prélèvement. Il faut également effectuer le prélèvement entre la sortie du système de filtration et le retour d'eau. Dans le cas des bains tourbillons, les échantillons peuvent être prélevés en tous points sous la surface de l'eau.

De plus, il est essentiel de respecter rigoureusement l'ensemble des instructions fournies par le fabricant des différentes trousse de mesures chimiques utilisées. Il est aussi primordial que la personne qui effectue les prélèvements ait les mains très propres pour éviter toute contamination subséquente (par la sueur, par des résidus de produits chimiques, etc.) au cours des manipulations.

Les cellules de mesure des différentes trousse doivent être propres et transparentes. Il faut les rincer avec l'échantillon avant de les remplir et d'ajuster le niveau de liquide. Il faut ensuite les essuyer avec un tissu propre de doux avant d'effectuer les comparaisons de couleur

pour que les parois externes soient propres et sèches. Les cellules doivent toujours être remplies au niveau demandé pour éviter des écarts dans les mesures.

5.2.1. Méthodes d'analyse :

➤ Température de l'eau :

Lors de la lecture de la température de l'eau, il faut :

- ✓ prélever un échantillon d'eau dans une bouteille en verre ou en plastique de 125 ml à large ouverture.
- ✓ plonger un thermomètre dans l'échantillon et attendre au moins 3 minutes afin que la température se stabilise.
- ✓ lire la température en tenant la bouteille et le thermomètre au niveau des yeux et en laissant l'extrémité du thermomètre immergée dans l'échantillon.
- ✓ consigner la température à 0,5°C (graduation adéquate) près. N'utiliser que des thermomètres étalonnés.

La mesure de la température de l'eau peut également s'effectuer directement dans le bassin.

➤ Autres paramètres :

Il est possible de se procurer différents types de trousse d'essai pour analyser sur place les différents paramètres chimiques (pH, chlore résiduel libre, total et combiné, alcalinité, etc.). Ces trousse sont très utiles pour vérifier les principaux paramètres permettant d'évaluer la qualité de l'eau et donc de s'assurer du bon fonctionnement des systèmes de traitement.

Généralement, ces trousse sont composées de fioles d'essai, de cellules de mesure et de produits réactifs qui aident à déterminer les concentrations des produits recherchés à l'aide

de comparateurs par colorimétrie. Les analyses doivent être effectuées avec de l'équipement fiable ainsi que des réactifs non périmés et appropriés.

Le responsable d'un bassin doit posséder au minimum une trousse d'essai capable de mesurer le chlore résiduel libre entre 0,2 mg/l et 5 mg/l à 0,2 mg/l près. S'il utilise le brome comme désinfectant, il doit également posséder une trousse d'essai capable de mesurer le brome total entre 1 mg/l et 5 mg/l à 0,5 mg/l près.

Les trousses d'essai doivent également permettre de faire la mesure du pH à 0,2 unité de pH près et de la dureté et de l'alcalinité totale de l'eau à une précision d'au moins 10 mg/l.

a) Les méthodes en analyse bactériologique :

La plupart des méthodes d'analyse bactériologique sont normalisées (dénombrement sur milieu nutritif solide, filtration sur membrane filtrante, etc.). La recherche de bactéries pathogènes spécifiques nécessite des méthodes plus élaborées (enrichissement, sérotypage, etc.). Les résultats des analyses les plus simples demandent 24 à 48 heures au minimum.

b) Les méthodes en analyse virologique :

Les virus les plus recherchés sont les entérovirus. Les virus sont d'abord concentrés (ultrafiltration, adsorption - élution, floculation organique), puis cultivés sur des cellules (cellules du rein BGM, cellules néoplasiques Hela humaines). La présence des virus est signée par des effets cytopathogènes observés par microscopie. Les résultats demandent 2 à 3 semaines.

c) Les méthodes en analyse parasitologique :

Les parasites les plus recherchés aujourd'hui sont *Entamoebahistolytica*, *Gardialambliia* et *Cryptosporidiumparvum*. Ces parasites se retrouvent fréquemment dans des eaux souterraines à la suite d'une contamination des eaux de surface.

On recherche principalement les formes enkystées de ces parasites par immunofluorescence. Rappelons que les formes pathogènes sont les formes végétatives.

d) Les apports de la biologie moléculaire :

Les apports les plus performants dans la recherche d'organismes et de microorganismes présents dans l'eau sont dus aux techniques de recherche de l'ADN (Polymerase Chain Reaction).

Une fois qu'une bactérie où un virus a été identifié, il convient de s'assurer de sa viabilité par des recherches sur son ARN ribosomal (transcription inverse). Ces techniques extrêmement prometteuses, y compris du fait de leurs délais de réponses qui peuvent être relativement courts, nécessitent de prendre grand soin de la matière dont on échantillonne. En effet, l'eau est un milieu de vie dans lequel on peut retrouver des quantités phénoménales d'organismes vivants qui peuvent par conséquent contaminer, par leur ADN, les échantillons récoltés.

e) Les méthodes en algologie :

Les algues unicellulaires sont déterminées par observation microscopique. Comme elles peuvent être comptées sur des cellules de comptage. On peut aussi estimer leur nombre où leur concentration par des dosages de la chlorophylle ou d'autres pigments.

5.3. Protocoles d'analyse par type de micro-organisme :

5.3.1. Germes et tests de contamination fécale :

Les contrôles microbiologiques effectués sur les eaux et plus généralement des eaux récréatives (baignade, activités nautiques, etc.) en mer ou en eau douce, concernent les germes tests de contamination fécale, les staphylocoques pathogènes, *Pseudomonas aeruginosa* (Fig. 12) (et autres espèces ou apparentées du groupe *fluorescens*) et plus rarement la recherche de salmonelles et d'entérovirus.

Du fait de la présence très irrégulière et de la multitude des microorganismes pathogènes (bactéries, virus, protozoaires) dans les eaux littorales, et de l'absence de technique de routine pour recherche de virus et de la fixation de normes virologiques, le contrôle sanitaire se fonde sur le dénombrement des bactéries *Escherichia coli* (*E. coli*) où "germes tests de contamination fécale".

En effet, la quasi-totalité des microorganismes pathogènes identifiés dans les eaux littorales sont de provenance fécale (humaine ou animale) et sont, en permanence, accompagnés d'*E. coli* en grande abondance (Fig. 13), et spécifiques des matières fécales.

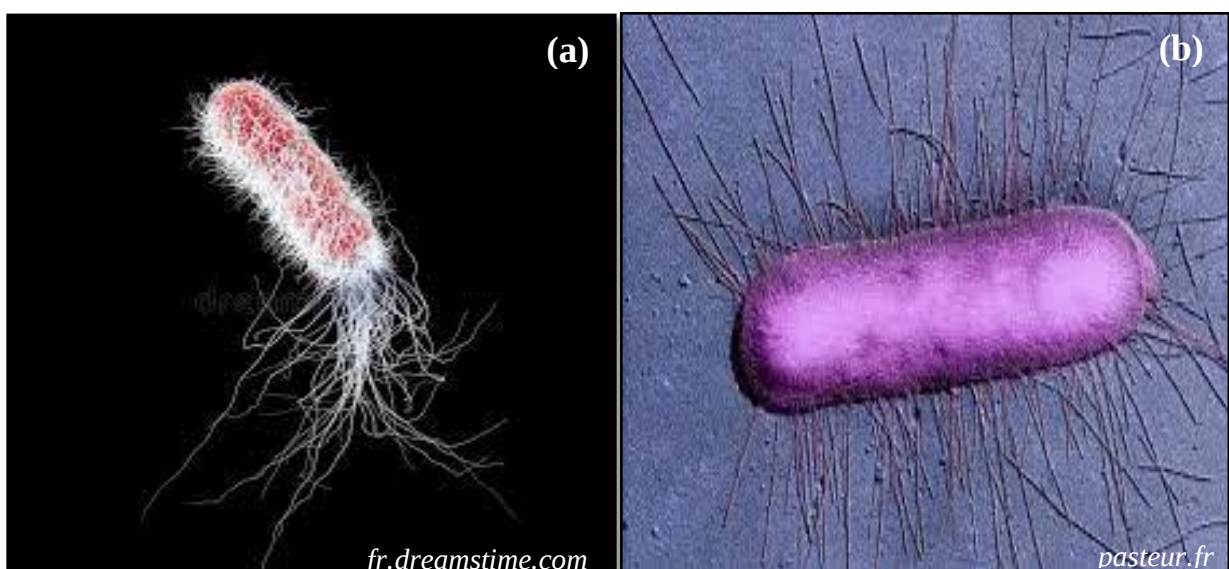


Fig. 13 : Photo d'un *Pseudomonas aeruginosa* (a) et *Escherichia coli* (b).

5.3.2. Contrôle des eaux de boisson :

Les eaux destinées à la consommation humaine et animale (eaux potables) font l'objet de contrôle de leur qualité dans des laboratoires agréés (Tab. 2 & 3). Les eaux minérales naturelles, les eaux utilisées dans les industries alimentaires et la glace alimentaire (pain de glace, vrac concassé, etc.) font aussi l'objet de contrôles, mais dans des conditions réglementaires et techniques légèrement différentes.

Tableau 2 : Normes bactériologiques de potabilité de l'eau pour la consommation humaines (Directive CEE norme humaine).

Paramètres	Valeur seuil
Germes totaux cultivés	Moins de 10 colonies par ml
Coliformes totaux	Absence
Coliformes fécaux	Absence
Streptocoques fécaux	Absence
Clostridium sulfito-réducteurs	Absence
Staphylocoque pathogènes	Absence
Salmonelles	Absence

Tableau 3 : Normes chimiques de potabilité de l'eau pour la consommation humaines (Directive CEE norme humaine).

Paramètres	Valeur seuil
pH	Entre 6,5 et 8,5
Taux de matières organiques	Inférieur à 5 mg/l
Nitrate (NO ₃)	Inférieur à 50 mg/l
Nitrite (NO ₂)	Inférieur à 0,1 mg/l
Ammonium (NH ₄)	Inférieur à 0,5 mg/l
Chlorure (Cl)	Inférieur à 200 mg/l
Fer (Fe)	Inférieur à 0,2 mg/l
Autres indicateurs	
Sulfate	Inférieur à 250 mg/l
Chlorure de sodium (NaCl)	Tolérance jusqu'à 1000 mg/l
Fluor	Inférieur à 1,5 mg/l
Plomb	Inférieur à 10 µg/l

Mercure	Inférieur à 1 µg/l
Pesticides	Inférieur à 0,1 µg/l
Benzène	Inférieur à 1 µg/l
Hydrocarbures polycycliques aromatiques	Inférieur à 0,2 µg/l

5.3.3. Contrôle des eaux de baignades :

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 (Tab. 4).

