



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID EL-TARF
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER



POLYCOPIE DE COURS REDIGE

PAR:

DR. DAHEL AMINA TANIA

EN VUE DE CANDIDATURE A L'HABILITATION UNIVERSITAIRE

INTITULE DU COURS

POLLUTION DE L'ENVIRONNEMENT

DESTINE AUX ETUDIANTS DE MASTER I

SPECIALITE:

BIORESSOURCES MARINES



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID EL-TARF
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER



POLYCOPIE DE COURS REDIGE

PAR:

DR. DAHEL AMINA TANIA

EN VUE DE CANDIDATURE A L'HABILITATION UNIVERSITAIRE



INTITULE DU COURS

POLLUTION DE L'ENVIRONNEMENT

DESTINE AUX ETUDIANTS DE MASTER I

SPECIALITE:

BIORESSOURCES MARINES

جامعة الشاذلي بن جديد
كلية علوم الطبيعة والحياة
رئيسة اللجنة العلمية
لنقطة علوم البحار
الأستاذة الدكتورة أمينة تانيا داهل

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف
كلية علوم الطبيعة والحياة
رئيسة اللجنة العلمية
لنقطة علوم البحار

Signature of Dr. Dahel Amina Tania

Avant-propos

Ce polycopié s'adresse aux étudiants inscrits en master I, son contenu est conforme au canevas officiel de la matière enseignée en première année de master, spécialité de Bioressources Marines; filière d'Hydrobiologie Marine et Continentale et domaine des Sciences de la Nature et de la Vie. Il est rédigé dans le but de permettre d'avoir un outil de travail et de référence recouvrant les connaissances qui leur sont demandées.

Le manuscrit contient avec les généralités au début, quatre chapitres. Il explore les différents aspects de la pollution de l'environnement marin: biologique, chimique et physique, il permet de connaître la nature et les sources majeures des polluants ainsi que leurs effets sur l'environnement et les organismes marins...quels sont les enjeux ? Et surtout par quels moyens l'homme peut-il affronter et remédier à ces perturbations environnementales ?...

TABLE DES MATIERES

Généralités		
1.	Les écosystèmes.	1
2.	Les écosystèmes aquatiques.	7
3.	Pollution de l'environnement marin.	14
Chapitre I: Pollution biologique		
1.	Pollution d'origine microbiologique.	19
1.1.	Définition.	19
1.2.	Sources des contaminants.	19
1.3.	Principaux germes incriminés dans la pollution du milieu marin.	19
1.4.	Les risques.	26
1.5.	Réglementation.	28
2.	Eutrophisation.	30
2.1.	Définition.	30
2.2.	Origine.	30
2.3.	Par quels moyens l'homme enrichit-il le milieu marin ?	31
2.4.	Les différents stades de l'eutrophisation.	32
2.5.	Les facteurs favorisant l'eutrophisation.	32
2.6.	Mécanisme de l'eutrophisation.	33
2.7.	Impacts sur l'environnement marin.	36
2.8.	Moyens de lutte contre l'eutrophisation.	37
3.	La bioaccumulation.	39
3.1.	Définition.	39
3.2.	Définition de la bioaccumulation dans les milieux marins.	42
3.3.	Origine.	43
3.4.	Principe de la bioaccumulation.	43
3.5.	Les avantages et les inconvénients de la bioaccumulation.	45
4.	Les moyens d'études de la pollution biologique.	46
4.1.	Recherche des micro-organismes.	46
4.2.	Autres moyens d'études de la pollution biologique.	60
Chapitre II: Pollution chimique		
1.	Les composés organométalliques.	62
1.1.	Définition.	62
1.2.	Sources des composés organométalliques.	62
1.3.	Devenir.	63
1.4.	Toxicité des éléments traces métalliques.	64
1.5.	Effets des éléments traces métalliques.	66
1.6.	Normes de qualité.	69
2.	Les hydrocarbures.	72
2.1.	Définition.	72
2.2.	Utilisation des hydrocarbures.	72

2.3.	Pollution par les hydrocarbures des milieux marins.	73
2.4.	Sources de pollution par les hydrocarbures.	74
2.5.	Devenir.	74
2.6.	Impacts.	75
2.7.	Moyens de lutte.	78
2.8.	Réglementations.	79
3.	Les moyens d'études de la pollution chimique.	80
3.1	Analyse des micropolluants métalliques dans les eaux.	80
3.2.	Analyse des hydrocarbures totaux.	82

Chapitre III: Pollution physique

1.	Pollution thermique.	84
1.1.	Définition.	84
1.2.	Les principaux pollueurs.	84
1.3.	Effets de la pollution thermique.	85
1.4.	Lois et réglementations.	86
2.	La pollution radioactive.	87
2.1.	Définition.	87
2.2.	Origine.	87
2.3.	Impacts.	88
2.4.	Moyens de lutte.	88
3	Pollution mécanique.	89
3.1.	Définition.	89
3.2.	Différentes formes de pollution mécanique.	89
3.3.	Impacts.	89
3.4.	Moyens de lutte.	90
4.	Les moyens d'études de la pollution physique.	92
4.1.	Analyse de la radioactivité.	92
4.2.	Détection de la pollution thermique.	92

Chapitre IV: Epuration des eaux

1.	Définition de l'autoépuration.	94
2.	Définition de l'épuration des eaux.	94
3.	Description d'une station d'épuration.	94
3.1.	Définition.	94
3.2.	Provenance des eaux usées.	95
3.3.	Fonctionnement.	96
3.4.	Le devenir des déchets.	100
	Références bibliographiques.	102

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
1	Photographies montrant les germes indicateurs de contamination fécale (Google, 2018).	21
2	Photographies montrant les germes pathogènes (Google, 2018).	25
3	Illustration du mécanisme de l'eutrophisation (Ifremer,2001).	35
4	Bioaccumulation (Google, 2018).	42
5	Principe de la bioaccumulation (https://fr.wikipedia.org/wiki/Bioaccumulation).	44
6	Préparation des dilutions (Dahel, 2009).	48
7	Recherche et dénombrement des coliformes totaux .	50
8	Identification des Coliformes thermotolérants (<i>Escherichia coli</i>).	51
9	Recherche et dénombrement des Streptocoques totaux.	53
10	Confirmation de la présence des Streptocoques du groupe sérologique D.	54
11	Recherche et dénombrement des germes anaérobies sulfito- réducteurs.	57
12	Recherche des Salmonelles.	58
13	Recherche des Staphylocoques pathogènes.	59
14	Recherche de Pseudomonas.	60
15	Détecteurs de radioactivité (Google, 2018).	92
16	Observation satellitaire de la pollution en infrarouge thermique de la surface terrestre et 3 km au-dessus du niveau de la mer (Cuesta, 2013).	93
17	Schéma montrant le fonctionnement d'une station d'épuration (https://fr.wikipedia.org/wiki/epuration_des_eaux).	95
18	Fonctionnement d'un station d'épuration (Google, 2018).	96
19	Traitement coagulation- floculation (https://wcponline.com/2014/04/17/overview-coagulation-flocculation-technology/)	99
20	Epannage des boues d'épuration. (https://www.zoom-nature.fr/epandage-des-boues-depuration-une-bombe-a-microplastiques/)	100
21	Schéma montrant le fonctionnement global d'une station d'épuration. (https://eduterre.ens-lyon.fr/nappe/html/Ressources/les%20stationsd-epuration)	101

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
1	Principaux agents pathogènes pour les animaux à sang chaud et pour l'homme, fréquents dans les eaux polluées (Creteur, 1998).	26
2	les risques sanitaires dus à une pollution microbiologique des eaux de baignade (Guiraud, 2003).	27
3	Normes de la qualité requise des eaux de baignades (directive européenne du 8 décembre 1975, reprise par le décret exécutif n° 91-980 du 20 septembre 1991. J.Off.Comm.Europ et par le décret exécutif N° :93-164 du 10 juillet 1993. JORA N° 46.	28
4	Critères microbiologiques pour les coquillages bivalves (arrêté européen du 23 mars 1993).	29
5	Le calcul du nombre probable de germes	55
6	Table de Mac Grady pour 3 séries de 3 tubes (Eau).	56
7	Les sources industrielles des composés organométalliques (Weite <i>et al.</i> , 1983).	63
8	Effets des éléments traces métalliques sur l'homme (Weite <i>et al.</i> , 1983).	66
9	Effets des éléments traces métalliques sur certains organismes aquatiques dans les zones polluées (Weite <i>et al.</i> , 1983).	67
10	Normes algériennes pour l'évaluation des micropolluants métalliques dans les sédiments portuaires.	69
11	Normes françaises pour l'évaluation des micropolluants métalliques dans les sédiments.	70
12	Indice de contamination pour l'évaluation du type des sédiments.	71

GENERALITES

Généralités

I. Les écosystèmes:

Un écosystème est un ensemble vivant formé par un groupement de différentes espèces en interrelations (nutrition, reproduction, prédation...), entre elles et avec leur environnement (minéraux, air, eau), sur une échelle spatiale donnée. L'écosystème regroupe des conditions particulières (physico-chimique, température, pH, humidité...) et permet le maintien de la vie. Et réciproquement, cette vie constitue et maintient l'écosystème.

Par leurs interactions entre elles et avec l'environnement, les espèces modèlent l'écosystème qui de ce fait évolue dans le temps. Il ne s'agit donc pas d'un élément figé, mais d'un système issu de la coévolution entre les différents êtres vivants et leurs habitats. De plus, il est très difficile de délimiter un écosystème - et on le fait souvent de manière arbitraire - car il ne possède pas toujours de frontières physiques. A partir de cette définition, il devient possible de déterminer une quantité infinie d'écosystèmes.

1. Quelques exemples d'écosystèmes.

Prenons l'exemple d'une forêt avec des conditions physico-chimiques, de température, de pH, d'humidité particulière; celle-ci comprend, tout un ensemble de végétaux, d'animaux (dont les êtres humains), de champignons, de bactéries, etc. Pour les végétaux et les animaux par exemple. Ces derniers se nourrissent de fruits, de racines, de feuilles, des produits de leur chasse ; ils utilisent certains végétaux pour se soigner ou créer des abris (huttes...). De leur côté, les végétaux se nourrissent - par leurs racines - en partie des déchets produits par les animaux et les végétaux. L'activité des êtres vivants va également modifier les habitats de cette forêt donnant l'opportunité à d'autres organismes de s'installer... Nous

avons là un écosystème (très simplifié) « forêt » qui fonctionne grâce à l'ensemble des êtres vivants qui le composent.

Cependant, chaque arbre à lui seul est un écosystème dont les feuilles déterminent un microclimat frais, ombragé et à l'abri du vent. Ses branches sont le refuge d'oiseaux et de petits mammifères qui peuvent se nourrir de ses fruits, son écorce renferme une foule de larves d'insectes, des araignées peuvent s'en servir comme support pour leur toile, les racines sont un lieu d'échange avec des bactéries et des champignons. Cet arbre est une source d'abris et de nourriture pour une grande quantité d'êtres vivants. Ils ont quant à eux une influence sur l'arbre en prélevant ses fruits, en lui apportant de la matière organique et en interagissant sur d'autres organismes liés à l'arbre.

En zoomant davantage et en changeant de système, le gros intestin de chaque humain par exemple est également un écosystème. Quelques milliards de bactéries s'y abritent et s'y développent. Elles tirent leur subsistance des produits ingérés par l'être humain, elles sont en compétition constante avec d'autres bactéries, parfois pathogènes. En retour, l'être humain bénéficie de la présence de ces bactéries qui participent à la digestion et l'absorption de ses repas. Le gros intestin est donc un lieu de vie comme un autre, un écosystème avec ses variations (de température et de pH) et ses relations de prédation, de compétition, de nutrition et de reproduction, etc.

2. Ecosystèmes et biodiversité.

Les scientifiques ont mis en évidence certaines relations qui existent entre les écosystèmes et la biodiversité qu'ils renferment. Plus un écosystème recèle d'espèces, plus il serait productif en matière organique et en énergie. De plus, une grande biodiversité le rendrait plus stable et lui permettrait de se reconstituer plus rapidement en cas de perturbation (sécheresse, tempête, etc.).

3. Les écosystèmes à différentes échelles d'espace et de temps.

3.1. A l'échelle spatiale.

Il est possible de définir des écosystèmes à toutes les échelles spatiales.

Une goutte de yaourt renferme par exemple un grand nombre d'espèces de levures et de bactéries qui interagissent, lui donnent sa texture, son goût et d'autres propriétés encore, tandis qu'en retour le yaourt apporte « à ses habitants » les conditions physico-chimiques et alimentaires nécessaires au maintien de la vie.

De même la Terre est un écosystème abritant plusieurs millions d'espèces qui vivent, interagissent et modifient notre planète.

3.2. A l'échelle temporelle.

Un écosystème a une durée de vie limitée. Bien que l'on trouve de nombreux intermédiaires, pour simplifier on peut définir arbitrairement deux types d'écosystèmes:

- **Les écosystèmes temporaires** qui ne durent que quelques jours ou quelques heures. Les flaques d'eau qui apparaissent lors d'une pluie d'automne sont un bon exemple. Elles se forment et disparaissent dès que le soleil refait son apparition. Les organismes qui y vivent - micro-crustacés, algues, larves d'insectes, plantules - sont pour la plupart adaptés à ce genre d'écosystèmes: ils arrivent très rapidement et leur durée de vie courte leur permet en peu de temps de se reproduire
- **Les écosystèmes permanents**, dont la durée de vie est bien supérieure à une vie humaine. Correspondent aux forêts, lacs, rivières ou tout habitat qui renferme des organismes vivants avec qui ils interagissent pour une durée bien supérieure à une vie humaine.