La réglementation relative aux baignades relève des dispositions fixées par la [directive européenne 2006/7/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE](#). Cette directive a été transposée en droit français aux articles D.1332-14 à D.1332-38-1 du code de la santé publique (CSP). Le classement de la qualité des eaux de baignade est réalisé à la fin de la saison balnéaire de l'année en cours en utilisant les résultats d'analyse des paramètres réglementés dans le cadre du contrôle sanitaire. Les points de prélèvements ; toujours identiques ; sont définis dans la zone de fréquentation maximale des baigneurs.

Conformément aux dispositions de la directive 2006/7/CE, les paramètres réglementés sont les indicateurs *Escherichia coli* et entérocoques intestinaux. Leur présence dans l'eau indique une contamination d'origine fécale plus ou moins forte en fonction des concentrations relevées (Tab. 4). Ces germes microbiens ne constituent pas en eux-mêmes un danger pour les baigneurs aux seuils généralement relevés mais peuvent indiquer, par leur présence, celle simultanée de germes pathogènes. Néanmoins, afin de renforcer ce contrôle microbiologique, on ajoute d'autres paramètres (pH, transparence, cyanobactéries, etc).

Concernant les seuils définissant la qualité de l'eau de baignade à un instant « t », la réglementation ne fixe pas de seuils ou de références pour qualifier la qualité

microbiologique d'un échantillon d'eau prélevé sur la zone de baignade. Toutefois, la qualité microbiologique d'un échantillon d'eau de baignade prélevé sera qualifiée de « bon », « moyen », « mauvais » selon les modalités du tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Valeurs limites de qualité des eaux de baignades, proposées par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET, 2007).

Qualification d'un prélèvement	<i>Escherichia coli</i> UFC/100 ml	Entérocoques intestinaux UFC/100 ml
Pour les eaux de mer		
Bon	≤ 100	≤ 100
Moyen	> 100 et ≤ 1000	> 100 et ≤ 370
Mauvais	> 1000	> 370
Pour les eaux douces		
Bon	≤ 100	≤ 100
Moyen	> 100 et ≤ 1800	> 100 et ≤ 660
Mauvais	> 1800	> 660

RÉGULATION

DU MILIEU

AQUATIQUE

Cours 6 : Régulation du milieu aquatique

Pour s'assurer de la préservation des écosystèmes aquatiques, le contrôle permanent de leur état de santé général, tant au niveau de la qualité de leurs eaux qu'à celui de la diversité des organismes qui vivent et de la qualité de leur habitats, est un élément crucial.

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

La pollution peut être visible (corps flottants, mousses...). Mais ce n'est pas toujours le cas : une eau claire peut être fortement polluée. Pour évaluer la pollution d'un cours d'eau, il est donc nécessaire d'avoir recours à des mesures.

Diverses techniques physico-chimiques d'analyse permettent d'évaluer les concentrations des différentes substances et notamment des polluants, contenues dans l'eau. Certaines de ces mesures peuvent être réalisées in situ en continu. D'autres doivent être faites en laboratoire à partir d'échantillons d'eau prélevés au milieu naturel. Mais les polluants qui ont atteint un écosystème aquatique ne se contentent pas de rester dans l'eau, ils se distribuent entre les différents compartiments de l'écosystème que sont l'eau, le milieu physique et les organismes vivants. Les analyses physico-chimiques de l'eau (pH, T°C, S‰, O₂ dissous,.....) (Fig. 14 & 15) ne suffisent donc pas pour réellement apprécier la qualité écologique des écosystèmes aquatiques. En outre, elles sont mal adaptées à la détection de pollutions intermittentes ou ponctuelles qui ne se produisent pas nécessairement lors de la prise d'échantillons pour analyse, et elles ne prennent pas en compte les perturbations physiques du milieu.



Fig. 14 : Analyse physico-chimique de l'eau, (a) : multi-paramètre de terrain, (b) : mesure *in situ* des paramètres physico-chimique.

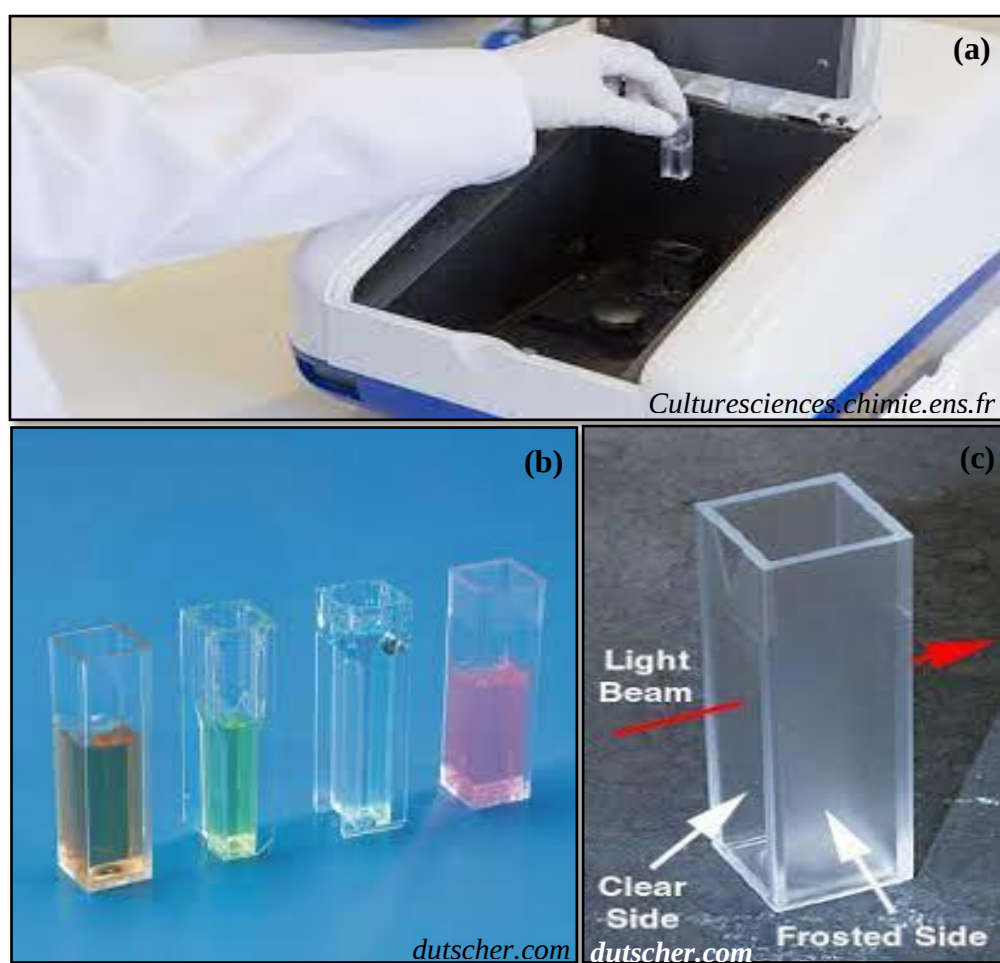


Fig. 15 : Analyse d'échantillons d'eau par spectrométrie, (a) : spectromètre, (b & c) : cuves pour spectrophotométrie.

6.1.1. Les indicateurs biologiques :

D'autres moyens ont donc été élaborés comme l'analyse des sédiments ou des mousses aquatiques, ou encore l'analyse des organismes. Les gestionnaires des milieux aquatiques font également appel à des " indicateurs biologiques ". Les organismes vivants sont en effet sensibles à une large gamme d'impacts physiques, chimiques et biologiques, et peuvent théoriquement apporter des réponses précises et graduées aux conséquences de ces perturbations sur le milieu aquatique.

En particulier, la régulation du débit ou la destruction de certains biotopes peuvent avoir pour résultat d'éliminer certaines espèces, sans pour autant altérer la qualité physico-chimique des eaux. Dans un domaine comparable, l'introduction d'espèces de poissons afin d'améliorer la pêche, peut provoquer l'élimination des nombreuses espèces indigènes d'invertébrés et de vertébrés, ou des modifications importantes dans les chaînes trophiques, sans affecter pour autant la qualité physico-chimique des eaux.

Enfin, certains organismes se comportent comme de véritables sentinelles vis-à-vis des modifications de l'environnement, dans le sens qu'ils peuvent réagir par exemple à de faibles taux de contamination par des polluants, en se raréfiant ou en pullulant, ou qu'ils ont des aptitudes particulières à la bioaccumulation de contaminants dans leurs tissus : les algues, les truites ou les moules, par exemple, sont d'excellents détecteurs de pollution.

Les scientifiques utilisent donc des indices basés sur les algues, ou les invertébrés pour évaluer la qualité d'un milieu aquatique. Ils sont également en train de développer un "indice poissons" qui utilise les communautés de poissons comme indicateurs biologiques, la présence et l'abondance relative des différentes espèces de poissons dans une portion de cours d'eau

informant sur la qualité de leur habitat. Cet indice prend en compte l'ensemble des facteurs environnementaux qu'ils soient de nature physique, chimique ou biologique.

✚ Les indicateurs biologiques sont très variés :

Au niveau individuel, ce sont des indicateurs biochimiques (modifications enzymatique carcinogénèse), physiologiques (taux de croissance, taux de fécondité, maladies), et de comportement, au niveau de la population sont utilisés principalement des indicateurs démographiques (structures en âge et en taille, taux de natalité et de mortalité, sex-ratio), au niveau de la communauté, les indicateurs concernent la présence ou l'absence de certaines espèces indicatrices. Au niveau de l'écosystème, peuvent être examinés la structure des communautés (richesse spécifique, abondance, biomasse, indicateurs de structure). Les processus (production primaire, production secondaire, cycles des éléments nutritifs), les structures (niveaux trophiques, chaîne alimentaire), ou le paysage (hétérogénéité, fragmentation), qui sont des indicateurs dits écologiques.

On dispose également à l'heure actuelle de systèmes de détection de la pollution à l'échelle planétaire grâce à certains satellites capables notamment d'analyser du haut de leur orbite la turbidité des eaux, ou de détecter une marée noire.

6.2. Action des micropredateurs et des macropredateurs :

Une espèce est dite prédatrice lorsqu'elle consomme directement ses proies. Selon le prédateur, le nombre d'espèces de proies peut être plus ou moins important et certains pratiquent même le cannibalisme.

Le carabe s'attaque par exemple à de nombreuses proies (insectes, mollusques...). Il existe également certaines espèces qui changent de régime alimentaire au cours des différentes phases de leur développement, par exemple les syrphes dont seules les larves sont prédatrices.

L'utilisation de prédateurs présente plusieurs avantages : ils peuvent avoir une action rapide sur la population de ravageurs et exercer un contrôle durable si les conditions leurs permettent de s'installer sur place. Cependant, il se peut également qu'ils émigrent s'ils ne trouvent pas suffisamment de proies ou encore qu'ils s'attaquent à d'autres espèces utiles.

Tous les auxiliaires ne sont pas des prédateurs qui attaquent et consomment leurs proies, certains s'en servent pour leur développement.

6.3. Effets des sécrétions des algues :

Il est important de préciser que peu d'algues sont toxiques pour l'homme. Ce sont essentiellement les microalgues qui sont dangereuses. Parmi le phytoplancton, seul 2% peuvent produire des substances nocives. Pour comprendre ce phénomène, il faut tenir compte du fait que les algues interagissent en permanence avec leur environnement par le biais de message moléculaire. De ce fait toutes les algues sont potentiellement toxiques mais heureusement pas pour l'homme. Elles produisent naturellement des molécules capables de perturber le fonctionnement d'autres organismes. Ces défenses chimiques sont spécifiques selon les espèces et libérées en fonction des besoins. Les toxines peuvent rester à l'intérieur des cellules, on parle alors d'**endotoxines** ou être libérées dans l'eau, ce sont les **exotoxines**. Ces dernières sont directement actives sur les animaux et les végétaux. Quant aux endotoxines, il faut que les algues soient ingérées pour exprimer leur toxicité. Mais elles peuvent parvenir jusqu'à l'homme et constituer un risque pour la santé en s'accumulant dans les produits marins consommés. Toutefois, ces endotoxines peuvent être libérées dans l'eau, lorsque les algues se brisent, pouvant entraîner la mort de poissons. Ce phénomène se rencontre notamment avec un dinoflagellé *Karenia brevis* (Fig. 16a). Lorsque les cellules de cette algue se rompent, elles libèrent des neurotoxines qui atteignent les branchies des poissons et les tuent. Les macroalgues semblent peu toxiques pour l'homme. Certaines algues sont impropres à la consommation par

leur teneur en iode (ex : *Laminaria digitata*) (Fig.16b). Mais même les algues vertes peuvent être utilisées en cuisine à condition qu'elles soient cueillies fraîches encore fixées et dans des lieux exempts de pollution. L'algue brune *Desmarestia* n'est pas toxique mais elle est riche en acide sulfurique d'où la mauvaise réputation qui lui est attribuée (Fig. 16c). L'algue *Caulerpa taxifolia* est une nuisance pour la faune et la flore marine mais elle n'est pas dangereuse pour l'homme (Fig. 16d). Elle possède une toxine, la caulerpénine qui limite le risque de broutage et accélère la cicatrisation des blessures. Cette algue n'est constituée que d'une seule cellule géante avec plusieurs noyaux, ce qui en cas de déchirure aboutit à un déversement de leur contenu. Cette algue, originaire des régions tropicales a été rejetée de l'aquarium de Monaco et a envahi les fonds marins méditerranéens. Elle est surnommée « **l'algue tueuse** ». Cependant, il semblerait que sa population régresse et que la vie retrouve peu à peu ses droits. Les algues sargasses sont aussi des algues envahissantes qui s'enroulent de façon inextricable autour des hélices de bateaux. Elles libèrent dans leur environnement une substance toxique pour les herbivores juste avant de former leurs organes reproducteurs. Ainsi, leur descendance est assurée. Si les macroalgues ne sont pas toxiques, les microalgues, elles le sont. Les algues font partie du phytoplancton et elles s'accumulent dans la chaîne alimentaire en touchant aussi bien l'homme, que les mammifères marins, que les oiseaux de mer ou encore certains poissons. « Sur les 5000 espèces de phytoplancton marin, une centaine s'avère dangereuse ». Les principales sources de contamination pour l'homme sont les coquillages filtrants car ils sont peu affectés par les toxines et ils ne meurent pas avant d'être consommés (contrairement aux poissons). D'où la difficulté de savoir s'ils sont consommables ou pas. Les toxines se retrouvent dans les tissus des bivalves, notamment dans leur tractus digestif ou elles sont concentrées dans les organes tels que l'hépatopancréas. Cet organe permet d'isoler les substances suspectes. Dans certains cas, un seul coquillage peut s'avérer mortel. Les algues toxiques pour l'homme sont essentiellement des dinoflagellés mais également certaines espèces de diatomées et de

cyanobactéries. La majorité des algues toxiques sont dangereuses lors de la prolifération (Fig. 16e & 16f). Elles se développent rapidement par reproduction asexuée mais chez certaines espèces en situation de stress ou lorsque l'environnement ne leur est pas favorable, elles utilisent la reproduction sexuée. Les dinoflagellés peuvent également former des kystes qui sont entraînés par les courants et qui germent lorsque les conditions redeviennent adéquates (Faller, 2011).

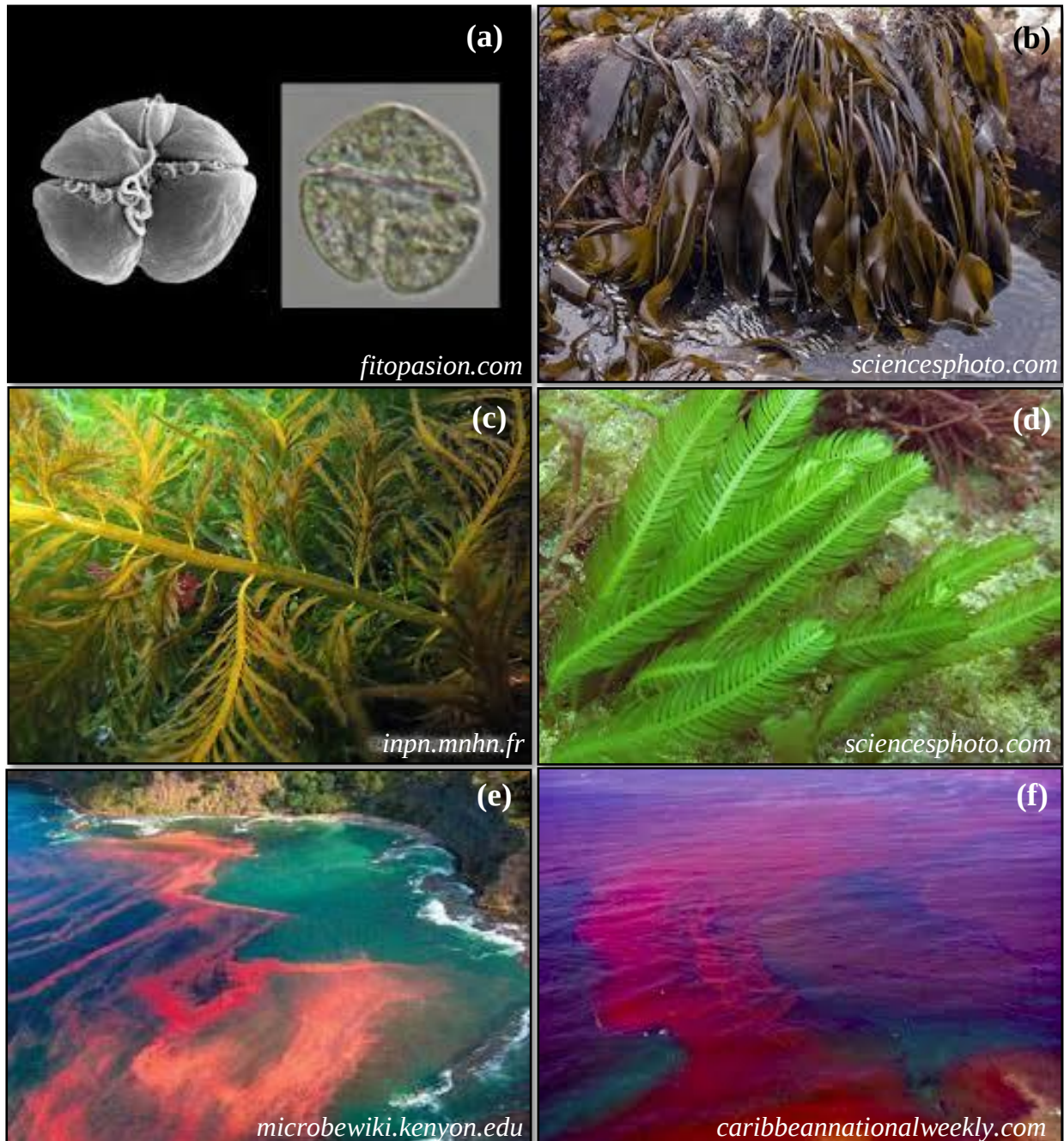


Fig. 16 : Quelques exemples d'espèces d'algues toxiques, (a) : dinoflagelé *Karena brevis*, (b) : *Laminaria digitata*, (c) : *Desmarestia ligulata*, (d) : *Caulerpa taxifolia*, (e & f) : marée rouge par prolifération de microalgues.

6.3.1. Facteurs qui favorisent les algues toxiques :

Le principal facteur est celui des conditions environnementales avec la température, l'éclairement, la présence de substances nutritives et le minimum de concurrence et de prédation. De plus, cela dépendra de la capacité des algues à occuper un milieu et par conséquent de leur vitesse de reproduction. Ces algues toxiques ne peuvent pas se développer n'importe où. On les rencontre notamment dans les zones où les eaux forment des couches de températures différentes, c'est-à-dire qu'une couche d'eau chaude en surface repose sur une couche d'eau plus froide et riche en substances nutritives. Ce phénomène a lieu souvent avec les températures estivales et lorsqu'il y a un écoulement d'eau douce. L'azote et le phosphore présents dans les couches supérieures sont rapidement consommés par les algues n'en laissant que dans les couches inférieures plus froides. Ainsi, seules les algues mobiles comme les dinoflagellés peuvent y accéder facilement. Grâce à leur flagelle, ces algues peuvent parcourir une dizaine de mètres par jour, elles font donc le voyage tous les jours. Pendant la journée, elles profitent de la lumière en surface, et la nuit, elles redescendent faire le plein de nutriments. Il semblerait que depuis une trentaine d'année ces algues toxiques se développent dans de nombreuses régions du monde. Cependant, ces données peuvent être faussées, car on y prête plus d'attention avec une surveillance accentuée et des méthodes de détection de plus en plus fines. Malgré tout, on note un accroissement de ces algues sur certains sites, comme certaines régions du Japon très urbanisées. Cette croissance algale est dopée avec les rejets d'azote et de phosphore dans les milieux aquatiques. De plus, le développement du commerce maritime favorise le voyage des algues, auquel il faut également ajouter le réchauffement climatique.

6.3.2. Pourquoi les algues produisent des toxines ?

C'est leur moyen de défense afin de se protéger des herbivores marins et de lutter contre la concurrence au niveau nutritif et spatial. Les microorganismes peuvent être affectés par des toxines d'algues. Quelques composés ont des propriétés antibactériennes et antifongiques. Ces toxines peuvent atteindre plusieurs maillons de la chaîne alimentaire dont l'homme. Il semblerait que cette toxicité algale soit liée à une perturbation accidentelle de certains mécanismes physiologiques. Ces toxines se fixent sur des récepteurs membranaires comme des analogues de structures. Ces molécules sont reconnues mais elles ne fonctionnent pas correctement et bloquent tous les systèmes dont la paralysie de canaux ioniques et la perturbation des échanges ; ceci conduit à une altération des mécanismes physiologiques vitaux.