4. Les grands types de macro-écosystèmes de notre planète.

Un macro-écosystème est « *une communauté d'êtres vivants qui occupe une vaste zone dont les limites sont essentiellement de nature climatique* ».

4.1. Les forêts.

Les forêts sont des écosystèmes qui se caractérisent par la prédominance des arbres de même que par la faune, la flore et les cycles écologiques (énergie, eau, carbone et les éléments nutritifs) qui leurs sont étroitement associés. Elles sont tropicales ou tempérées:

- **Les forêts tropicales** sont situées entre les tropiques du Cancer et du Capricorne. Elles représentent pratiquement la moitié des forêts du monde et hébergent 75% de la biodiversité mondiale terrestre.
- **Les forêts tempérées** sont situées dans les climats tempérés notamment dans l'hémisphère nord, possèdent un faible niveau de biodiversité, dû aux remaniements de l'homme.

4.2. Les prairies.

Les prairies forment des écosystèmes composés principalement de plantes herbacées. Elles possèdent une biodiversité spécifique et très variée, dont une grande diversité d'insectes et de mammifères. Les graminées que nous consommons usuellement (blé, maïs) proviennent à l'origine des prairies. Il existe de nombreux types de prairies:

- **La toundra** est un sol reste gelé en permanence, se situe en Europe de l'Est et du Nord.
- **Les steppes tempérées** sont constituées de plantes et parcourues par des troupeaux de grands herbivores, comme les bisons d'Europe ou d'Amérique.

- **Les prairies alpines** se trouvent en montagne, où le climat est froid et humide. Elles abritent de nombreuses espèces endémiques (mouflon, marmotte, edelweiss, plusieurs espèces d'orchidées, *etc.*) qui offrent une formidable adaptation à des conditions parfois extrêmes (faibles températures, pression atmosphérique plus faible, vent important).
- **La savane tropicale** correspond à des prairies aux herbes hautes, contenant quelques arbres et arbustes isolés tels que les acacias, et abritant de grands troupeaux d'herbivores (gnous, girafes, zèbres, *etc.*).

4.3. Les déserts.

Chauds ou froids, les déserts recouvrent une grande surface sur notre planète. Ces macro-écosystèmes n'abritent qu'un très faible nombre d'espèces. Cependant les conditions difficiles qui y règnent (températures extrêmes, faible quantité d'eau, fort ensoleillement) entraînent des adaptations uniques et assez extraordinaires de la part des organismes vivants parfois très rares.

4.4. Les lacs et rivières.

L'eau douce est indispensable à la survie de toutes les espèces. Ces milieux - dits dulcicoles - représentent 3% de la quantité totale d'eau sur Terre et doivent être protégés avec le plus grand soin. Il s'agit d'écosystèmes riches en biodiversité qui renferment par exemple un nombre important d'espèces de poissons, d'amphibiens, de larves d'insectes.

4.5. Les mers et océans.

Les mers et les océans couvrent la plus grande partie de la surface du globe (71%). Ils renferment une très grande biodiversité, allant de la baleine de

30 mètres de long aux cyanobactéries de moins de 3 micromètres, en passant par les algues, les coraux, les poissons etc.

II. Les écosystèmes aquatiques:

Un écosystème aquatique est un ensemble ou unité écologique dynamique fonctionnelle regroupant des communautés d'êtres vivants (biocénose) constituées d'organismes (individus) regroupés en populations (espèces) attachées à un biotope, c'est-à-dire tributaires des éléments abiotiques (la température, la profondeur et la qualité des eaux, la vitesse des courants, la luminosité, le type de fond, la géologie, l'ensoleillement, l'activité humaine...) qui participent à leur survie grâce à des interactions permanentes et continues.

1. Les organismes présents dans les écosystèmes aquatiques.

Les écosystèmes aquatiques renferment habituellement une grande variété de formes de vie:

- Dans les **écosystèmes souterrains** on ne trouve en règle générale que des bactéries et quelques rares espèces animales.
- Dans le **fond des cours d'eau** on trouve en plus des bactéries des champignons et des protozoaires ainsi que des larves d'insectes, des escargots des vers...
- dans l'**eau en suspension**, vivent les espèces les plus petites et le plus souvent de taille microscopique, près de la surface, flottant au gré des courants, elles forment le plancton:
Il est composé de phytoplancton, qui est le premier maillon de la chaîne trophique et de zooplancton.
- De nombreux autres végétaux de tailles plus conséquentes et visibles à l'œil nu se développent dans les **écosystèmes aquatiques de faibles profondeurs** tels que les algues, les roseaux, les nénuphars...

- Des animaux invertébrés, poissons, mammifères, oiseaux, insectes, reptiles ou amphibiens en tout genre, se déplaçant à leur convenance. Leur variété est très grande (les nectons)
- À leur côté, suivant la latitude et le type d'écosystème, peuvent s'ébattre castors, poules d'eau, grèbes ou martins pêcheurs, moustiques, libellules ou araignées d'eau, grenouilles, crapauds, salamandres ou tritons...

2. Les différents types d'écosystèmes aquatiques.

Il y a deux types d'environnements aquatiques qui peuvent contenir la vie: l'eau douce et l'eau salée.

2.1. Eau douce.

L'eau douce ne représente que 3% de toute l'eau de la planète. L'essentiel de l'eau douce est stocké dans les glaciers et en particulier au Groenland et l'Arctique. On considère que l'on est dans un environnement d'eau douce lorsque la concentration en sel dissout est inférieure à 1%.

On peut distinguer 2 types de réservoirs d'eau douce: les lacs, mares et zones humides se trouvant dans les terres où l'eau est **dormante** (étendue d'eau qui ne présente pas d'écoulement) et les rivières et les fleuves où l'eau est **courante**. Il faut savoir que 41% de toutes les espèces connues de poissons vivent en eau douce.

2.2. Eau salée.

Les plus grandes régions de vie aquatique en eau salée ne sont pas difficiles à trouver puisqu'il s'agit des **océans**, ils couvrent à peu près 71% de la surface de la terre, sont très importants pour la préservation de toute la vie sur

terre et ont un rôle dans la régulation du climat terrestre. Environ 250 000 espèces de plantes et d'animaux marins vivent dans les océans.

On peut distinguer deux types de zones dans les océans: **les zones côtières et la pleine mer.**

NB : Les **milieux aquatiques souterrains**, sont des nappes d'eau imbibant le sous-sol, ils sont aussi parfois de véritables cours d'eau disparaissant dans des galeries souterraines.

3. Fonctionnement de l'écosystème aquatique.

Un écosystème aquatique produit constamment de la matière vivante. Celle-ci est progressivement transformée en matière organique morte, qui est elle-même ensuite lentement minéralisée, en partie ou en totalité. Il peut être divisé en trois compartiments biologiques.

3.1. Les producteurs.

Ce sont essentiellement tous les végétaux qui utilisent toute la lumière solaire comme source d'énergie pour fabriquer, par photosynthèse, les matières organiques dont ils ont besoin pour croître; ce faisant, les plantes aquatiques consomment le gaz carbonique dissous dans l'eau ainsi que les nutriments dissous (azote, phosphore et silice, ainsi que divers autres constituants minéraux) et elles rejettent de l'oxygène. Les principaux producteurs sont les algues microscopiques du **phytoplancton**.

3.2. Les consommateurs.

Ce sont **soit** des **herbivores stricts**, comme certaines espèces du zooplancton qui se nourrissent de phytoplancton ou certaines espèces d'invertébrés et de poissons qui se nourrissent d'algues et d'autres végétaux fixés sur le fond, **soit** des **espèces plus omnivores** consommatrices de végétaux, de zooplancton et autres invertébrés, **soit** enfin des **espèces strictement carnivores**, comme certains gros poissons qui se nourrissent des plus petits, ou encore certains oiseaux et petits mammifères; ces animaux respirent en consommant l'oxygène produit par les plantes et en rejetant du gaz carbonique.

3.3. Les décomposeurs.

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

4. La santé d'un écosystème aquatique.

Un écosystème aquatique est **sain** lorsque les activités humaines n'ont pas nui à son fonctionnement naturel ni modifié de façon appréciable sa structure. Il est **insalubre** ou **malsain** lorsque l'équilibre de l'état naturel a été perturbé.

Ces perturbations peuvent être **physiques** (apport d'eau anormalement chaude), **chimique** (introduction de déchets toxiques a des concentrations nocives pour les organismes) ou **biologiques** (introduction et la propagation d'espèces animales

ou végétales non indigènes). On dit qu'il est en piètres état lorsque se manifeste un ou plusieurs des symptômes suivants.

- La mort de certaines espèces.
- La prolifération accélérée de certaines organismes. la prolifération d'algues due à une quantité excessive de phosphore et de composés d'azote dans l'eau (eutrophisation).
- L'incidence accrue de tumeurs et de difformités chez les animaux.
- Un chargement des propriétés chimiques: la réduction de pH de l'eau causée par les pluies acides est peut-être l'un des plus importants changements enregistrés.
- La présence de certains organismes qui témoignent de conditions insalubres. Les bactéries coliformes par exemple peuvent indiquer la présence d'organismes capables de provoquer chez l'être humain certaines malaises ou maladies (diarrhée, la typhoïde et le choléra).

5. L'importance d'un écosystème aquatique sain.

Pourquoi l'état des écosystèmes aquatiques revêt-il une importance pour l'être humain?

Puisque tous les êtres vivants font partie d'une même chaîne, un écosystème en déséquilibre aura nécessairement de graves répercussions sur l'être humain. Notre santé et un grand nombre de nos activités sont fonction de l'état des écosystèmes aquatiques.

L'eau que l'on boit provient principalement de lacs ou de cours d'eau. Si le système d'un lac ou d'un cours d'eau est insalubre, l'eau qui s'y trouve sera peut-être impropre à la consommation ou aux fins de l'industrie, de l'agriculture ou des loisirs, et ce, même après son traitement.

6. Rupture de l'équilibre de l'écosystème aquatique.

Sous l'effet de perturbations naturelles telles que les crues, l'écosystème change d'état. Puis il se met à évoluer progressivement de façon plus ou moins rapide, vers un nouvel état d'équilibre.

Parfois cependant, l'écosystème peut perdre cette aptitude à retrouver un état d'équilibre, on dit alors qu'il perd **sa capacité de résilience**. Cela se produit lorsque la perturbation est trop importante, lors de certaines pollutions graves par exemple, et que les seuils dits d'irréversibilité sont dépassés. La capacité **d'auto-épuration** des écosystèmes peut ainsi être outrepassée:

- Car le processus de dégradation des matières organiques par les bactéries aérobies devient lent. La matière organique non dégradée s'accumuler et devient trop important pour que le milieu puisse tout dégrader.
- Ou que la teneur en oxygène du milieu est faible accidentellement ou naturellement. Lequel ralentit le processus de biodégradation. Ce type de déséquilibre s'observe facilement par exemple dans les marais dont les eaux stagnantes sont peu oxygénées.
- Ou lorsque trop de substances toxiques pour les espèces vivantes sont introduites accidentellement ou non, provoquant une raréfaction, voire une disparition de certaines espèces fragiles.
- L'introduction, intentionnelle ou non, de nouvelles espèces peut aussi être à l'origine de profondes modifications de l'écosystème.
- On dit alors que : **l'équilibre naturel est rompu**.

7. La restauration d'un écosystème aquatique.

Peut-on restaurer un écosystème aquatique? Peut-être, mais cela exige du temps et dépend de la nature de la perturbation:

- Les **effets du dragage**, par exemple, peuvent s'étendre sur une ou plusieurs années, mais nombre des organismes déplacés comme les poissons peuvent se rétablir d'eux-mêmes.
- La **construction de barrages** peut entraîner l'extinction locale d'espèces déjà menacées. Dans ces cas-là, il est peu probable que ces écosystèmes se rétablissent naturellement.

Pour ces raisons on met en place des mécanismes pour favoriser la **restauration de ces écosystèmes** ou réduire au minimum les incidences néfastes entraînées par les activités humaines. Voici quelques-uns de ces mécanismes:

- Lois en matière d'environnement: L'Arrêté interministériel algérien pour la surveillance de la qualité des eaux de baignade.
- Surveillance environnementale : La surveillance des produits chimiques dans l'eau, des sédiments et des organismes permet d'identifier plus facilement les problèmes potentiels des écosystèmes et de localiser les problèmes existants.
- Mise en place de station d'épuration des eaux en zone urbaine et de fosse septique en zone rurale.
- Mesures de compensation : Par exemple, une entreprise piscicole peut produire les alevins qu'un habitat perturbé ne peut plus fournir.

III. Pollution de l'environnement marin:

1. Définition de la pollution.

Polluer : c'est salir, souiller, 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...

2. Pollution de l'environnement marin.

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**.

Mais il faut souligner que polluer les eaux marines revient aussi à polluer tous les écosystèmes aquatiques.

3. Origine de la pollution marine.

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.

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

3.3. La pollution agricole:

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

4. Nature de la pollution marine.

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, tels que les hydrocarbures, les détergents, les biocides (pesticides), métaux lourds...

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 d'un lieu ou d'un rejet d'eau réchauffée ou refroidie (centrales thermiques) ou le rejet de substance liquide ou solide modifiant la turbidité du milieu (boue, limon, ...).

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*).

5. Source de la pollution marine.

Comment ces polluants se retrouvent-ils dans les milieux aquatiques?

5.1. Par les plages surtout des macro-déchets.

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 dans l'impact est important sur la faune aquatique et sur le tourisme côtier.

5.2. 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, de 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).

5.3. Par voie atmosphérique.

Des quantités importantes de contaminants métalliques organiques peuvent arriver en mer par voie atmosphérique: cadmium, cuivre, zinc et les hydrocarbures.

5.4. Par les stations d'épurations.

C'est une technologie d'épuration visant essentiellement à éliminer la pollution organique en suspension et en solution après désinfection de l'eau destinée à la consommation.

5.5. Par les apports urbains.

C'est les rejets de matière organique provenance d'industries de type agro-alimentaire (laiteries, conserveries, abattoirs, etc.) et des zones urbaines.

6. Les conséquences de la pollution marine.

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.

6.2. Les conséquences sur la santé:

- 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).

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 (= les polluants).
- Diminuer notre consommation (= diminuer les traitements chimiques et les infrastructures nécessaires).
- Réduire la dose de détergents (vaisselle, carrelage, agriculture).

- Utiliser des détergents qui respectent l'environnement (sans phosphates ni décolorants).
- Eviter les engrais chimiques (nitrates), 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 le réseau d'eaux usées (égout), une fosse septique (toilettes) ou une rivière !
- Protéger de la pollution : assainir (= diminuer la concentration en matières organiques).

La lutte contre la pollution de l'eau n'est pas toujours évidente car les produits contaminants sont parfois difficiles à détecter : enfouis au fond des océans, mélangés avec l'eau et donc invisibles à l'œil nu... Il arrive en outre qu'une matière polluante ne produise ses effets toxiques que beaucoup plus tard, alors qu'elles se sont déjà infiltrées très profondément dans le sol. La qualité de l'eau dépend alors de la dissolution des polluants jusqu'à leur disparition totale.

POLLUTION BIOLOGIQUE

Chapitre I: Pollution biologique

1. Pollution d'origine microbiologique.

1.1 Définition.

Elle est liée au surdéveloppement de micro-organismes (bactéries, virus...) ou de végétaux micro ou macroscopiques (champignons) qui provoquent un déséquilibre du milieu environnant.

Elle est la conséquence d'une action humaine: rejets organiques entraînent un enrichissement en nitrates du milieu), rejets d'eau chaude provoquent le développement de virus/bactéries, l'introduction d'espèces invasives, excédent de déjections animales à cause de la concentration d'élevages intensifs...etc.

1.2. Sources des contaminants.

Parmi les principales sources de la contamination bactérienne, on trouve :

- Les eaux usées qui constituent la source de pollution la plus importante du milieu marin et elles comprennent les eaux ménagères.
- Les baigneurs qui peuvent contaminer le milieu marin par des germes tels que *Staphylococcus aureus*.
- Les eaux de ruissellement drainent un grand nombre de bactéries d'origine tellurique.

1.3. Principaux germes incriminés dans la pollution du milieu marin.

On peut répartir les germes responsables de la pollution marine en germes indicateurs de la pollution fécale et en germes pathogènes.

1.3.1. Les indicateurs microbiens (bactériologique).

On appelle un indicateur bactériologique, une bactérie dont la présence et/ou la quantité à un endroit révèle un problème écologique au sens large.

Généralement, les indicateurs les plus spécifiques de la contamination fécale directe sont les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux

a. Les Coliformes.

Ils vivent dans les intestins de l'homme et des animaux homéothermes et sont donc rencontrés dans les fèces (matières fécales). Les coliformes meurent lors de leur séjour en eau de mer, leur présence indique donc une contamination récente par des matières fécales.

Ce groupe est constitué de deux catégories de bactéries: les coliformes totaux et les coliformes fécaux.

- **Les Coliformes totaux :** Ils se développent en 24 à 48 h à une température qui varie entre 35-37°C.
- **Les Coliformes fécaux (thermotolérants) :** Ils sont plus résistants à la température et ils se développent à 44,5°C en 24h. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli* (fig.1 a).

b. Les streptocoques ou Les Entérocoques.

Les entérocoques sont d'origines intestinales, de l'homme et des animaux à sang chaud et indiquent une pollution par des matières fécales. Ce groupe bactérien est souvent utilisé comme témoin supplémentaire de contamination fécale du milieu aquatique. Les entérocoques ne sont pas pathogènes pour l'homme mais leur présence en grand nombre pourrait indiquer la présence de bactéries pathogènes (fig.1b).

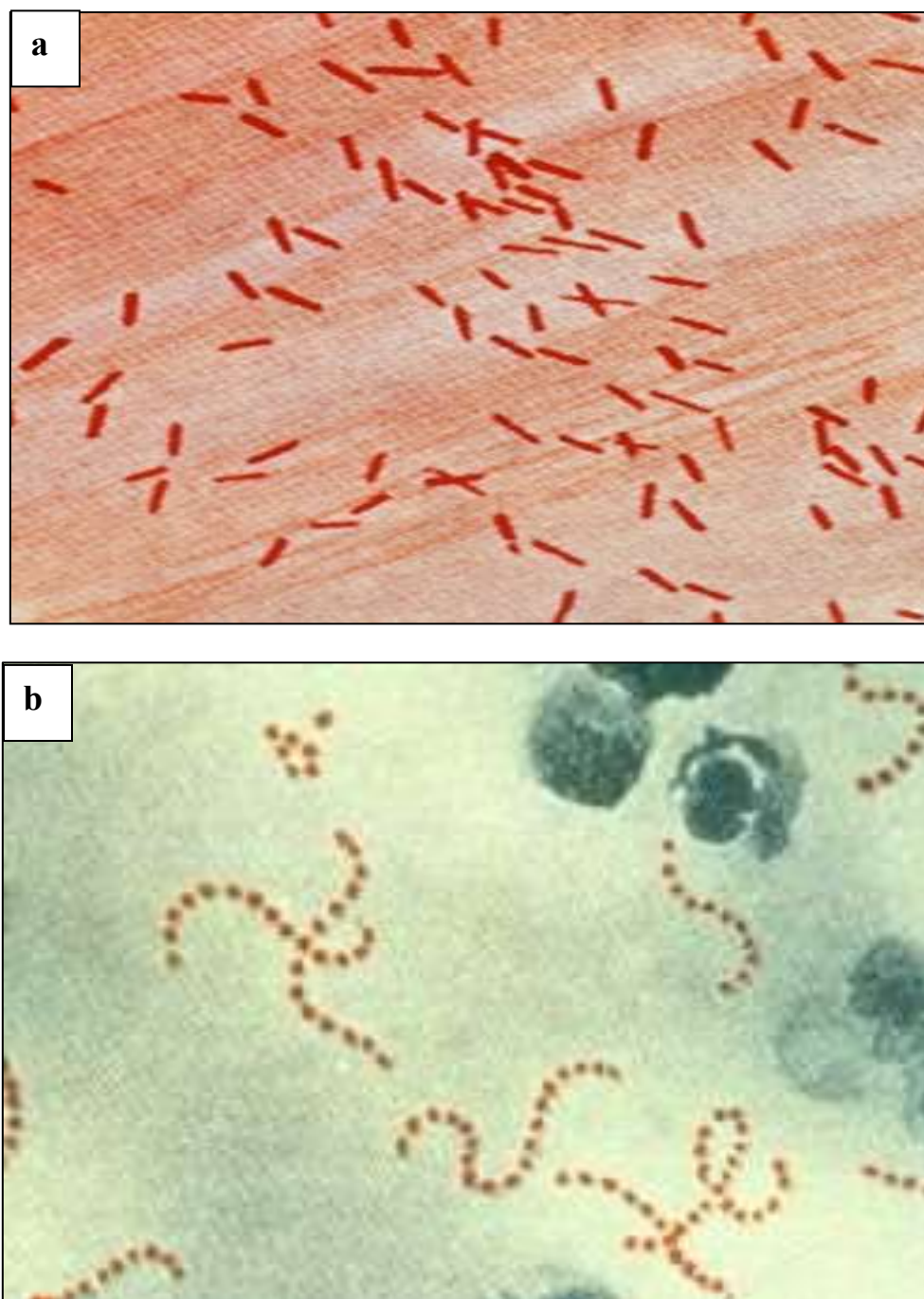


Figure 1: Photographies montrant les germes indicateurs de contamination fécale. **a:** *Escherichia coli* (*E .coli*) en coloration Gram, **b:** Les Streptocoques ou Entérocoques.

(<https://experteau.com/services/analyse-bacteriologique.php>).

1.3.2. Les germes pathogènes.

Si le nombre de coliformes fécaux est élevé, il y a de plus un risque que des germes pathogènes soient aussi présents; ces germes sont observés le plus souvent dans les côtes polluées par les égouts et les effluents. Parmi eux il y a :

a. Les vibrions cholériques.

Le *Vibrio cholerae* est considéré comme témoin de contamination récente par l'homme infecté. Une fois libéré dans l'eau, ce germe peut contaminer les coquillages qui le transmettent au consommateur (fig.2 a).

b. Les Salmonelles.

La présence des Salmonelles dans l'eau et dans les fruits de mer indique une contamination fécale à partir des déchets de l'homme et des animaux (fig.2b).

c. Les Staphylocoques.

Les staphylocoques trouvés dans l'eau proviennent principalement de la peau, de la bouche, du nez et de la gorge des baigneurs, des animaux à sang chaud et occasionnellement d'une pollution fécale (fig.2 c).

d. Les Clostridiiums.

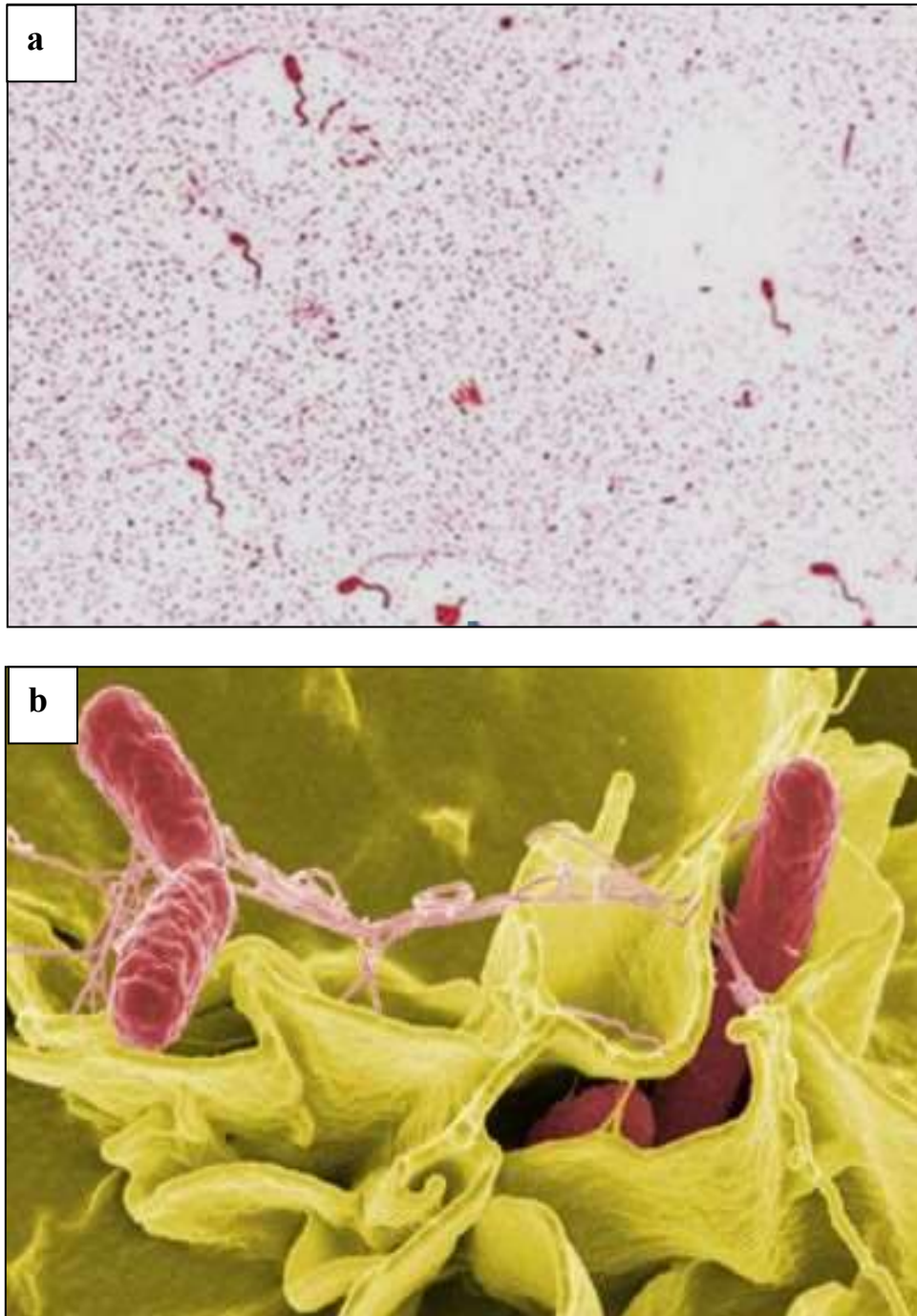
Le genre *Clostridium* représente un intérêt particulier dans la pollution de l'eau et des fruits de mer. Les espèces les plus importantes dans ce genre sont: *C. botulinum* et *C. perfringens* (fig.2 d).