Les plus grands nombres de ces toxines interrompent la conduction électrique (elles découplent la communication entre les nerfs et les muscles). Récemment, il a même été mis en évidence des toxines étonnantes produites par des algues vivant en symbiose avec des bactéries. Ces associations ont été étudiées permettant la mise en évidence des microorganismes à l'intérieur même des cellules ou vivant à la surface des algues. Ces toxines algales compteraient parmi les plus puissantes du règne vivant. Les symptômes apparaissent souvent très rapidement après l'ingestion (de la minute à quelques heures). De plus, ces toxines ne sont pas perceptibles par l'homme car elles ne modifient ni l'odeur, ni le goût des poissons et des fruits de mer et surtout elles sont thermostables (pas détruites par la cuisson). Les poissons ne survivent pas aux toxines, à l'exception de la **ciguatera tropicale** (intoxications alimentaires due à l'ingestion de poisson) qui contamine les poissons coralliens et leurs prédateurs sans altérer leur santé. Ces contaminations constituent un véritable problème pour les poissons d'élevages qui ne peuvent pas fuir en cas d'efflorescence d'algues toxiques.

6.3.3. Les effets des toxines sur l'homme :

Selon les toxines les effets seront différents mais elles induisent souvent des troubles gastro-intestinaux et/ou neurologiques. Lorsque ces molécules sont lipophiles, elles passent facilement par la membrane phospholipidique des cellules intestinales. Quant aux molécules hydrophiles elles passent dans le sang. Elles peuvent gagner le système nerveux central et agir. Généralement chaque espèce possède sa toxine spécifique et certaines algues possèdent plusieurs toxines pour se défendre. Parmi les toxines les plus connues, citons l'acide okadaïque, les saxitoxines et leurs dérivées, ainsi que les ichthyotoxines.

6.3.4. Les moyens de lutte :

Des systèmes de surveillance ont été mis en place dans les pays industrialisés afin de retirer à temps les produits contaminés. Les intoxications sont assez rares, exception faite de l'apparition de nouvelle toxine. En France, il existe un réseau de surveillance du phytoplancton et des phytotoxines (Réphy) qui surveille le littoral afin de repérer les proliférations d'algues toxiques et d'alerter les autorités lorsque la consommation de certains produits de la mer est dangereuse. Des mesures sont prises pour arrêter la commercialisation de ces produits infectés. Malheureusement, les pays en voie de développements sont très exposés à ces intoxications. Ils n'ont pas les moyens pour mettre en place un réseau de surveillance qui est trop onéreux. Malgré tout, la nature peut dans certain cas réguler elle-même ces problèmes. Dans certains cas, les efflorescences d'algues toxiques cessent aussi soudainement qu'elles sont apparues. Il semblerait qu'un parasite tueur (entre autre) pourrait limiter cette prolifération. On peut illustrer ce phénomène avec le dinoflagellé *Alexandrium minutum* qui a proliféré sur les côtes bretonnes à la fin des années quatre-vingt (Fig. 16). Cette algue formait de 109 véritables marées rouges toxiques lors de leur efflorescence, contaminant les coquillages autours. Ce dinoflagellé a

conduit à la fermeture régulière des exploitations aquacoles. Ce n'est que vers les années 2003 que la prolifération de cette algue a cessé, bien qu'elle soit toujours présente dans l'eau. Des recherches suggèrent l'existence d'un parasite marin qui chaque année au moment de l'efflorescence d'*Alexandrium*, se multiplie dans la cellule hôte. Ce parasite détruit la cellule et s'en échappe sous forme d'un long filament de 60 à 400 nouveaux parasites.

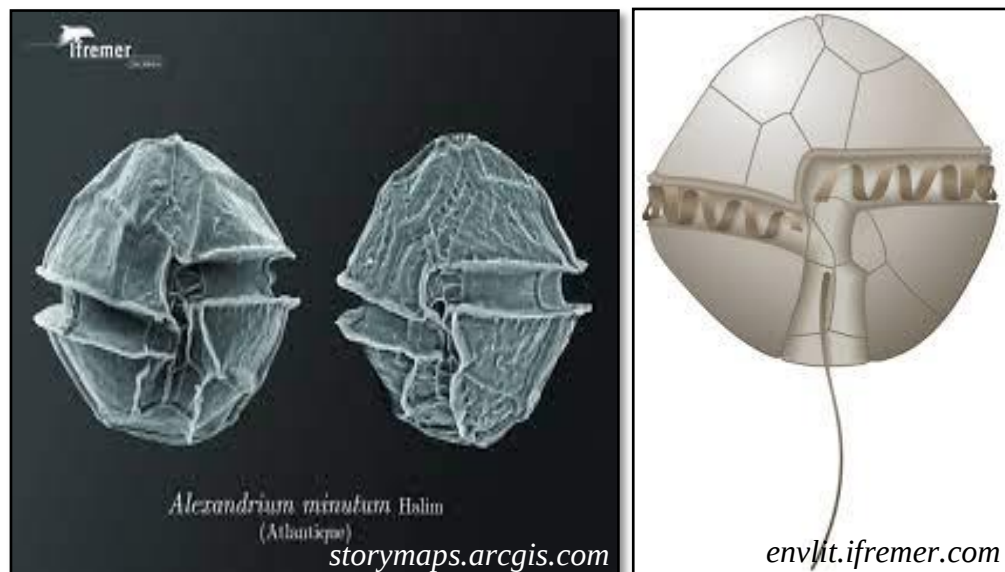


Fig. 17 : Photo d'un dinoflagellé *Alexandrium minutum*.

6.3.5. Les raisons de ces efflorescences :

Les facteurs environnementaux jouent sur la prolifération des algues et des maladies qu'elles peuvent engendrer. Parmi ces facteurs, on trouve les changements climatiques globaux qui induisent une modification de la température des eaux marines, les concentrations en nutriments, la salinité, les rayonnements solaires et les concentrations en éléments chimiques. Selon certains auteurs, l'homme aurait également sa part de responsabilité dans les changements de l'écosystème marin :

- Par l'enrichissement en nutriment par les déversements des eaux souillées.
- Par le dragage des récifs dans le cadre d'aménagements côtiers.

➤ Et par l'importation de nouvelles espèces d'algues transportées à l'état de kyste dans les ballastes des bateaux. C'est également de cette manière que de nouvelles espèces de macroalgues envahissent de façons inappropriées certains fonds océaniques et appauvrissent la biodiversité (70% des algues voyagent sur les coques des bateaux, 10% sont embarquées dans les eaux de ballast et 20% sont introduites lors des essais d'acclimatation de nouvelles espèces aquacoles (huitres, moules, pétoncles, coquille Saint-Jacques...)).

Ces algues ont de tout temps, vadrouillé dans le monde, mais l'activité humaine accélère cette dynamique. Quant aux microalgues, notamment les dinoflagellés, leur croissance dépend de la température, de la salinité, de la turbidité, de la lumière et de l'oxygène. Les stress, les fluctuations en nutriments, les pertes de filtres naturels, la diminution des prédateurs, le réchauffement et les climats extrêmes, ainsi que l'introduction de nouvelles espèces dans 110 les zones naturellement exemptés, peuvent contribuer à l'augmentation, en terme de fréquence, magnitude et persistance des efflorescences d'algues. « Les dernières décennies les épisodes toxiques ont augmenté en fréquence, intensité et extension géographique ». Cependant, il faut tenir compte que l'évolution des efflorescences observées peut être le fait soit d'une réelle augmentation soit d'une meilleure détection de ces événements.

6.4. Les limites des mécanismes auto-épurateurs :

6.4.1. Définition :

Une autoépuration est un processus biologique reposant essentiellement sur des micro-organismes, et permettant à un milieu aquatique pollué par des substances organiques de retrouver, sans intervention extérieure, son état originel. On trouve également l'orthographe : **autoépuration.**

C'est donc l'ensemble des processus biologiques, chimiques ou physiques permettant à un écosystème (rivière, lac, mer et océan...), y compris des mésocosmes (aquarium, étang) de

transformer lui-même des substances le plus souvent organiques qu'il produit ou qui lui sont apportées de l'extérieur.

Les organismes vivant dans les milieux aquatiques jouent dans ce processus un rôle important (bactéries, protozoaires, algues, poissons...). L'autoépuration est limitée : si les rejets concentrés de matières organiques dépassent un certain seuil, la capacité d'autoépuration naturelle est dépassée et la pollution persiste. Par ailleurs, la présence de substances toxiques peut inhiber le phénomène d'autoépuration.

Il faut distinguer l'autoépuration vraie (élimination de la pollution - phénomène rare) de l'autoépuration apparente (transformation, transfert). Les organismes vivants (bactéries, champignons, algues) jouent un rôle essentiel dans ce processus. La température et le temps de séjour augmente l'efficacité de l'autoépuration.

6.4.2. Conditions et limites :

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'inertes ou stockés dans les sédiments où ils peuvent être remobilisés.

CONSÉQUENCES

DE LA

POLLUTION SUR

L'HOMME ET LE

MILIEU

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

7.1. Qualité des eaux de baignade :

Le contrôle sanitaire des eaux de baignade en mer et en eaux douces fréquentées par le public est réalisé par les services du ministère chargé de la santé (ARS). Ce contrôle porte principalement sur la qualité microbiologique des eaux de baignade, afin de prévenir les risques sanitaires qui leur sont associés (**voir cours 5, titre 5.3.3**).

7.2. Fixation et concentration des polluants par les organismes :

La biodisponibilité désigne « la fraction de produit chimique présent dans le milieu environnemental qui est disponible pour être accumulée par les organismes ». Une fraction significative de polluant chimique introduit dans le milieu pourra être transférée dans le compartiment biologique et ainsi circuler dans les réseaux trophiques.

Les principales voies d'entrée du polluant dans les organismes sont les suivantes :

- Respiratoire.
- Transtégumentaire (ou cutanée).
- Trophique (alimentation, très importante).

7.3. Transmission dans les chaînes biologiques :

- **Sur le milieu :**

Les conséquences écologiques de la pollution des ressources en eau se traduisent principalement sur la dégradation des écosystèmes aquatiques.

Comme tout milieu naturel, un écosystème aquatique dispose d'une capacité propre à éliminer la pollution qu'il reçoit : c'est sa capacité « d'autoépuration ». Cependant, lorsque l'apport de substances indésirables est trop important que cette capacité épuratoire est saturée, les conséquences écologiques peuvent être de différente nature.

Ainsi, un apport accidentel massif de substances toxiques peut provoquer une catastrophe écologique spectaculaire au niveau de la faune aquatique. Mais les spécificités des milieux aquatiques engendrent des effets de pollution particuliers.

Tous d'abord, l'eau a pour propriété de dissoudre la plupart des substances minérales ou organiques. De plus, elle met en suspension les matières insolubles. En conséquence, tout polluant de l'eau peut se retrouver très loin en aval du lieu de contamination.