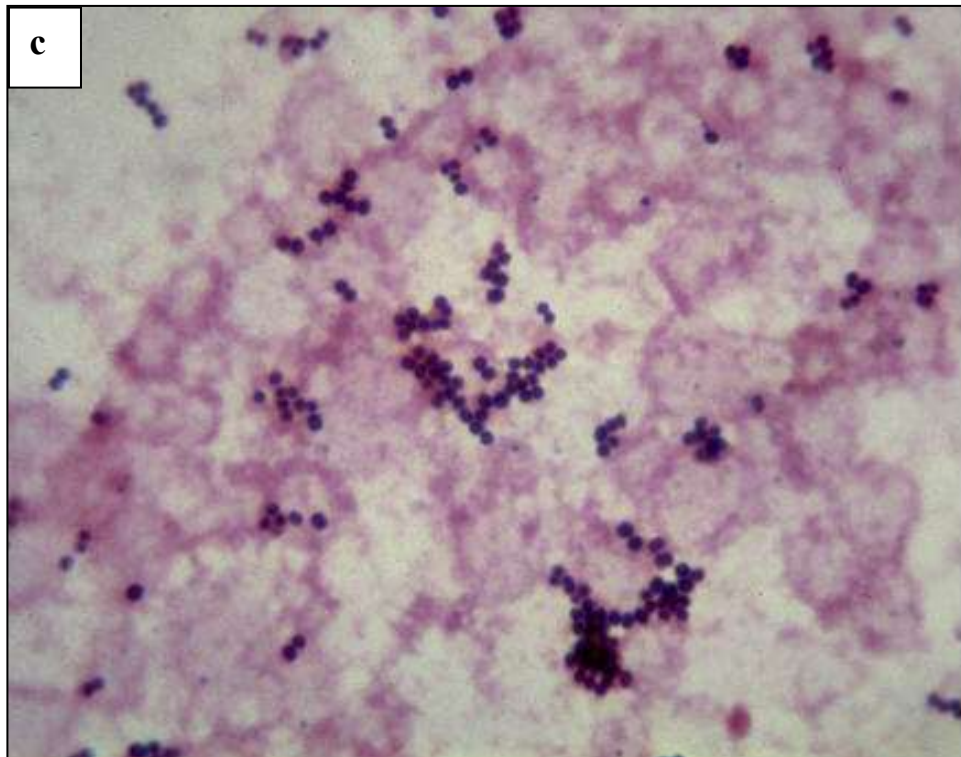
e. Les Pseudomonas.

Les Pseudomonas sont occasionnellement éliminés par les intestins et les urines. Leur présence dans l'eau est associée aux activités humaines, on les trouve dans environ 10% des matières fécales normales et fréquemment dans les eaux usées (fig.2 e).

f. Les Shigelles.

Le genre *Shigella* a une forme de bâtonnet qui provoque la dissémination rapide de l'infection à la suite d'une contamination fécale de l'environnement. C'est l'agent causal d'une infection alimentaire appelée « Shigellose » ou dysenterie bacillaire (fig.2 f).





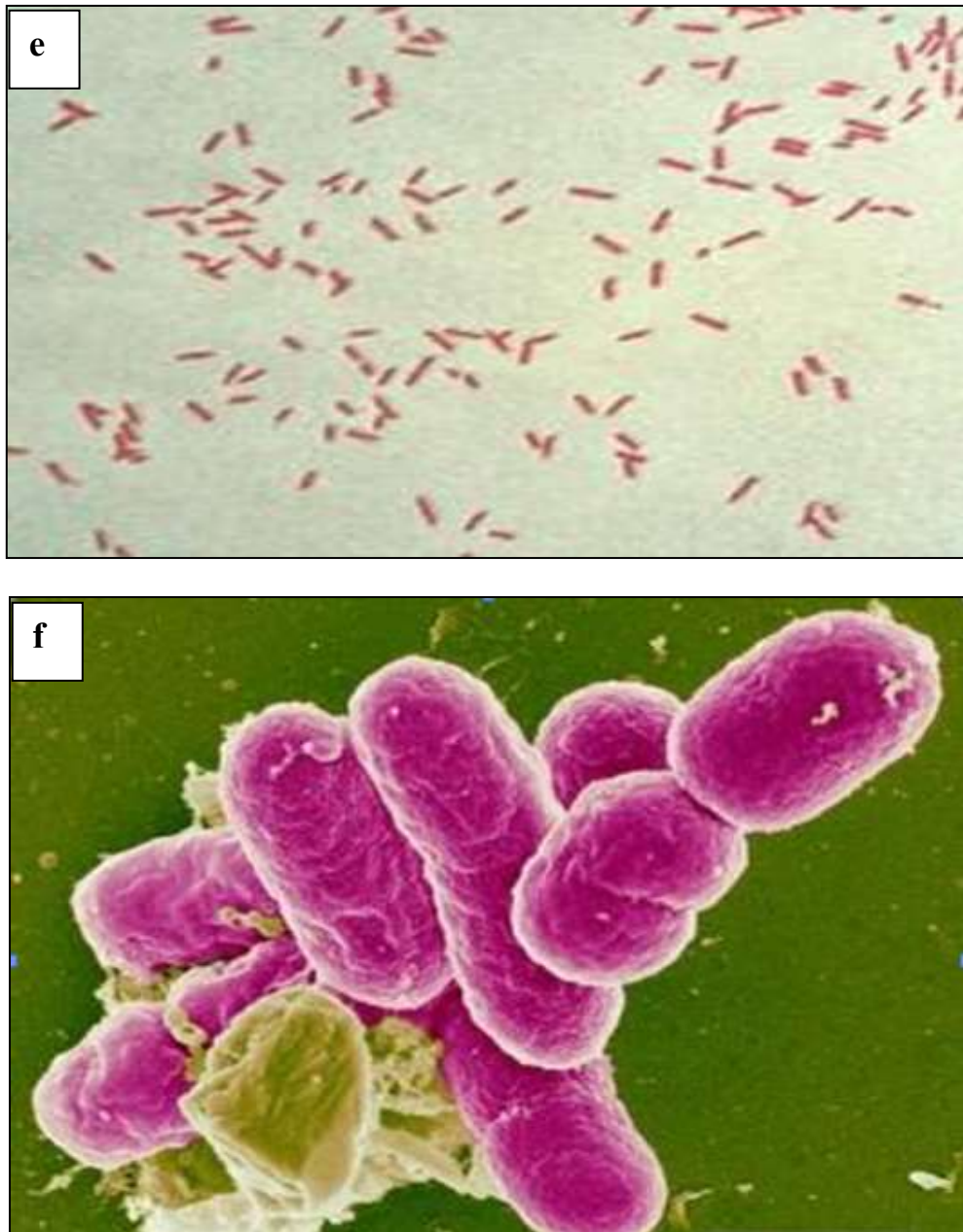


Figure 2 : Photographies montrant les germes pathogènes. **a:** Vibrions du choléra en coloration Gram, **b:** *Salmonella typhimurium* en rouge observée au microscope électronique, **c:** Les staphylocoques en coloration Gram, **d:** *Clostridium botulinum* en coloration Gram, **e:** *Pseudomonas aeruginosa* en coloration Gram, **f:** *Shigella flexnerii* en rouge observée au microscope électronique.

(<https://experteau.com/services/analyse-bacteriologique.php>).

1.4. Les risques.

Cette pollution est considérée comme dangereuse, si les agents présents sont pathogènes (tab.1); elle peut entraîner la propagation de certaines maladies infectieuses, ce qui limite la pratique d'activités récréatives comme la baignade et la pêche notamment des mollusques bivalves(tab.2). De plus, elle est souvent ponctuelle, par conséquent se prête difficilement à une identification précise.

Tableau 1: Principaux agents pathogènes pour les animaux à sang chaud et pour l'homme, fréquents dans les eaux polluées (Creteur, 1998).

Germes	Maladies	Origines
Virus	Poliomyélite; Hépatite virale	Se trouve dans les effluents de stations d'épuration
<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra	Transmis par les égouts et les eaux polluées
<i>Salmonella typhi</i>	Fièvre typhoïde	Fréquent dans les égouts et les effluents en période d'épidémies
<i>Shigella dysenteriae</i>	Dysenterie	Eaux polluées
<i>Bacillus anthracis</i>	Anthrax/ Charbon	Egouts. Spores résistantes aux traitements
<i>Brucella sp.</i>	Brucellose	Normalement transmise par le lait infecté. Egouts soupçonnés aussi
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Tuberculose	Isolé dans les effluents de

		sanatorium
<i>Leptospira ictero-haemorrhagiae</i>	Leptospirose	Porté par les rats d'égout
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie	Se répand par l'usage des eaux d'égout comme fertilisant; commun dans les régions chaudes

Tableau 2: les risques sanitaires dus à une pollution microbiologique des eaux de baignade (Guiraud, 2003).

Paramètres	Risques Sanitaires potentiels	Localisations	Remarques	Sites d'attaques
Coliformes Totaux	- Gastro- entérite	-Eaux douces et marines - Coquillages	Utilisé comme indicateur général de pollution bactérienne	-Intestin (Homme et Animal)
Coliformes fécaux	- Gastro- entérite	-Eaux douces et marines - Coquillages	Utilisé comme indicateur de pollution fécal	-Intestin (Homme et Animal)

Streptocoques fécaux	-Gastro-entérite - Fièvre - Typhoïde - Otite externe - Sinusite -Conjonctivite	-Eaux douces et marines	Indicateur le plus spécifique de polluant fécale secondaire ou tertiaire	- Intestin - peau de conduit - Sinus frontale - conjonctive
-----------------------------	---	-------------------------	--	--

1.5. Réglementation.

Le décret exécutif N° 93-164 du 10 juillet 1993 ayant pour objet de définir la qualité requise des eaux des baignades et précisément en son article 3, définit que la quantité des eaux des baignades doit satisfaire (d'un point de vue microbiologique) les paramètres microbiologiques indiqués dans tableau 3.

Tableau 3: Normes de la qualité requise des eaux de baignades (directive européenne du 8 décembre 1975, reprise par le décret exécutif n° 91-980 du 20 septembre 1991. J.Off.Comm.Europ et par le décret exécutif N° :93-164 du 10 juillet 1993. JORA N° 46.

Types de bactéries	Nombre guide	Nombre impératif
Coliformes totaux / 100 ml	< 500	<10000
Coliformes fécaux	<100	<2000
Streptocoques fécaux	<100	<2000
Salmonelles	Absence	Absence

Remarque :

- **Les nombres guides** correspondent à un objectif de qualité.
- **Les nombres impératifs** représentent les nombres à ne pas dépasser.

Aussi l'arrêté européen du 23 mars 1993 qui définit les critères microbiologiques des coquillages bivalves, interdit leur consommation si les paramètres bactériologiques ne sont pas respectés (tab.4).

Tableau 4: Critères microbiologiques pour les coquillages bivalves (arrêté européen du 23 mars 1993).

Paramètres bactériologiques	Valeur guide
Coliformes thermotolérants	$<2.3.10^2/100\text{ml}$ de chair et de liquide
Stréptocoques fécaux	intervalaire
Salmonelle dans 25 g de chair	$<2.5.10^3/100\text{ml}$ de chair et de liquide
Autre germes pathogènes et toxines	intervalaire
	Absence
	Absence

2. Eutrophisation.

2.1. 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* (=nourriture).

2.2. 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 des 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 anthropique est que la deuxième est plus rapide...

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 des rejets des agglomérations.

2.3. Par quels moyens l'homme enrichit-il le milieu marin ?

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 dissous et particulaires.

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 phosphore).

c. Les rejets industriels.

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

2.4. 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'une 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.

2.5. 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 le 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'eaux stagnantes comme c'est le cas dans les lacs. Le faible débit ne permet donc 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. 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.

L'azote et phosphate sont des nutriments de 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 de ces nutriments 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 le plan d'eau s'appauvrit en oxygène (l'oxygène de l'atmosphère se dissout dans l'eau, mais à cause de différents phénomènes, il ne parvient pas aux couches profondes.). 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 (fig.3).

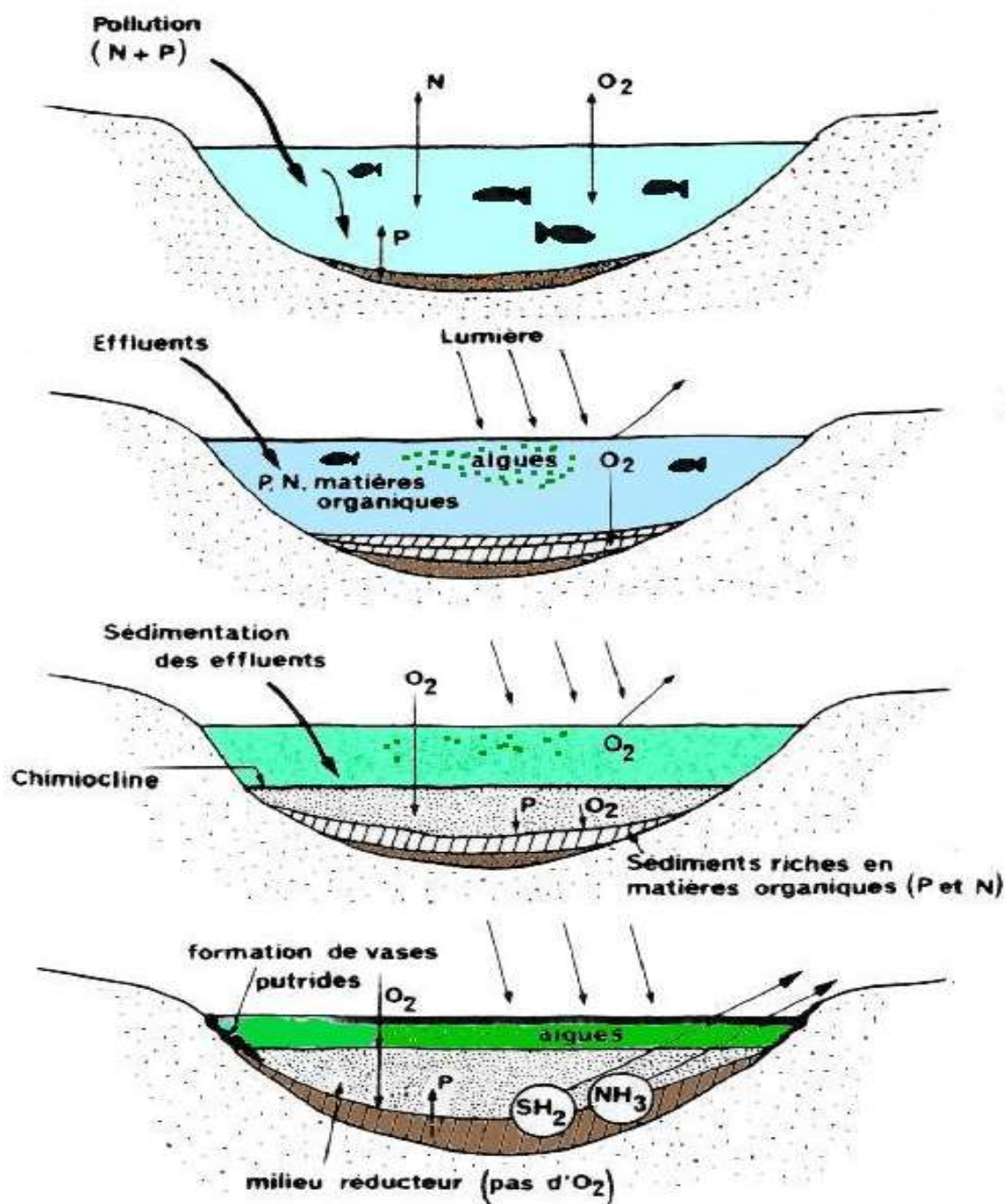


Figure 3: Illustration du mécanisme de l'eutrophisation
(IFREMER, 2001).

2.7. Impacts sur l'environnement marin.

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 et corrosion de tuyaux et d'autres réalisations humaines.

h. Altération de la transparence. (Devient turbide).

Diminution de la pénétration des UV (qui ont un pouvoir désinfectant), ce qui réduit la photosynthèse, donc réduction de la production d'O₂, augmentation du volume d'algue, augmentation de la biomasse du zooplancton gélatineux.

i. 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 autres espaces animales comme l'homme.

2.8. Moyens 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 (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 pullulent dans le cours d'eau
- Mieux éliminer l'azote et le 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 bulles 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.

3. La bioaccumulation.

3.1. Définition.

Bio : produit naturel ou d'origine naturel.

Accumulation: C'est la concentration des micropolluants par les organismes.

C'est l'accumulation progressive d'un contaminant (polluant) ou d'une substance toxique dans un organisme (partie vivante ou inerte telle que l'écorce ou le bois de l'arbre, la coquille de la moule, la corne, etc..), provenant de diverses sources, l'atmosphère, l'eau, le sol et les aliments.

Chez un même organisme, cette capacité peut fortement varier selon l'âge et l'état de santé, ou selon des facteurs externes (saison, teneur du milieu en nutriments).

3.1.1. La bioaccumulation et les bioindicateurs.

Certains organismes connus pour accumuler des polluants sont utilisés comme **bioindicateurs**.

Un bioindicateur est un indicateur constitué par une espèce ou par un groupe d'espèces végétale, fongique ou animale dont la présence (ou l'état) renseigne sur certaines caractéristiques écologiques (physico-chimiques, microclimatique, biologiques et fonctionnelle) de l'environnement. Il est souvent utilisé dans la biosurveillance de la qualité d'un écosystème

Par exemple:

- **Le mouron des oiseaux** une plante qui pousse plutôt sur des **sols** équilibrés,
- **L'ambroisie** plante qui prolifère sur des **sols** déstructurés ou salés

- **La petite oseille** (*Rumex acetosella*) indique des sols très pauvres en argile et en humus (la couche supérieure du **sol** créée et entretenue par la décomposition de la matière organique), très secs, très peu fertiles alors que la **grande oseille** (*Rumex acetosa*) indique des sols équilibrés, très fertiles.
- **Le lichen** est un bioindicateur efficace de certaines **pollutions de l'air** dans une forêt ou une ville.
- **Le trèfle et le tabac** : plante qui permet de qualifier et quantifier la teneur de **l'air** en ozone.
- **Les Pétunias** peuvent servir de bioindicateurs de la quantité d'hydrocarbure dans **l'air**.
- **L'abeille**: Son utilisation est plutôt récente mais elle a pourtant déjà fait ses preuves en tant que bio-indicateur. Elle vole, se pose sur le sol et boit l'eau des flaques et fossés, ce qui lui confère le rôle de témoin de la qualité **environnementale globale**.
- **Les mollusques bivalves** : Les moules sont les bio-indicateurs quantitatifs les plus utilisés pour **évaluer la qualité de l'eau**
- **Les sédiments pollués** : En aval des zones habitées, cultivées et/ou industrialisées, les sédiments des fleuves, des canaux, des gares d'eau, des estuaires et des littoraux ainsi que de certains lacs sont souvent très pollués. La pollution peut être ancienne (issue de mines médiévales ou antiques de métaux par exemple) et/ou récentes. On parle parfois de « *pollution de stock* », qui peut (re) devenir une « *pollution de flux* » en période de crue.
- **L'homme** : en observant la fertilité, la durée moyenne de vie, ou le taux de cancers (et leur nature) ou d'autres maladies pouvant faire partie des batteries d'indicateurs évaluant l'état de l'Environnement.

3.1.2. La bioaccumulation et les biointégrateurs.

On nomme « **intégrateur biologique** » une espèce animale ou végétale ou fongique (champignon, lichen), fixée ou déposée sur un substrat (ex : Moule) , facilement « récupérables » (ex : abeilles d'une ruche) qui est étudiée pour évaluer la quantité de contaminants biodisponibles qu'elle a « *intégré* » ou « accumulé » dans son organisme (chair, foie, rein, branchies, coquille...), sur le lieu où elle a vécu durant le délai de l'expérience.

L'espèce utilisée doit être résistante au contaminant, **bioaccumulatrice** et si possible fixée (ex : moule) et/ou encagée dans le milieu à étudier.

3.1.3. La bioaccumulation et la biotransformation.

Tout en accumulant un composé, certains organismes peuvent aussi le transformer.

C'est l'exemple des macrochampignons qui peuvent accumuler des formes organiques du mercure (méthylmercure) mais aussi - comme les bactéries des sédiments qui peuvent transformer le mercure inorganique en mercure organique beaucoup plus toxique et bioassimilable.

3.1.4. La bioaccumulation et les biomarqueurs.

Réactions biologiques d'organismes exposés à des polluants et dont la mesure permet d'évaluer la toxicité des polluants en question. La mesure se fait dans l'individu lui-même au niveau de ses cellules, organes (foie, rein, branchies, etc.) ou phanères (griffes, poils, plumes, etc.).

3.1.5. La bioaccumulation et la bioamplification.

Les transferts trophiques des polluants (bioaccumulation entre individus) suivent un processus classique. Le polluant, présent dans les algues et micro-organismes est ingéré par un herbivore, lui-même proie d'un carnivore, lui-même proie d'un super-carnivore, animal ou homme. En bout de chaîne alimentaire, le

consommateur final aura bio-accumulé tous les polluants selon le phénomène de bioamplification.

3.2. Définition de la bioaccumulation dans les milieux marins.

C'est la concentration progressive d'une substance polluante dans le corps d'un organisme vivant et ce, à partir de sa nourriture ou de son milieu ambiant. De nombreuses molécules produites par les activités humaines ont la propriété de « circuler » dans les réseaux trophiques (organochlorés, métaux lourds, radionucléides, pesticides...) et la bioaccumulation peut causer des effets toxiques à longue échéance, pour eux même ou pour ceux qui les mangent (fig.4).

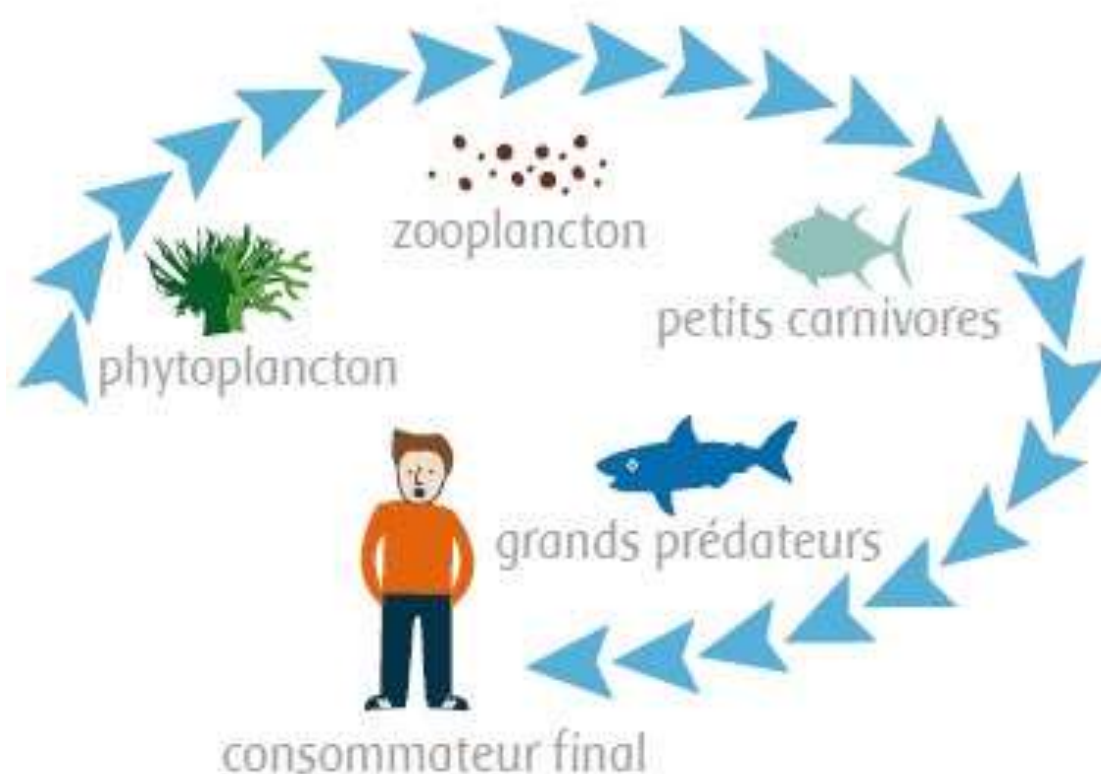


Figure 4: Bioaccumulation.

(<https://fr.wikipedia.org/wiki/Bioaccumulation>).

3.3. Origine.

Le milieu marin est contaminé par de nombreux produits chimiques dont des éléments métalliques et les contaminants organiques rejetés par **les industries, l'agriculture** et les **communautés urbaines**. Les zones estuariennes et côtières, sous forte influence continentale, sont les plus touchées par cette contamination.

Afin de connaître et de suivre l'évolution de la contamination chimique côtière, des programmes de recherche et de surveillance à partir du dosage des contaminants dans l'eau et les sédiments ont été mis en œuvre.

3.4. Principe de la bioaccumulation.

Le principe est simple à la base, une substance toxique et polluante est présente dans l'environnement, lorsque l'organisme l'absorbe, il ne peut ni la détruire, ni l'éliminer (exemples : métaux lourds, pesticides non biodégradables, ...).

Cette substance va être absorbée, toute leur vie durant, par les êtres vivants au début de la chaîne alimentaire (végétaux chlorophylliens généralement) – qui, ne pouvant l'éliminer, vont donc la concentrer peu à peu dans leurs tissus.

Ces végétaux vont être consommés par des herbivores, dont l'alimentation sera donc déjà plus concentrée en polluants que le milieu ambiant. Ils vont donc concentrer ce dernier encore d'avantage dans leur organisme.

Les prédateurs qui les consommeront à leur tour vont la concentrer encore plus, et ainsi de suite. On aboutit donc à une concentration tissulaire du polluant considérablement supérieure à celle de l'environnement, jusqu'à des teneurs dangereuses pouvant aboutir à la stérilisation voire à la mort par

empoisonnement de l'individu. Naturellement, plus la chaîne est longue, plus l'accumulation est forte et plus les effets sont marqués (fig.5).

Remarque : Le facteur de bioaccumulation/bioconcentration, signifie l'accumulation par l'organisme aquatique de substances à une concentration supérieure à celle mesurée dans l'eau.