Par ailleurs, les gaz sont peu solubles dans l'eau. Les milieux aquatiques sont donc naturellement pauvres en oxygène dissous, élément indispensable à la respiration de la faune aquatique. Or, La dégradation (l'élimination) par le milieu des pollutions organiques est fortement consommatrice d'oxygène, plus la pollution organique est forte, plus le milieu concerné s'appauvrit en oxygène. Ce phénomène peut aller jusqu'à l'anoxie de l'eau (absence d'oxygène) avec des conséquences très graves pour la faune.

La bio-accumulation c'est le processus par lequel certaines substances endogène (microbes causant l'infection qui étaient déjà présents dans l'organisme sous une forme inoffensive) ou exogènes (microbes qui causent l'infection proviennent du milieu externe), présentes en faible quantité, voient leur concentration augmenter dans un organe, un organisme, une chaîne alimentaire, un écosystème.

Enfin les variations de température naturelles des milieux aquatiques sont d'une amplitude beaucoup plus faible que celle des milieux terrestres. Les organismes aquatiques sont donc nettement plus sensibles aux changements de température, même faibles. De ce fait,

ils sont particulièrement exposés lorsqu'ils sont soumis à une « pollution thermique » (rejet d'eaux chaudes dans le milieu).

➤ **Sur la santé :**

Nous sommes constitués d'eau à 60% et nous avons besoin tous les jours d'une quantité moyenne d'1,5 litres d'eau, la qualité de l'eau revêt donc pour les hommes une importance vitale.

Parmi les principaux polluants de l'eau, citons l'azote (nitrates et phosphates), les pesticides, les hydrocarbures du fait de marées noires notamment, les bactéries provenant des excréments animaux ou humains, les métaux lourds, les déchets plastiques et les résidus médicamenteux.

L'ingestion d'une eau infectée peut entraîner des épidémies de gastro-entérites et des diarrhées mortelles chez l'enfant, très rares en France cependant, des cas de saturnisme peuvent résulter d'une contamination de l'eau par le plomb issu des canalisations. Les effets cancérogènes de l'azote et de métaux susceptibles de polluer l'eau (nickel, arsenic et chrome) sont par ailleurs prouvés. Enfin, la pollution de l'eau par les perturbateurs endocriniens, que constituent certains résidus médicamenteux et pesticides notamment, pourrait s'avérer préoccupante pour le développement et la reproduction.

De plus une étude scientifique menée par l'Université d'Aston en Angleterre, et soutenue par les ONG Générations Futures des Antidote Europe, démontre les effets néfastes de mélanges de certains pesticides couramment utilisés.



RÉFÉRENCES

OUVRAGES CONSULTÉS

A

Agence Française De Sécurité Sanitaire De L'environnement et du Travail (AFSSET).

2007. dans son rapport intitulé «Valeurs seuils échantillon unique pour les eaux de baignade : étude de faisabilité méthodologique ».

American Public Health Association, 1975. Standards Methods for Examination of water and sewage. 14th edition. 1193p.

Amiard J. C., Amiard T., 2008. Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques. Ed. Tec & Doc. 375p.

Andre M., Olivier D., Pruvost C., 1995. Impact de l'amélioration de la régulation du trafic sur la consommation d'énergie et les émissions de polluants des véhicules légers ; Science of The Total Environment, Volume 169, Issues 1-3, pages 273-282.

Andre P., Delisle C.E. & Reveret J.P., 2003. L'évaluation des impacts sur l'environnement. Processus, acteurs et pratique pour un développement durable. Presses internationales polytechniques. 519p.

B

Barbault R., 1997. Ecologie générale, 4ième édition, Structure et fonctionnement de la biosphère, Ed : Masson. Paris.

Barbault R., 1997. Biodiversité. Collection les Fondamentaux. Hachette livre, Paris. 159p.

Barbault R., 2000. Ecologie générale. Structure et fonctionnement de la biosphère (5ème édition). Ed : Dunod. Paris. 326p

Blake G. & Dubois J.P., 1983. L'épuration des eaux par les plantes aquatiques. Diffusion : Lavoisier Tec et Doc. 103p.

C

Castellanet R., 2004. Conservation de la nature et développement. Ed : Karthala. 310p.

Chateau-Degat M. L. 2003. Les toxines marines : problèmes de santé en émergence ». Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]. n°Volume 4 Numéro 1,. Disponible sur : < <http://vertigo.revues.org/4698> >.

Chatzis K., 2000. La Pluie, le métro et l'ingénieur : contribution à l'histoire de l'assainissement et des transports urbains, Paris : L'Harmattan.

Crittenden J.C., Trussell R.R, Hand D.W., Howe K.J. & Tchobanoglous G. 2005. Water Treatment: Principles and Design. John Wiley & Sons, 2^{ème} édition, ISBN 0-471-11018-3.

D

Dajoz R., 2003. Précis d'Ecologie (7ème édition). Dunod. Paris. 615p. (4ème édition : 1982, Gauthier-Villars Paris. 503p ; 5ème édition : Dunod. 1985. 358p.

Degobert P., 1992. Automobile et pollution ; Ed : Technip, Paris, 1992, ISBN 2-7108-0628-2.

Desjardins R., 1990. Le traitement des eaux. 2è éd. Revue. Edition : Ecole polytechnique de Montréal. 304p.

Dubreuil, J. (2001) : Réflexion sur la notion d'indicateur de risques sanitaires liés au rejet d'eaux usées en milieu littoral ; mémoire de fin d'études ENSP ; 90p.

E

- Eckenfelder W. W., 1982.** Gestion des eaux usées urbaines et industrielles : caractérisation, techniques d'épuration, aspects économiques. Edition : Lavoisier Tec et Doc. 503p.
- Edeline F., 1992.** L'épuration physico-chimique des eaux : théorie & technologie. (2^{ème} édition) ; Ed : CEBEDOC sprl, Liège. 283p.

F

- Faller H. 2011.** Les applications de la toxicité des algues marines. Thèse pour le diplôme d'état en pharmacie. Université de Limoge, France. 132p.
- Faurie C., Ferra C., Medori P., 1978.** Ecologie. J. B Baillière. Paris. 146p.
- Faurie C., Ferra C., Medori P., Devaux J. & Hemptienne J. L. 2003.** Ecologie. Approche scientifique et pratique. 5^{ème} édition. Edition : Tec & Doc. 407p.
- Figarella J., Leyral G. & Terret M., 2004.** Microbiologie générale et appliquée. Edition : J. LANORE – Collection Sciences et Techniques Biologiques. 285p.

H

- Harremoes H. & Arvin L. C. J., 1995.** Wastewater Treatment : Biological and chemical processes, second edition.
- Hart T. & Shearrrs P., 1997.** Atlas de poche de microbiologie. Ed : Flammarion. 314p.
- Hedin L. & Likens G., 1997.** Poussières atmosphériques et pluies acides. Pour la science n° 232.

I

IFREMER. 2011. Guide d'information Complexe des toxines lipophiles : diarrhéiques (DSP) et associées ». [s.l.] : [s.n.], [s.d.]. Disponible sur : < http://envlit.ifremer.fr/content/download/27373/222270/version/1/file/guide_dsp_2006.pdf >.

L

Lacaze J. C., 1996. L'eutrophisation des eaux marines et continentales. Ellipses édition. 199p.

Leclerc V., Floc'h J.Y. 2010. Les secrets des algues. [s.l.] : [s.n.], 2010. (Carnets de sciences, ISSN 2110-2228).

Levesque L., 1975. Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales : l'aluminium, fer, manganèse, molybdène, vanadium, titane. Synthèse bibliographique. Diffusion : Lavoisier Tec et Doc. 139p.

Levesque L., 1978. Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales : le zinc et le cadmium, synthèse bibliographique. Rapport N°4. Office international de l'eau. Diffusion : Lavoisier Tec et Doc. 109p.

Levesque L., 1978. Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales : le fluor, le chlore, le brome et l'iode. Rapport N°5. Office international de l'eau. Diffusion : Lavoisier Tec et Doc. 125p.

Levesque L., 1979. Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales : le chrome, le cuivre, le nickel. Synthèse bibliographique. Diffusion : Lavoisier Tec et Doc. 198p.

M

Marcaillout-Le Baut C. 2006. Les toxines des micro-algues marines ». [s.l.] : [s.n.], [s.d.].

Disponible sur : < <http://archimer.ifremer.fr/doc/2006/publication-2323.pdf> >

(consulté le 26 septembre 2011)

Morel M., Andral B., Berthome J. P. & Joanny M., 1999. Surveillance de la qualité de l'environnement littoral. Proposition pour une meilleure coordination des réseaux. Ed : Ifremer. 36p.

P

Pelmont J., 2005. Biodégradation et métabolismes. Les bactéries pour les technologies de l'environnement. 1ère édition. Ed : EDP Sciences. 798p.

Pesson P., Leynard G., Verrel J.L, Trocherie F., Riviere J., Cabridenc R., Bovard P., Barron G., Angli N., Descry J.P., Empain A., Lambinon J., 1980. La pollution des eaux continentales, incidences sur les biocénoses aquatiques. 2è éd- Ed : Gauthier-Villars. 345p.

Pietrasanta Y. & Bondon D., 1994. *Le Lagunage écologique*, Economica, Paris, (ISBN 2-7178-2636-X)

Piquet J.C., Fillon A., Thomas G., 2011. Caractérisation de la contamination microbiologique d'origine fécale de l'estuaire de la Seudre en période sèche ; Ifremer et Région Poitou-Charente ; 61p.

R

- Ramade F., 1997.** Conservation des écosystèmes méditerranéens. Enjeux et prospective. Ed : Economica. 189p.
- Ramade F., 1998.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Publication Ediscience international ; Paris.
- Ramade F., 2003.** Eléments d'écologie : écologie fondamentale (3ème édition : Dunod. Paris 690p ; 2ème édition : 1994. Mac GrawHill/Ediscience internationale. Paris).
- Ramade F., 2004.** Eléments d'écologie : écologie appliquée (6ème édition : Dunod. Paris ; 5ème édition : 1995. Mac GrawHill/Ediscience internationale. Paris. 632p.
- Ricklefs R. E. & Miller L., 2005.** Ecologie. Edition: de Boeck. 821p.
- Rougon, D., Rougon, C., Trichet, J. et Levieux, J. 1988.** Enrichissement en matière organique d'un sol sahélien au Niger par les insectes coprophages (Coleoptera, Scarabaeidae). Implications agronomiques, *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*, 1988, 25(4), 413-434.

S

- Servais P., Prévost M., Laurent P., Joret J.C., Summers S., Hamsch B. and Ventresque C. (2005).** Chapter 3 : Biodegradable organic matter in drinking water treatment. In Biodegradable Organic Matter in Drinking Water Treatment and Distribution. AWWA. ISBN 1-58321-367-8.

Ouvrages consultés

V

Vaillant J. R., 1974. Perfectionnements et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires.