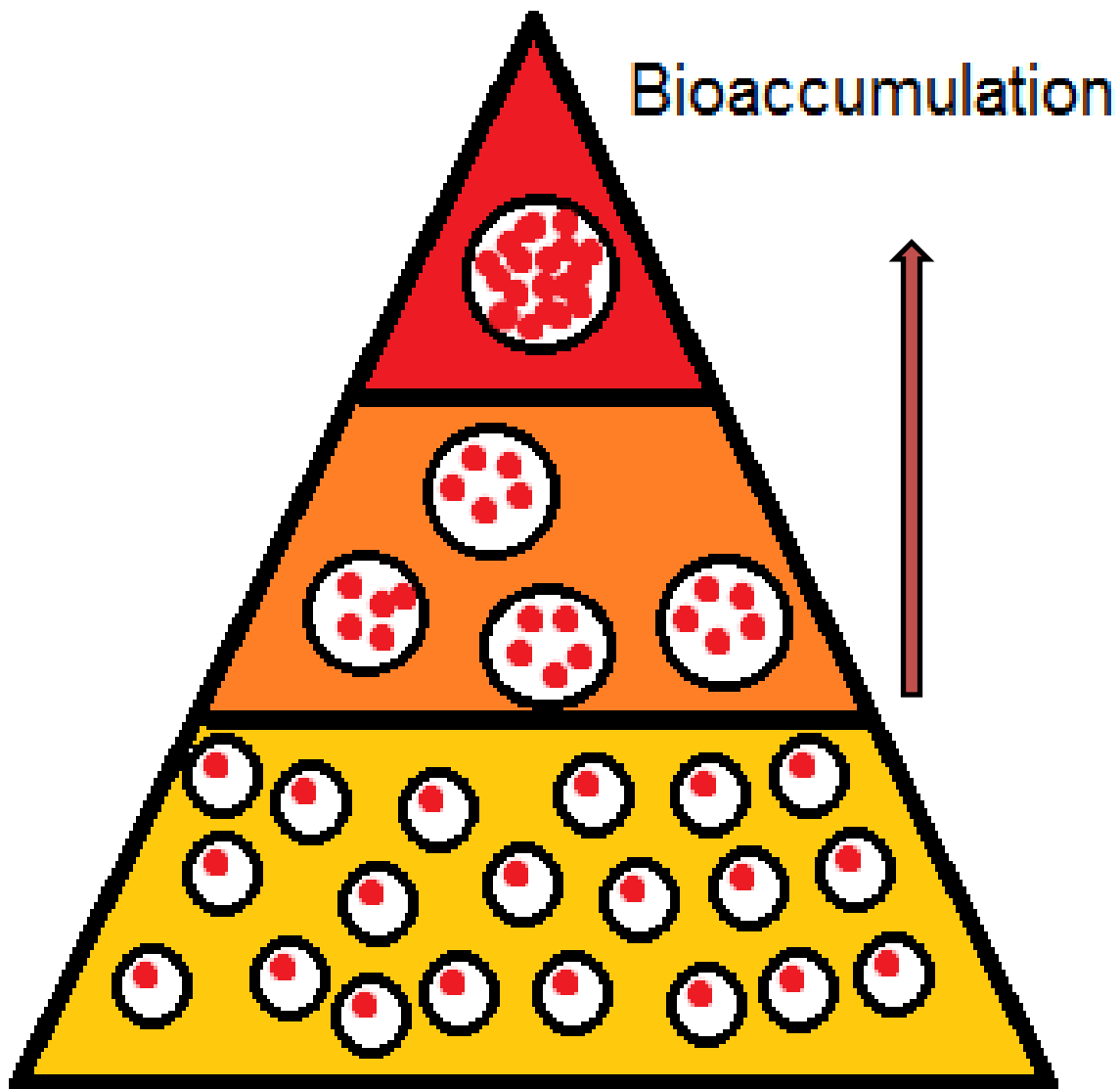


Figure 5: Principe de la bioaccumulation

(<https://fr.wikipedia.org/wiki/Bioaccumulation>).

3.5. Les avantages et les inconvénients de la bioaccumulation.

3.5.1. Les avantages.

On peut exprimer les bienfaits de la bioaccumulation si on se base sur l'utilisation des bioindicateurs dans la biosurveillance des milieux marins, car ils permettent d' :

- Emettre des signaux précoces de problèmes environnementaux;
- Evaluer l'état de stress global de l'environnement
- Evaluer l'efficacité de mesures réparatrices sur la santé des systèmes biologiques.

Et les bioaccumulateurs idéaux doivent être :

- Des espèces opportunistes, tolérantes faces aux perturbations de l'environnement.
- Sédentaires et abondants sur les sites à étudier.
- Faciles à récolter et à identifier.
- Accumule et non pas régule les contaminants; reflète les variations de la qualité chimique du milieu.
- Les invertébrés filtreurs : bivalves et spongiaires
- Les détritivores : vers polychètes et crustacés
- Contaminants accumulés dans les sédiments.

3.5.2. Les inconvénients.

Les rejets de polluants dans le milieu marin peuvent entraîner des **effets pathologiques et/ou létaux** sur l'ensemble des organismes y compris l'homme. Ces effets, se situant au niveau individuel, histologique, cellulaire ou biochimique.

4. Les moyens d'études de la pollution biologique.

4.1. Recherche des micro-organismes.

4.1.1. Prélèvement de l'eau.

Les prélèvements doivent être effectués mensuellement durant une période précise (mensuelle, semestrielle ou annuelle).

Pour cela, il faut des flacons en verre (d'une capacité de 250 ml), soumis au préalable à un nettoyage rigoureux (un rinçage à l'eau potable puis 3 rinçage à l'eau distillée) séchés, bouchés, enveloppés séparément dans un morceau de papier filtre puis stérilisés à l'autoclave à une température de 121°C pendant 15mn. Les flacons stériles sont plongés à une profondeur d'environ 50 cm de la surface de l'eau puis ouverts à contre-courant. Une fois remplis, ils sont refermés sous l'eau pour éviter la formation de bulles d'air et tout risque de contamination lors du transport.

Une fois les prélèvements effectués, les flacons sont étiquetés et placés dans une glacière à l'abri de la lumière et à une température de 4°C car la teneur en germes des eaux risque de subir des modifications dans les flacons, après le prélèvement et les analyses sont effectuées le plus rapidement possible (minimum 8h).

Tout prélèvement doit être accompagné d'une fiche de renseignement sur laquelle on note :

- Lieu de prélèvement.
- Date et heure de prélèvement.
- L'état de la mer.
- Le vent (la direction).

4.1.2. Analyse bactériologique des échantillons.

Pour la recherche des bactéries indicatrices de pollution, on procède à un dénombrement en utilisant une méthode simple, qui est la **Colimétrie** avec détermination du nombre de germes le plus probable (NPP) à partir de la table de **Mac Grady**. C'est l'examen le plus important et le plus pratiqué dans les analyses de l'eau ou de fruits de mer, répondant à des préoccupations sanitaires.

Pour la mise en évidence des bactéries anaérobies sulfito- réductrices, considérées aussi comme des témoins de pollution fécale, on utilise, la recherche et le dénombrement par incorporation en gélose.

Quant à la recherche des bactéries pathogènes (*Salmonelles*, *pseudomonaset staphylocoques*), on effectue, la recherche par ensemencement sur gélose spécifique.

4.1.3. Préparation des dilutions décimales.

On effectue des dilutions décimales pour chaque échantillon à l'aide d'eau distillée stérile. Elles doivent être effectuées dans des conditions aseptiques et minutieuses.

*Les dilutions :

- Dilution 10^0 : consiste à la prise directe de la solution mère.
- Dilution 10^{-1} : dans un tube à essai contenant 9ml d'eau distillée stérile, on ajoute 1ml d'eau à analyser (10^0).
- Dilution 10^{-2} : Dans un deuxième tube à essai, on ajoute 1ml de la dilution 10^{-1} à 9ml d'eau distillée stérile (fig. 6).

NB : L'agitation du contenu est nécessaire avant de préparer chaque dilution.

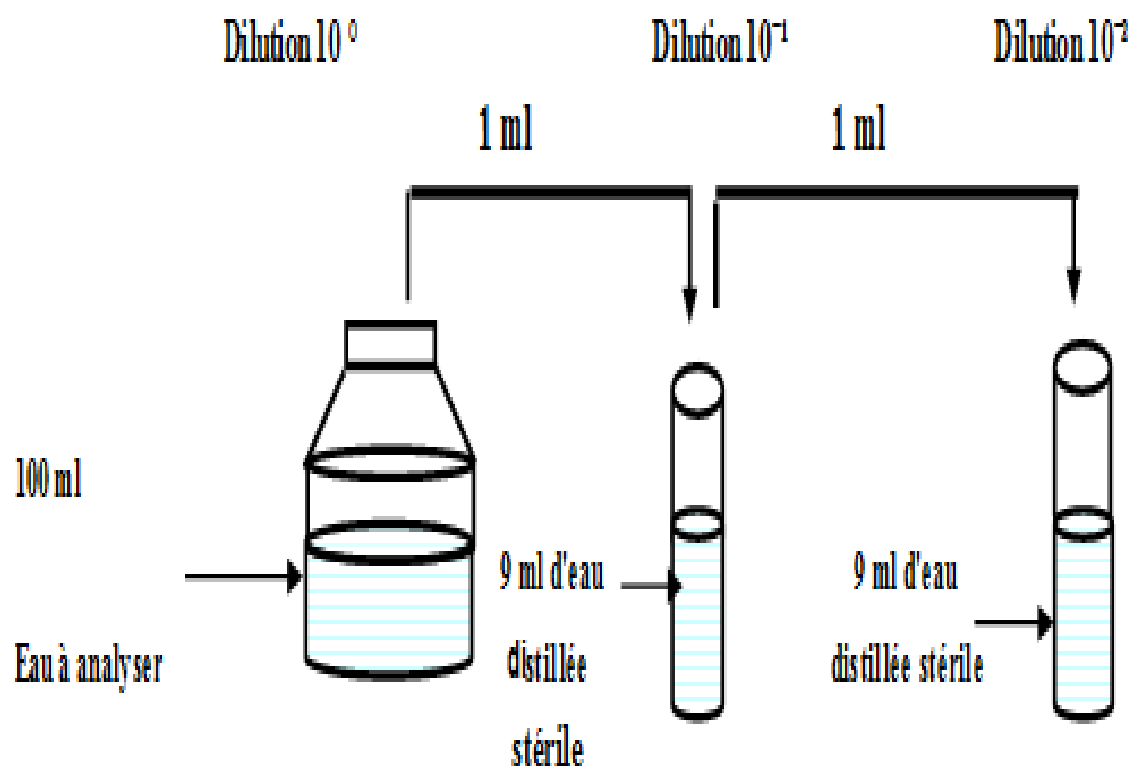


Figure 6 : Préparation des dilutions (Dahel, 2009).

A. Recherche et dénombrement des Coliformes totaux et recherche d'*Escherichia coli* :

*Principe :

Il consiste à utiliser des milieux liquides de bouillon lactose bilié au vert brillant (BLBVB), dans des tubes munis de cloches de Durham. La présence des germes recherchés se traduit par :

- Un virage de couleur dans toute la masse liquide.
- Un dégagement de gaz dans les cloches.

***Mode opératoire :**

La colimétrie comporte deux tests: - Un test présomptif.

- Un test confirmatif.

Le dénombrement est effectué suivant la méthode du nombre le plus probable (NPP) de la table de Mac Grady

***Test présomptif: Recherche et dénombrement des coliformes totaux:**

On prépare 3 séries de 3 tubes chacun contenant 9 ml de bouillon lactose bilié au vert brillant (BLBVB) simple concentration, munis de cloches de Durham.

Chacun des 3 tubes de la première série reçoit 1 ml de la dilution 10^0 (solution mère). Les tubes de la deuxième et troisième série reçoivent respectivement 1 ml de la dilution 10^{-1} et 1 ml de la dilution 10^{-2} .

Nous agitons pour homogénéiser, sans faire pénétrer l'air dans la cloche de Durham.

L'ensemble des tubes ainsi préparés est incubé à 37°C pendant 24 à 48 h (fig.7)

Remarque :

Cette phase de la colimétrie se base sur la propriété commune des Coliformes à fermenter le lactose tout en produisant du gaz ; elle ne permet que de présumer de la présence des coliformes dans l'eau à analyser. De ce fait, l'application du test confirmatif s'impose.

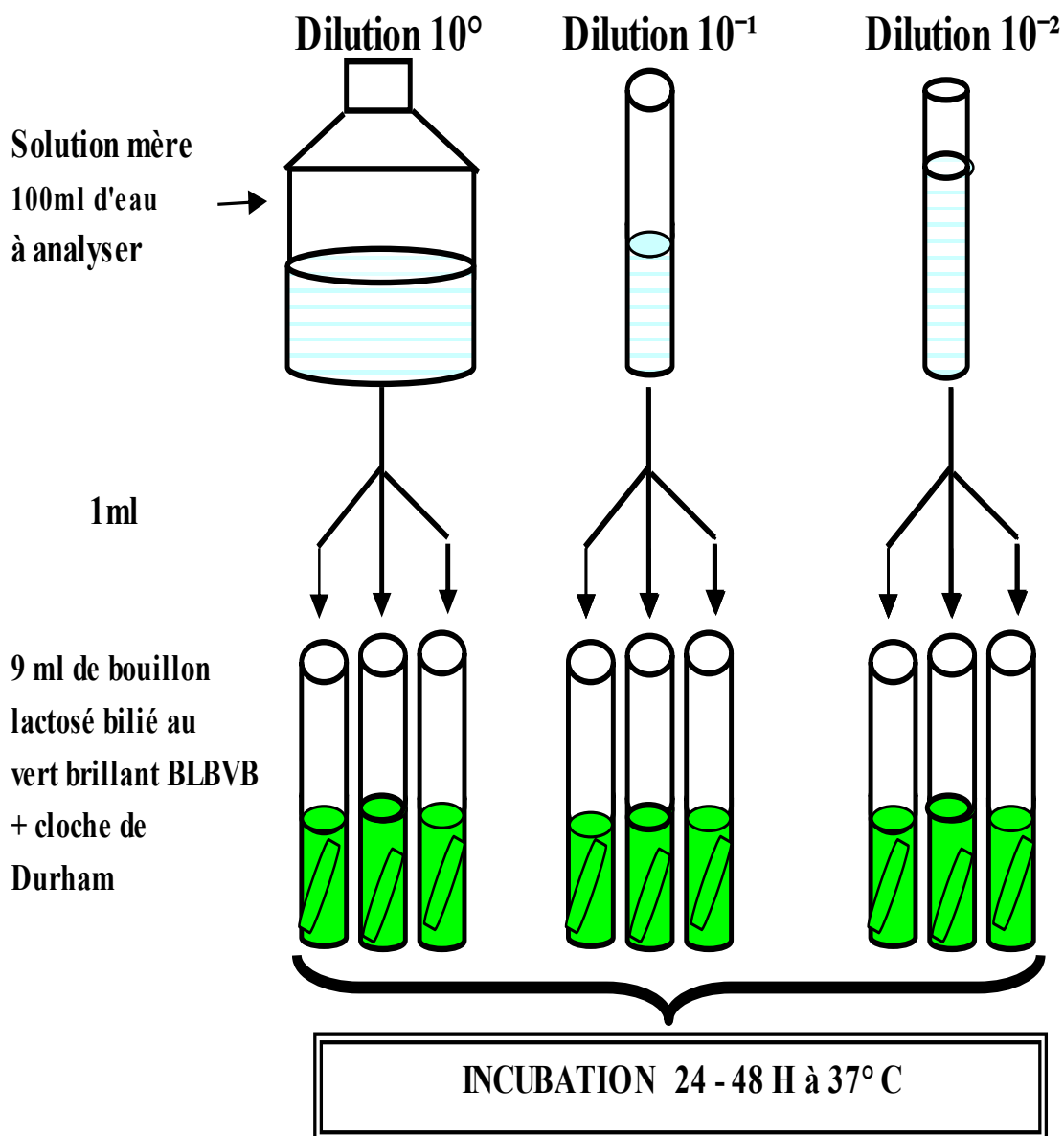


Figure 7 : Recherche et dénombrement des Coliformes fécaux (test présomptif)
(Dahel, 2009).