Editions Eyrolles. 413p.

Sites web consultés

- [www.http //lavallab.com](http://lavallab.com)
- [www.http //consoglobe.com](http://consoglobe.com)
- [www.http // planet-vie.ens.fr](http://planet-vie.ens.fr)
- [www.http // aquaportail.com](http://aquaportail.com)
- [www.http // culturesciences.chimie.ens.fr](http://culturesciences.chimie.ens.fr)
- [www.http // dutscher.com](http://dutscher.com)
- [www.http // inpn.mnhn.fr](http://inpn.mnhn.fr)
- [www.http // sciencesphoto.com](http://sciencesphoto.com)
- [www.http // fitopasion.com](http://fitopasion.com)
- [www.http // microbewiki.kenyon.edu](http://microbewiki.kenyon.edu)
- [www.http // caribbeannationalweekly.com](http://caribbeannationalweekly.com)
- [www.http // storymaps.arcgis](http://storymaps.arcgis)
- [www.http // envlit.ifremer.com](http://envlit.ifremer.com)
- [www.http // fr.dreamstime.com](http://fr.dreamstime.com)
- [www.http // comitemeac.com](http://comitemeac.com)
- [www.http // futura-sciences.com](http://futura-sciences.com)
- [www.http // strinfixer.com](http://strinfixer.com)
- [http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php?title=Germe_t%C3%A9moin_\(de_contamination_f%C3%A9cale\)__\(HU\)&action=edit](http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php?title=Germe_t%C3%A9moin_(de_contamination_f%C3%A9cale)__(HU)&action=edit)
- <https://documentation.ehesp.fr/memoires/2001/igs/dubreil.pdf>



GLOSSAIRE

GLOSSAIRE DES TERMES TECHNIQUES

A

- ✚ **Abiotique** : Qui ne vit pas ou n'est pas approprié pour la vie.
- ✚ **Acidité** : Un des paramètres caractérisant une eau. Elle correspond à sa richesse en ions hydrogène (voir également pH).
- ✚ **Adsorption** : En chimie, l'adsorption est un phénomène de surface par lequel des atomes, des ions ou des molécules se fixent sur une surface solide depuis une phase gazeuse, liquide ou une solution solide. Dans le cas d'un atome adsorbé, on parle d'adatome.
- ✚ **Aérobic** : Processus qui exige de l'oxygène. Un organisme aérobic ne peut pas vivre sans oxygène. Le terme opposé est anaérobic.
- ✚ **Affluent** : Se dit d'un cours d'eau qui rejoint un autre cours d'eau, généralement plus important, en un lieu appelé confluence.
- ✚ **Afflux** : Phénomène suivant lequel les eaux océaniques du large sont poussées vers la côte, généralement en raison de vents forts et s'accumulent dans les rentrants du rivage, y provoquant une élévation exceptionnelle du niveau de la mer (Ifremer).
- ✚ **Agglomération** : Agglomération d'assainissement, au sens technique du terme, zone urbanisée équipée d'un système d'assainissement collectif constitué d'un ou de plusieurs réseaux de collecte des eaux usées (égouts) et d'une ou plusieurs stations d'épuration, formant un ensemble cohérent. Au sens de la directive Eaux Résiduaires Urbaines (ERU), zone dans laquelle la population et/ou les activités économiques sont suffisamment concentrées pour qu'il soit possible de collecter les eaux

résiduaire urbaine pour les acheminer vers un système de traitement des eaux usées ou un point de rejet final. Le code général des collectivités territoriales prévoit de désigner une telle agglomération sous la dénomination d'agglomération d'assainissement.

-  **Agriculture** : Activité ayant pour objet principalement la culture des terres en vue de la production des végétaux utiles à l'homme et à l'élevage des animaux ainsi que l'ensemble des moyens nécessaires à cette production.
-  **Algologie** : Les Algues, dont l'étude constitue l'**Algologie**, ou mieux la Phycologie (...) peuvent être définies des Thallophytes pourvus de chlorophylle (encyclopédie de la Pléiade).
-  **Algoculture** : au sens commun, culture d'algues (micro ou macroalgues) destinée potentiellement à la production d'aliments (pour l'homme ou l'animal), de compléments alimentaires, de fertilisants ou d'autres produits.
-  **Algue** : Végétal chlorophyllien aquatique ou des milieux humides, n'ayant ni feuilles, ni racines, ni vaisseaux, ni fleurs, ni graines, tel que le fucus ou la spirogyre. Les algues forment un embranchement du règne végétal. AU sens technique, végétaux aquatiques chlorophylliens représentés soit par des organismes unicellulaires (algues phytoplanctoniques) soit par des organismes pluricellulaires, souvent de grande taille (cas des Fucus, des Laminaires et des Macrocystis par exemple), pourvues de cystes qui interviennent dans leurs divers processus reproducteurs. Au plan morphologique, on distingue les micro-algues, unicellulaires, isolées ou parfois groupées en colonies (filamenteuses ou non) et les macro-algues aussi dénommées algues macrophytiques ou macrophytes.
-  **Alluvion** : Ensemble des matériaux (galet, gravillons, sables) apportés et déposés par les eaux courantes, spécialement lors de crues, dans les plaines d'inondation.

- ✚ **Altération** : Modification de l'état d'un milieu aquatique ou d'un hydrosystème, allant dans le sens d'une dégradation. Les altérations se définissent par leur nature (physique, ionique, organique, toxique, bactériologique,...) et leur effet (eutrophisation, asphyxie, empoisonnement, modification des peuplements,...). Le plus souvent ces altérations sont dues aux activités humaines, mais elles peuvent aussi être d'origine naturelle.
- ✚ **Amalgame dentaire** : plombage.
- ✚ **Ammonification** : Seconde phase de la minéralisation bactérienne des débris organiques du sol, transformant les acides aminés (qui proviennent de la dégradation des protéines) en sels ammoniacaux aptes à subir la nitrification. (l'ammonification est donc une phase importante du cycle biochimique de l'azote.)
- ✚ **Analyse** : Examen méthodique permettant à la fois d'identifier et de quantifier les différents composants d'une eau, mais aussi d'évaluer ses caractéristiques et son état, au regard de critères spécifiques. Cet examen repose sur le suivi de protocoles précis, adaptés aux différents paramètres contrôlés.
- ✚ **Anthropique** : Relatif à l'activité humaine. Qualifie tout effet provoqué directement ou indirectement par l'action de l'homme.
- ✚ **Anthropisation** : Processus par lequel les populations humaines modifient et transforment l'environnement naturel (déforestation, élevage, urbanisation, activités industrielles, etc. figurent parmi les principaux facteurs d'anthropisation).
- ✚ **Anaérobie** : Processus qui n'exige pas d'oxygène. Un organisme anaérobie peut vivre sans oxygène. Le terme opposé est aérobie.
- ✚ **Alcalin** : Composé qui libère des ions d'hydroxyle (OH). Il est également appliqué aux solutions avec un pH > à 7.0.

- ✚ **Alcalinité** : Capacité d'une eau donnée de neutraliser des acides qui ont été ajoutés. Ce phénomène est lié à la présence de carbonates, de bicarbonates et d'hydroxydes. L'alcalinité totale est exprimée en mg/l de CaCO_3 .
- ✚ **Alcaloïdes** : ont une puissante action toxique thérapeutique (caféine, morphine,...).
- ✚ **Amont** : à comprendre selon la direction d'écoulement des cours d'eau. La partie du cours d'eau située entre le point duquel on se place et la source du cours d'eau. C'est la partie du cours d'eau qui est avant un certain point. Aller en amont d'un cours d'eau signifie donc se diriger dans la direction de la source d'un cours d'eau. Par métaphore, « être en amont de quelque chose » signifie être avant quelque chose, être plus près de l'origine de quelque chose.
- ✚ **Anoxie** : Déficience ou absence d'oxygène dissous dans une solution d'eau.
- ✚ **Argile** : L'argile est une matière rocheuse naturelle à base de silicates ou d'aluminosilicates hydratés de structure lamellaire, provenant en général de l'altération de silicates à charpente tridimensionnelle, tels que les feldspaths.
- ✚ **Asphyxie** : est un terme médical signifiant l'arrêt plus ou moins long de la circulation d'oxygène dans le corps. L'asphyxie de l'humain est une urgence médicale. Sans action extérieure, l'asphyxie mène rapidement à l'inconscience puis à la mort. Une asphyxie prolongée peut également entraîner des séquelles au cerveau.
- ✚ **Assainissement** : Ensemble des techniques de collecte, de transport et de traitement des eaux usées et pluviales d'une agglomération (assainissement collectif) ou d'une parcelle privée (assainissement non collectif) avant leur rejet dans le milieu naturel. L'élimination des boues issues des dispositifs de traitement fait partie de l'assainissement.
- ✚ **Auto-épuration** : Ensemble des processus biologiques, chimiques ou physiques permettant à un écosystème (cours d'eau, plans d'eau, mer et océan...) de transformer

lui-même les substances le plus souvent organiques qu'il produit ou qui lui sont apportées de l'extérieur. Les organismes vivant dans les milieux aquatiques jouent dans ce processus un rôle important (bactéries, protozoaires, algues, poissons...). L'auto-épuration est limitée : Si les rejets concentrés de matières organiques dépassent un certain seuil, la capacité d'auto-épuration naturelle est dépassée et la pollution persiste. Par ailleurs, la présence de substances toxiques peut inhiber le phénomène d'auto-épuration.

✚ **Aval** : « en aval » : partie d'un cours d'eau plus basse par rapport à un observateur ; partie d'un cours d'eau proche de son embouchure. L'eau coule d'amont en aval.

B

✚ **Bactéries** : Organisme microscopique, sans noyau, généralement unicellulaire, procaryote, qui se multiplie par division simple. classé soit en règne autonome, ni animal, ni végétal, soit classé avec les Champignons en tant que Schizomycetes. Leur forme est hautement variable, pouvant vivre en saprophytes (sol, eau, organisme vivant), ou comme parasite de l'homme, des animaux et des plantes.

✚ **Baignade** : Action d'aller se baigner, c'est-à-dire de s'immerger dans l'eau, même sans y nager. Les « zones de baignade » sont surveillées par les Directions départementales chargées de la santé publique. En droit communautaire (et français), elles sont considérées comme « eaux de baignade ».

✚ **Benzène** : famille des hydrocarbures, liquide incolore, inflammable, dissolvant les corps gras (teinte), extrait du goudron d'houille.

✚ **Bétoire** : dans une zone calcaire, où les cours d'eau s'égarent.