***Test confirmatif : Identification des Coliformes thermotolérants(*Escherichia coli*):**

Les tubes positifs présentent un virage de couleur ainsi qu'un dégagement de gaz dans la cloche de Durham ; ces derniers sont réensemencés dans des tubes d'eau peptonée exempte d'indole (épreuve Deikman). Pour cela nous prélevons 2 à 3 gouttes que nous rajoutons dans des tubes contenant de l'eau peptonée exempte d'indole. Les tubes sont refermés et incubés à 44°C pendant 24 à 48 h (fig.8).

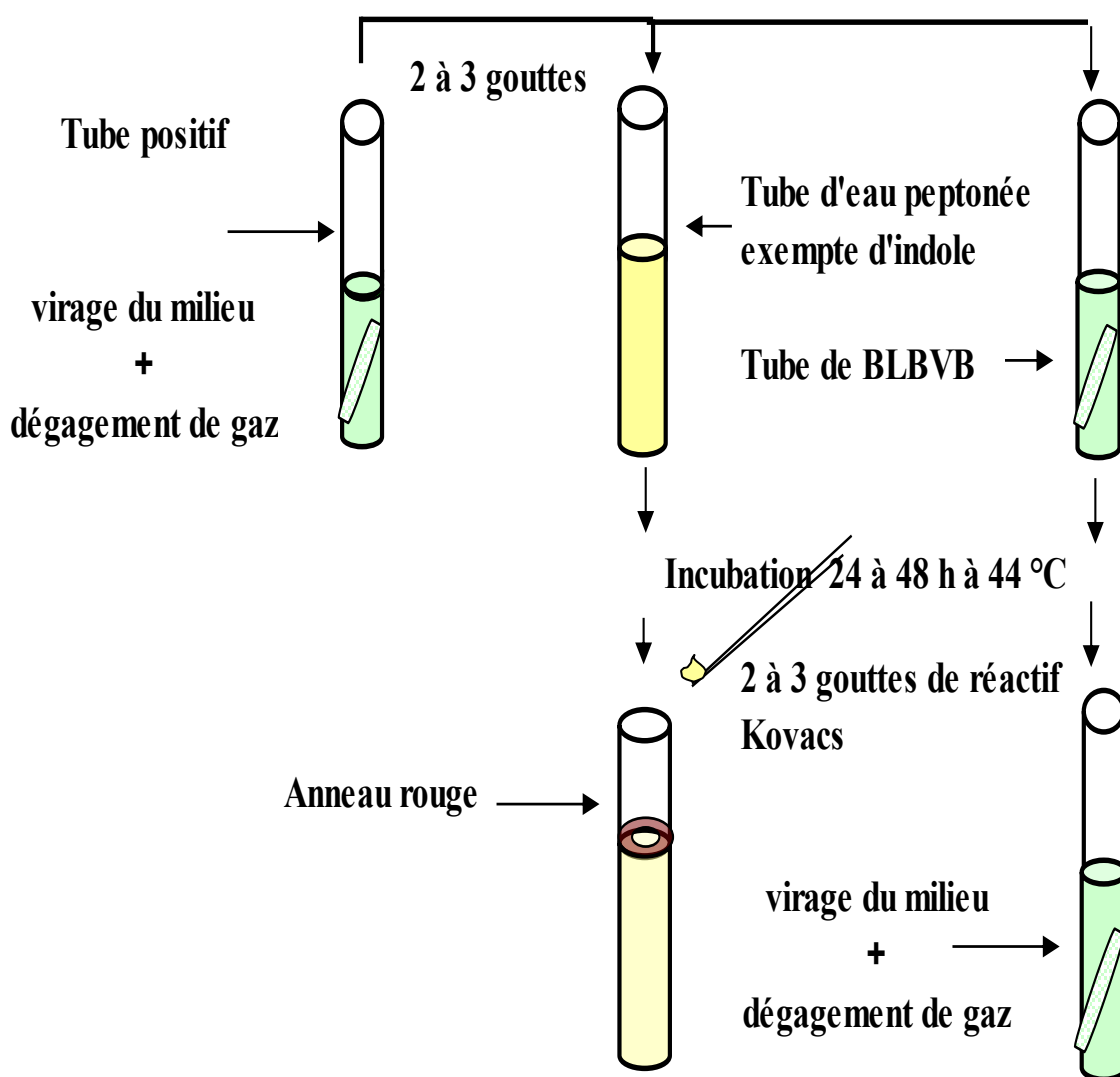


Figure 8: Identification d'*Escherichia coli* dans l'eau (test confirmatif)
(Dahel, 2009)

***Lecture:**

- Formation d'anneau rouge à la surface des tubes d'eau péptonée après addition de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs témoignant de la production d'indole par *E.coli*, suite à la dégradation du Tryptophane grâce à la Tryptophanase.

- Production de gaz dans les cloches des tubes de BLVBVB

* Nous notons le nombre de tubes positifs et nous exprimons le nombre le plus probable de germes dans 100 ml d'échantillon d'eau, selon la table de Mac Grady.

B. Recherche et dénombrement des Streptocoques (Entérocoques) et identification des Streptocoques de groupe sérologique D de Lancefield:

La recherche des Streptocoques (Entérocoques) est associée à celle des Coliformes d'où la nécessité de les combiner ensemble.

***Principe :**

Le principe se résume à la recherche et au dénombrement des Streptocoques du groupe D en milieu liquide. Alors que les tubes primaires contiennent déjà une certaine quantité d'azide de sodium (milieu de Rothe), le repiquage des tubes positifs se fait sur un milieu nettement inhibiteur avec une concentration plus élevée en azide de sodium et de cristaux violets (milieu Litsky), ne laissant se développer que les Streptocoques ou Entérocoques.

***Test présomptif : Recherche et dénombrement des Streptocoques totaux :**

On prépare 3 séries de 3 tubes contenant chacun 9 ml de milieu Rothe (simple concentration). Dans la première série de tubes nous rajoutons 1ml de la solution mère (10^0). On réalise la même opération avec les 2 autres séries en ajoutant aux 3 premiers 1 ml de la dilution 10^{-1} et aux 3 autres 1 ml de la dilution 10^{-2} , l'ensemble des

tubes ainsi préparés sont incubés à 37°C pendant 24 à 48 h (fig.9). Les tubes présentant un trouble bactérien sont considérés comme positifs.

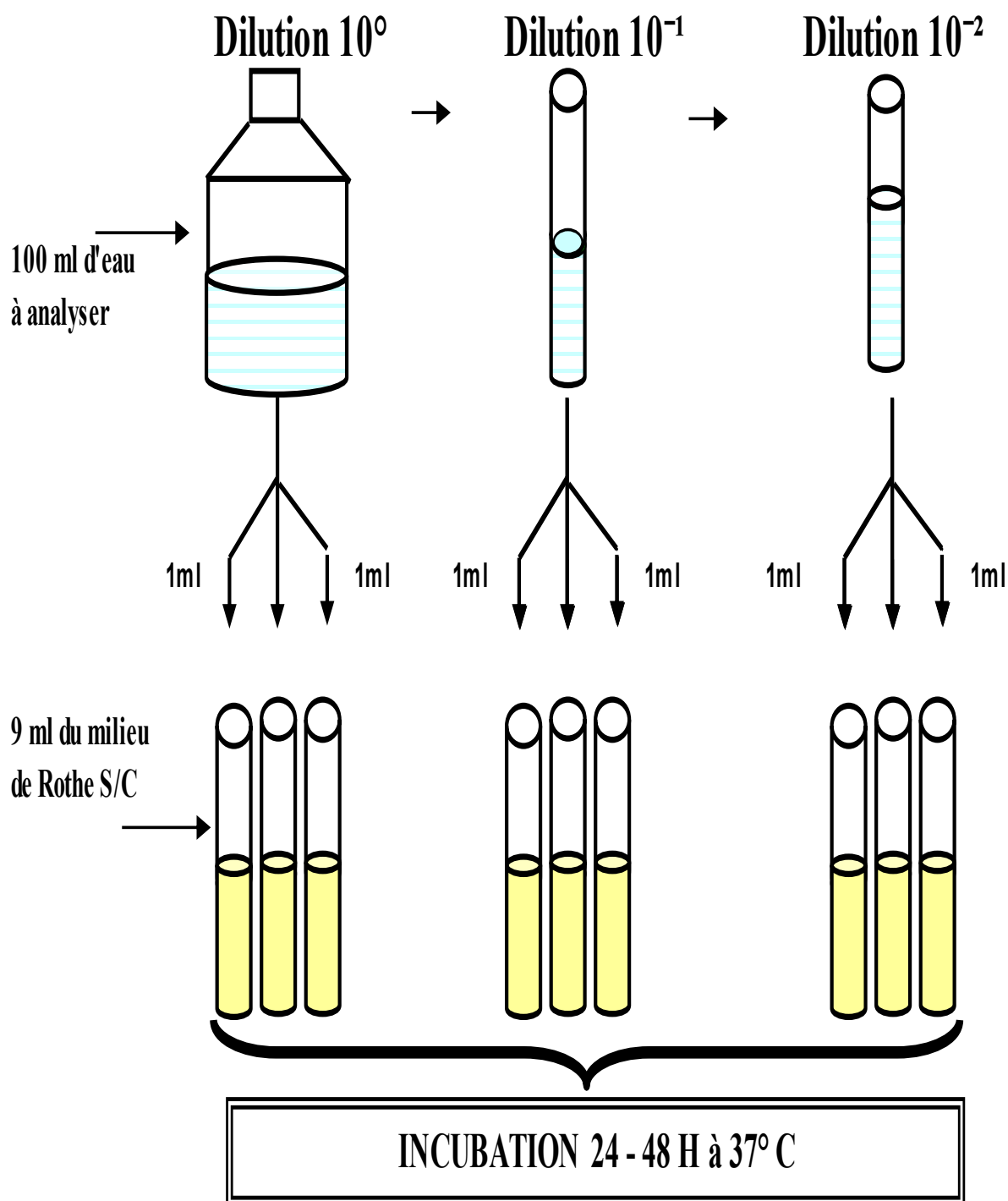


Figure 9: Recherche et dénombrement des *Streptocoques totaux* dans l'eau (test présomptif) (Dahel, 2009)

***Test confirmatif : Identification des Streptocoques du groupe sérologique D :**

Nous prélevons 2 à 3 gouttes de chaque tube positif présentant un trouble bactérien, que nous repiquons dans des tubes contenant 9 ml de milieu Litsky. Par la suite les tubes sont incubés à 37°C pendant 24 à 48 h (fig. 10).

***Lecture:**

Nous considérons comme positifs les tubes dans lesquels il y a apparition d'un trouble bactérien qui confirme la présence des streptocoques fécaux; parfois, la culture s'agglomère au fond du tube en fixant le colorant et en formant une pastille violette de signification identique à celle du trouble bactérien.

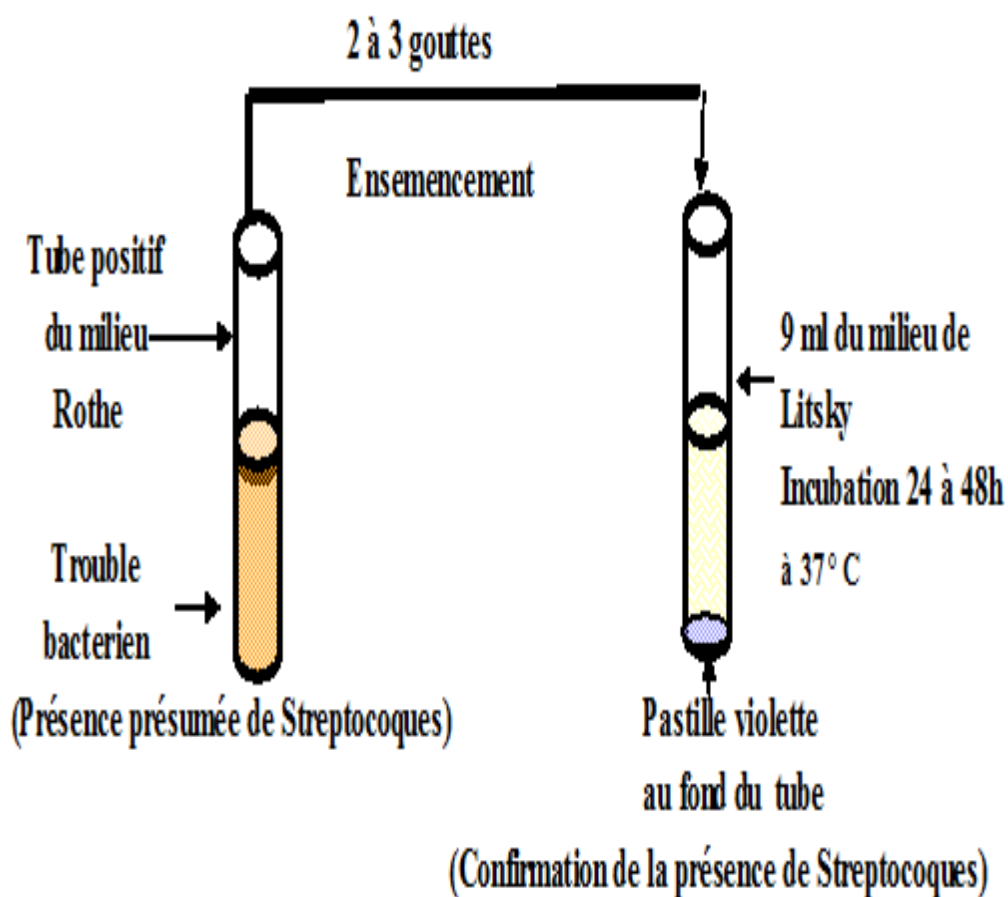


Figure 10: Confirmation de la présence des Streptocoques du groupe sérologique D

(Dahel, 2009).