- ✚ **Biomasse** : Masse de la matière vivante (animale et végétale) se trouvant dans un écosystème.
- ✚ **Bio-accumulation** : est l'accumulation progressive d'une substance spécifique dans le corps d'un organisme vivant. Les substances bioaccumulatives sont généralement solubles dans les matières grasses et ne se décomposent pas dans l'organisme.
- ✚ **Bio-amplification** : Augmentation à chaque niveau trophique (de la chaîne alimentaire) des concentrations des substances chimiques concentrées dans les tissus (p. ex., les concentrations relatives à la substance sont plus élevées dans les organismes que dans leurs source d'alimentation).
- ✚ **Biocide** : Tout produit de synthèse toxique pour certains êtres vivants, ou qui est destiné à lutter contre certaines sortes de pourrissures.
- ✚ **Biodégradabilité** : Capacité des substances à être décomposées par des organismes vivants en composés inorganiques.
- ✚ **Biofiltration** : Technique biologique utilisé pour le traitement des eaux polluées. Ce procédé consiste à forcer le passage des eaux polluées au travers d'un biofiltre, matériau granulaire sur lequel sont fixés des micro-organismes épurateurs.
- ✚ **Bio-indicateurs** : Espèce vivante qui, par sa présence ou son absence, son abondance ou sa rareté, permet d'apprécier le degré de pollution de l'eau ou de l'air. (les lichens pour l'atmosphère, les salmonidés pour les cours d'eau sont d'excellents bio-indicateurs.)
- ✚ **Bloom algal** : Phénomène de prolifération exceptionnelle d'algues.
- ✚ **Branchie** : Organe permettant aux animaux aquatiques de de capter l'oxygène dissout dans l'eau.

C

- ✚ **Cancérogène** : Un cancérogène, cancérigène, ou encore carcinogène, est un facteur provoquant, aggravant ou favorisant l'apparition d'un cancer. Cela peut être un produit chimique simple ou complexe, une exposition professionnelle, des facteurs de risque liés au mode de vie ou encore des agents physiques et biologiques.
- ✚ **Cannibalisme** : est une pratique qui consiste à consommer un individu de sa propre espèce. L'expression s'applique à la fois aux animaux qui dévorent des membres de leur groupe et aux êtres humains qui consomment de la chair humaine.
- ✚ **Chaine alimentaire** : est un réseau linéaire de maillons dans un réseau trophique partant d'organismes producteurs et se terminant au sommet d'une espèce prédatrice, détritivore ou décomposeuse.
- ✚ **Chaine trophique** : correspond à une chaine alimentaire dont chaque flèche signifie « est mangé par ». Plus un organisme est bas dans une chaine trophique, plus sa productivité est élevée et plus son cout en énergie est faible. Autrement dit c'est un ensemble des relations qui s'établissent entre des organismes en fonction de la façon dont ceux-ci se nourrissent. Comprend des producteurs (algues, par exemple), des consommateurs primaires (herbivores), des consommateurs secondaires (carnivores) et des décomposeurs (ou détritivores). Les polluants qui ne se dégradent pas ou peu vont se concentrer au sommet de la chaîne trophique, chez les prédateurs.
- ✚ **Ciguatera** : est une des principales formes d'intoxication alimentaire due à la consommation de chair de poissons, contaminés dans ce cas par une microalgue des récifs coralliens nommée *Gambierdiscus toxicus*. Celle-ci se développe dans le squelette de coraux morts, ingéré ensuite par les poissons.

- ✚ **Cognitive** : Qui concerne l'acquisition des connaissances. Sciences cognitives (psychologie, linguistique, logique, informatique...).
- ✚ **Cognition** : La cognition est l'ensemble des processus mentaux qui se rapportent à la fonction de connaissance et mettent en jeu la mémoire, le langage, le raisonnement, l'apprentissage, l'intelligence, la résolution de problèmes, la prise de décision, la perception ou l'attention.
- ✚ **Coliphages** : est un type de bactériophage qui infecte les bactéries coliformes telles que *Escherichia coli*. Les exemples incluent le bactériophage lambda et les léviviridae.
- ✚ **Colloïdale, colloïde** : est une suspension d'une ou plusieurs substances dispersées régulièrement dans un liquide, formant un système à deux phases séparées. Il s'agit d'une dispersion homogène de particules dont les dimensions vont du nanomètre au micromètre.
- ✚ **Colmatage** : Le colmatage est le phénomène par lequel un système poreux ou filtrant se retrouve obstrué, bouché, jointés, empêchant le passage du fluide qui pouvait le traverser. Il est par exemple question de colmatage pour les lits des cours d'eau lentiques ou pour décrire l'évolution d'un système percolant.
- ✚ **Colorimétrie** : est la discipline psychophysique qui se donne pour objectif la mesure de la couleur. ... En **chimie**, la **colorimétrie** est une méthode de dosage des solutions par mesure de l'absorption d'une lumière calibrée à travers une éprouvette.
- ✚ **Coprophages** : consiste à consommer des matières fécales. Ce comportement est un mode d'alimentation normal, plus ou moins complémentaire, pour de nombreux animaux.
- ✚ **Coprostanol** : Le 5 β -coprostanol est un stanol à 27 atomes de carbone formé par la biohydrogénation du cholestérol dans l'intestin de la plupart des animaux et des oiseaux

supérieurs. Ce composé a fréquemment été utilisé comme biomarqueur pour la présence de matières fécales humaines dans l'environnement.

- ✚ **Croûte terrestre** : La croûte terrestre, appelée aussi écorce terrestre, est la partie superficielle et solide du matériau dont est faite la Terre. C'est la partie supérieure de la lithosphère. La limite entre la croûte terrestre et le manteau supérieur est la discontinuité de Mohorovicic.

D

- ✚ **Déchet** : Matériaux rejetés comme n'ayant pas une valeur immédiate ou laissés comme résidus d'un processus ou d'une opération.
- ✚ **Décomposeurs** : Les décomposeurs sont (dans le réseau trophique) les êtres vivants participant directement à la décomposition de la matière organique morte ou des excréments ou excréments d'êtres vivants. Ils jouent un rôle majeur, nécessaire au recyclage des éléments qui composent la matière organique.
- ✚ **Déminéralisation** : Action visant à éliminer les minéraux et les sels contenus dans l'eau, afin de produire de l'eau déminéralisée.
- ✚ **Dépollution** : Opération consistant à traiter, partiellement ou totalement, un milieu pollué (sol, eaux, air) pour en supprimant ou en diminuant fortement le caractère polluant, dans le but de restaurer ses fonctions et le remettre en état pour un usage.
- ✚ **Détersif** : Qui nettoie, en dissolvant les impuretés. Produit détersif (savon, lessive, etc.).
- ✚ **Détersion** : Action de nettoyer avec un détersif.
- ✚ **Dieldrine** : insecticides organochloré, utilisé comme alternative au DDT. Puis il a été découvert qu'il est très toxique et très persistant dans le milieu naturel.

- + **Dioxine** : sous-produit d'un dérivé du phénol, très toxique (polluant l'air).
- + **Dystrophie** : Affection résultant de troubles nutritionnels d'une cellule, d'un organe, d'un système organique, se traduisant généralement par une altération morphologique de l'élément atteint.

E

- + **Eau de refroidissement** : Eaux utilisées pour absorber et transférer la chaleur. On distingue habituellement deux catégories d'eaux de refroidissement : celles qui servent à la production d'électricité dans les centrales thermiques et celles qui sont utilisées dans d'autres processus industriels.
- + **Eaux usées** : Eaux ayant été utilisées par l'homme. On distingue généralement les eaux usées d'origine domestique, industrielle ou agricole. Ces eaux sont rejetées dans le milieu naturel directement ou par l'intermédiaire de système de collecte avec ou sans traitement. On parle également d'eaux résiduelles.
- + **Ecosystème** : En écologie, un écosystème est un ensemble formé par une communauté d'êtres vivants en interrelation avec son environnement. Les composants de l'écosystème développent un dense réseau de dépendances, d'échanges d'énergie, d'information et de matière permettant le maintien et le développement de la vie (Wikipédia).
- + **Ecosystème aquatique** : Ecosystème spécifique des milieux aquatiques décrit généralement par : les êtres vivants qui en font partie, la nature du lit et des berges, les caractéristiques du bassin versant, le régime hydraulique, et les propriétés physico-chimiques de l'eau.

- ✚ **Ecotoxicité** : Capacité d'une substance, du fait de sa toxicité, de produire des effets nuisibles ou incommodants pour des microorganismes, des animaux, des plantes, ou pour l'homme par le biais de l'environnement.
- ✚ **Ecotoxicologie** : Science qui étudie l'impact des substances chimiques sur les écosystèmes. Elle prend en compte d'une part le devenir des substances dans l'environnement (phénomènes de dégradation biotique et abiotique) et d'autre part les effets toxiques ou l'écotoxicité des substances, et les mécanismes par lesquels s'effectue la pollution de la biosphère.
- ✚ **Écoulement hypodermique** et **écoulement** de subsurface désignent l'ensemble des **écoulements** situés dans les horizons de surface partiellement ou totalement saturés en eau, c'est-à-dire sous la surface du sol mais au-dessus des nappes phréatiques permanentes.
- ✚ **Effet de serre** : est un processus naturel résultant de l'influence de l'atmosphère sur les différents flux thermiques contribuant aux températures au sol d'une planète. La prise en compte de ce mécanisme est nécessaire pour expliquer les températures observées à la surface de la Terre.
- ✚ **Élution** : ou désorption consiste à extraire le soluté adsorbé à l'aide d'un solvant appelé **éluant**.
- ✚ **Epandage** : L'épandage est une technique agricole consistant à répandre divers produits sur des zones cultivées, forêts, voies ferrées, marais.
- ✚ **Épibatidine** : ou cocaïne, extraite des feuilles de coca. Psychotrope et puissant stimulant du système nerveux, utilisé comme stupéfiant ou en médecine comme anesthésie.
- ✚ **ETM** : éléments traces métalliques.
- ✚ **Étain** : métal qui s'effrite à très basse température.

- ✚ **Eutrophe** : Se dit d'un écosystème aquatique riche en éléments minéraux nutritifs et en matière organique, dont la production biologique et la biomasse sont élevées.

F

- ✚ **Flavonoïdes** : métabolites secondaire des plantes (raisin, oignon, thé,...). C'est des anti-oxydants.
- ✚ **Floculation organique** : est le processus physico-chimique au cours duquel des matières en suspension dans un liquide s'agglomèrent pour former des particules plus grosses, généralement très poreuses, nommées floccs. Les floccs sédimentent généralement beaucoup plus rapidement que les particules primaires dont ils sont formés.
- ✚ **Fongicides** : produits qui détruit les champignons parasites.

H

- ✚ **Hypertrophe** : Développement excessif, exagéré de quelque chose.

I

- ✚ **Incinération** : L'incinération des déchets est une technique de transformation par l'action du feu. Incinérer signifie « réduire en cendres » ou, dit autrement, qu'on brûle complètement les matières à incinérer.

L

- ✚ **Lessivage** : Le lessivage est le transport d'éléments par l'eau de pluie en direction de la nappe phréatique. On parle de lessivage des substances phytosanitaires, de lessivage des constituants du sol, etc.
- ✚ **Limon** : En géologie et en pédologie, un limon est une formation sédimentaire dont les grains sont de taille intermédiaire entre les argiles et les sables c'est-à-dire entre 2 et 63 micromètres. Un dépôt majoritairement limoneux peut être qualifié de limon.

M

- ✚ **Macropolluant** : Ensemble comprenant les matières en suspension, les matières organiques et les nutriments, comme l'azote et le phosphore. Les macropolluants peuvent être présents naturellement dans l'eau, mais les activités humaines en accroissent les concentrations (rejets d'eaux usées, industrielles ou domestiques, ou pratiques agricoles). Par opposition aux micropolluants, toxiques à très faibles doses, l'impact des macropolluants est visible à des concentrations plus élevées.
- ✚ **Mésotrophe** : Un milieu mésotrophe est un milieu moyennement riche en nutriments. Il se situe entre les milieux oligotrophe et eutrophe.
- ✚ **Métalloïdes** : des éléments chimiques dont les propriétés sont entre celles des métaux et non-métaux (Bore : B₅ ; Silicium : Si₁₄ ; l'Arsenic : As₃₃ ;.....).
- ✚ **Métaux lourds** : Métaux dont la densité est supérieure à 4,5 g/cm³ (protocole relatif aux métaux lourds de la convention de Genève). Les métaux lourds sont des éléments polluants et toxiques surtout sous forme de composés organiques se concentrant dans la chaîne alimentaire. Il s'agit du plomb, du mercure, de l'arsenic, du cadmium, du zinc,

du cuivre, du chrome et du nickel. Ils proviennent de la combustion des charbons, pétroles, ordures ménagères... et de certains procédés industriels particuliers.

- ✚ **Milieu karstique** : qui se rapporte au karst, un paysage de roches calcaires touchées par l'érosion.
- ✚ **Micropolluant** : Polluant présent généralement en faible concentration dans un milieu donné (de l'ordre du microgramme (μg) au milligramme (mg) par litre ou par kilogramme) et qui peut avoir un impact notable sur les usages et les écosystèmes.
- ✚ **Molécules hydrophiles** : Qui a de l'affinité pour l'eau. (Les **molécules hydrophiles** sont souvent des systèmes ionisables).
- ✚ **Molécules lipophiles** : La **lipophilie** est l'affinité d'une substance pour les solvants apolaires comme les lipides (corps gras). Une substance **lipophile** (ou hydrophobe) est soluble dans un corps gras. On dit qu'elles sont hydrophobes.
- ✚ **Mutagène** : En biologie, un mutagène est un agent qui change le génome d'un organisme et élève ainsi le nombre de mutations génétiques au-dessus du taux naturel d'arrière-plan. Les mutagènes sont en général des composés chimiques ou des radiations.

N

- ✚ **Nécrophages** : La nécrophagie est le fait de manger des cadavres.
- ✚ **Niveau trophique** : En écologie, le niveau trophique ou maillon trophique est le rang qu'occupe un être vivant dans un réseau trophique. Il se mesure en quelque sorte par la distance qui sépare cet être du niveau basique qui est celui de la production primaire autotrophe.
- ✚ **Norme** : Règle définie et adoptée par un organisme dont c'est le rôle officiel, définissant les critères (définitions et seuils) auxquels doivent répondre des produits

fabriqués. En France, c'est l'Association française de normalisation (AFNOR) qui assure cette fonction. Elle publie des normes N.F. (norme française). Sur le plan international, un rôle analogue est assuré par l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

O

-  **Oligotrophe** : Se dit d'un écosystème aquatique pauvre en éléments minéraux nutritifs, très peu chargé en matière organique et renfermant une productivité biologique et une biomasse faibles.
-  **Organochlorés** : Composé organique dérivé du chlore.
-  **Oxygène dissous** : Paramètre gouvernant la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. La concentration en oxygène dissous est la résultant des facteurs physiques, chimiques et biologiques suivants : les échanges à l'interface air-océan, la diffusion et mélange au sein de la masse d'eau, l'utilisation dans les réactions d'oxydation chimique (naturelles ou anthropiques), l'utilisation par les organismes aquatiques pour la respiration (ce qui inclut au sens large la dégradation bactérienne des matières organiques) et pour la nitrification, la production in situ par la photosynthèse.

P

-  **Pesticides** : produit chimique destiné à protection des cultures contre les parasites, champignons, insectes, mauvaises herbes.
-  **Phénol** : séries de composés dérivés du Benzène (C₆H₆), analogue au phénol.

-  **Pluie acide :** Polluant atmosphérique d'origine anthropique se dissolvant dans l'air humide et retombant sous forme liquide ou solide sur les végétaux, sur les sols, les eaux et les minéraux. Il est dit acide quand son pH est inférieur à 5,6. Les principales sources de ces polluants sont : l'industrie, les centrales thermiques, le chauffage domestique et l'automobile, émettrices de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote.
-  **Pluie artificielle :** Précipitations provoquées par perturbation des équilibres microphysiques en action dans les nuages. Une pluie artificielle peut être provoquée par ensemencement de nuages, notamment par introduction de noyaux glaçogènes d'iodure d'argent en son sein.
-  **Polluant :** Substance ou processus de nature physique, chimique ou biologique introduit par l'homme et susceptible de contaminer les divers écosystèmes, terrestres, limniques ou marins. Le polluant est une substance qui se trouve dans les différents biotopes à une concentration supérieure, ou dans certains cas, différente de sa concentration habituelle. On distingue les polluants primaires (rejetés directement dans le milieu naturel) et les polluants secondaires (qui proviennent de réactions sur les premiers, ou entre eux).
-  **Pollution accidentelle :** Par opposition à la « pollution chronique », pollution caractérisée par l'imprévisibilité sur : le moment de l'accident, le lieu de l'accident, le type de polluant, la quantité déversée, les circonstances de l'accident, les conséquences de l'accident.
-  **Prédateur :** La prédation est une interaction trophique directe, de nature antagoniste, entre deux organismes, par laquelle une espèce dénommée prédateur, consomme entièrement ou partiellement une à plusieurs espèces dénommée proies, généralement en les tuant, pour s'en nourrir ou pour alimenter sa progéniture.

R

- ✚ **Réseau hydrographique** : Ensemble des éléments naturels (rivières) ou artificiels (réseau), drainant un bassin versant.
- ✚ **Réseau trophique** : Le **réseau trophique** est l'ensemble interconnecté des chaînes alimentaires d'une biocénose reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la biomasse circulent. Le terme trophique se rapporte à tout ce qui est relatif à la nutrition d'un tissu vivant ou d'un organe.

S

- ✚ **Sapropel** : un terme utilisé en géologie marine pour décrire les sédiments de couleur foncée qui sont riches en matières organiques. Les concentrations de carbone organique dans les sapropèles dépassent souvent les 2 % de leur poids.
- ✚ **Saturnisme** : maladie causée par une intoxication au plomb, car ce dernier n'a pas un rôle dans l'organisme animale ou végétale, donc il est toxique au niveau de la cellule quel que soit sa concentration, (fatigue, maux de tête, manque d'intention, nervosité, constipation, nausées,...).
- ✚ **Sérotype** : nom que l'on donne à l'ensemble des caractéristiques antigéniques de certains micro-organismes comme les bactéries. En laboratoire, ces micro-organismes sont classés en fonction de leurs réactions en présence d'un sérum contenant des anticorps.
- ✚ **Solvant** : Un solvant est une substance, liquide ou supercritique à sa température d'utilisation, qui a la propriété de dissoudre, de diluer ou d'extraire d'autres substances sans les modifier chimiquement et sans lui-même se modifier.
- ✚ **Stéroïdes** : substance dont la structure de base comporte un stérol (alcool).

- ✚ **Surfactant** : Substance tapissant l'intérieur des poumons. Le **surfactant**, essentiellement constitué de phospholipides, est sécrété par des cellules alvéolaires spécialisées, les pneumocytes 2.
- ✚ **Syrphes** : en zoologie, ce sont des insectes diptères, mouche à abdomen jaune et noir, aux antennes courtes et au vol rapide.

T

- ✚ **Tannerie** : Une tannerie est un atelier où le tannage est effectué. Les peaux d'animaux y sont traitées chimiquement et mécaniquement pour la production de cuir. Dans une tannerie, les peaux sont d'abord nettoyées.
- ✚ **Tensio-actif** : capable d'augmenter les capacités d'étalement, de mouillage d'un liquide en abaissant sa tension superficielle.
- ✚ **Terpène** : hydrocarbure naturel extrait d'huile essentiel végétal.
- ✚ **Toxicité** : Résultat de l'action plus ou moins néfaste pour un organisme vivant que peuvent exercer des substances chimiques entrant en contact avec celui-ci. On parle de substance toxique lorsque, après pénétration dans l'organisme, par quelque voie que ce soit (à une dose appropriée, en une fois ou en plusieurs fois très rapprochées, ou par petites doses longtemps répétées) elle provoque, dans l'immédiat ou après une phase de latence plus ou moins prolongée, de façon passagère ou durable, des troubles d'une ou plusieurs fonctions de l'organisme pouvant aller jusqu'à leur suppression complète et entraîner la mort (on parle alors de toxicité létale). On distingue la toxicité aiguë (causant la mort ou des désordres physiologiques importants immédiatement ou peu de temps après l'exposition), subaiguë (effets dus à des doses plus faibles, se produisant à court terme, sur des organes cibles, parfois réversibles), ou chroniques (causant des

effets irréversibles à long terme par une absorption continue de petites doses de polluants ou des effets cumulatifs).

- ✚ **Toxicologie** : Science ayant pour objet l'identification et l'étude des substances susceptibles de nuire aux organismes vivants.
- ✚ **Toxiques** : Substances pouvant entraîner des troubles graves chez un organisme vivant et éventuellement provoquer la mort (voir pollution toxique).
- ✚ **Transfert de polluant** : Migration d'une substance polluante au sein d'un milieu ou entre différents milieux. Le transfert de polluant est influencé par de multiples facteurs, comme les propriétés chimiques intrinsèques des substances polluantes et la nature du milieu dans lequel elles se trouvent.
- ✚ **Turbidité** : La **turbidité** correspond à la teneur en troubles (matières en suspension) d'une eau.

U

- ✚ **Ultrafiltration** : (UF) est une méthode de séparation membranaire, qui ne se distingue de la microfiltration ou de la nanofiltration que par la taille des particules en suspension ou en solution qui peuvent passer à travers. Pour l'ultrafiltration cette taille est entre 1 et 100 nanomètres (nm) ; cette taille est trop petite pour les bactéries, levures et la plupart des virus.
- ✚ **Ustensiles** : Un ustensile de cuisine est un petit outil à main utilisé pour la préparation des aliments. Les tâches courantes de la cuisine comprennent la découpe des aliments à la taille, le chauffage des aliments sur un feu ...

Dr RACHEDI Mounira

Maitre de conférences « A »

Cours POLLUTION MARINE ET CONTINENTALE ET IMPACTS