- **Techniques de quantification bactérienne:**

Le calcul du nombre probable de germes est effectué en se rapportant à la table de Mac Grady.

1. Cas de l'inoculation de chaque dilution d'eau dans 3 séries de 3 tubes de milieu de culture (tab.5).

Tableau 5 : Le calcul du nombre probable de germes (exemple d'échantillon d'eau).

	Dilutions		
Tubes	1/10	1/100	1/1000
Tube 1	+	+	-
Tube 2	+	+	-
Tube 3	+	+	-
Résultat	3	3	0

(+) : Tube positif et (-) : Tube négatif.

Si nous avons 3 tubes positifs dans la première série 1/10 et 3 tubes positifs dans la deuxième série 1/100, et aucun tube positif dans la troisième 1/1000, alors nous lisons "3.3.0". D'après la table de Mac Grady (tab.6), "330" correspond à 240 germes /100ml d'eau.

Tableau 6: Table de Mac Grady pour 3 séries de 3 tubes (Eau).

Nombre de tubes positifs	Nombre de germes/100ml	Nombre de tubes positifs	Nombre de germes/100ml
001	3	300	23
010	3	301	39
100	4	302	64
101	7	310	43
110	7	311	75
111	11	312	120
120	11	320	93
200	9	321	150
201	14	322	210
210	15	330	240
211	20	331	460
220	21	332	1100
221	28	333	>2400

C. Recherche des germes pathogènes:

❖ Recherche et dénombrement des germes anaérobies sulfito-réducteurs :

Le milieu Viande Foie est un milieu de culture. Il est principalement utilisé en tube profond pour la détermination du type respiratoire des micro-organismes,

mais aussi pour la culture de germes anaérobies stricts tels que les *Clostridium* (fig. 11).

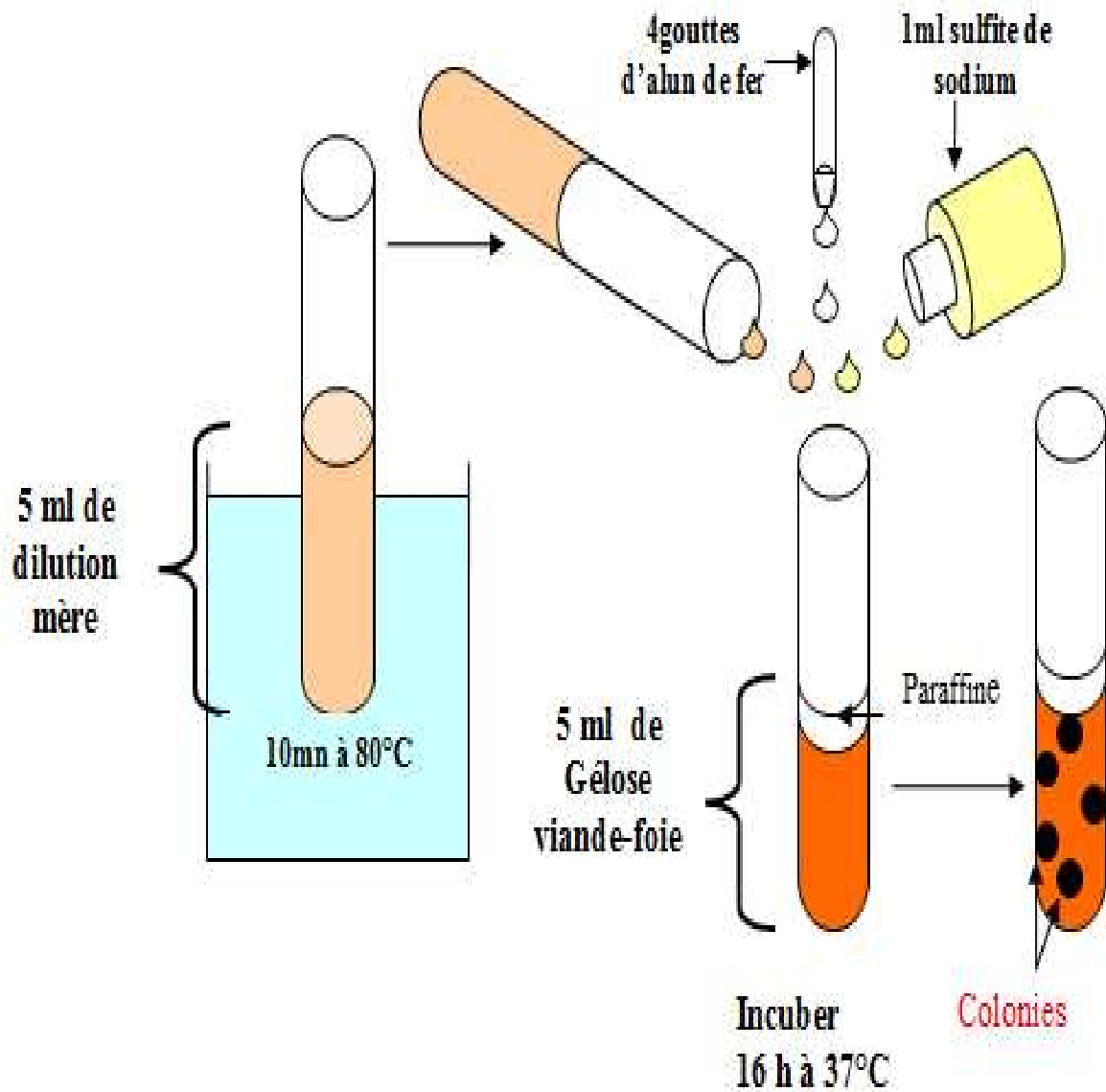


Figure 11: Recherche et dénombrement des germes anaérobies sulfito-réducteurs (Dahel, 2009).

❖ Recherche des Salmonelles:

La gélose SS (gélose *Salmonella* - *Sighele*) est un milieu solide utilisé pour l'isolement des salmonelles et des Shigelles (fig. 12).

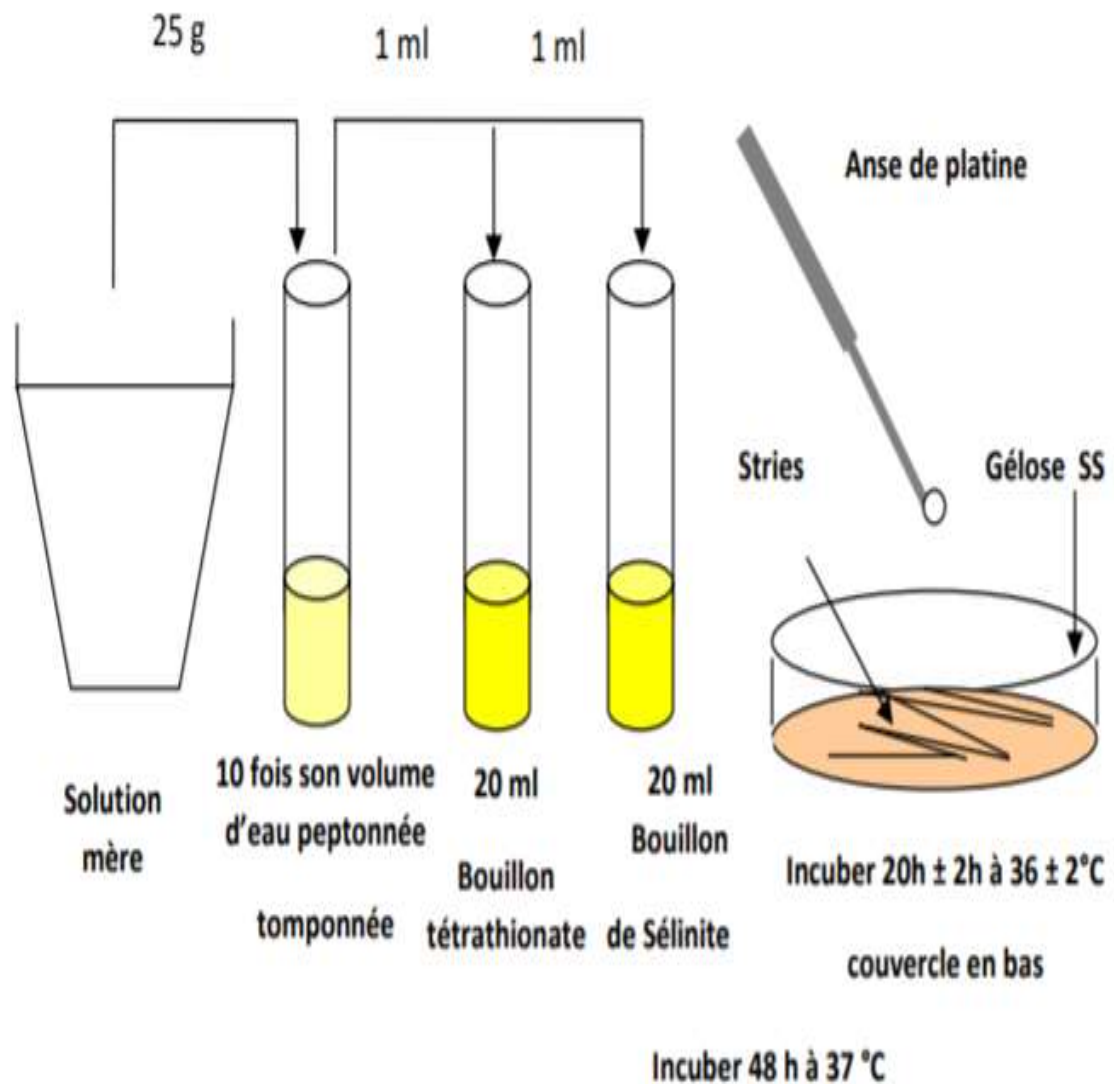


Figure 12: Recherche des Salmonelles (Dahel, 2009).

❖ Recherche des Staphylocoques pathogènes :

Le milieu Chapman est un milieu classique, il permet d'une part l'isolement sélectif des staphylocoques sur la base de leur tolérance à de fortes teneurs de Na Cl, et d'autre part à la différenciation de souche *Staphylococcus aureus*, par la mise en évidence de la dégradation du mannitol (fig. 13).

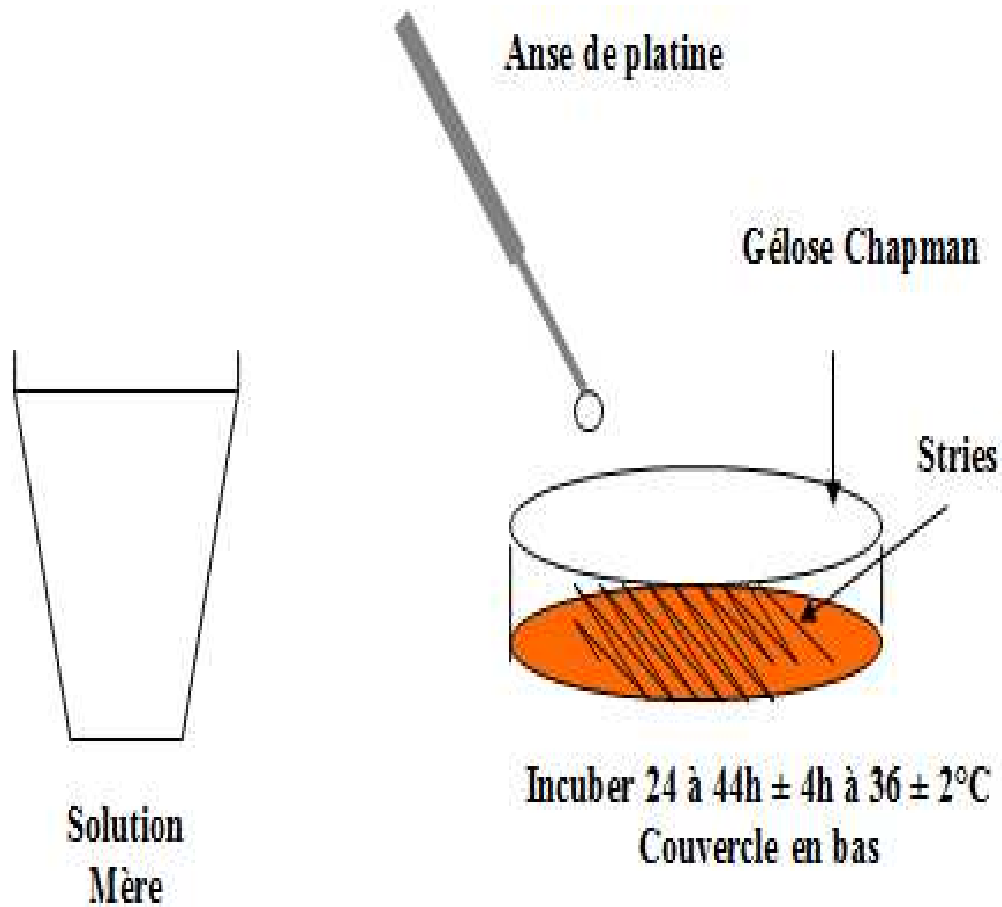


Figure 13 : Recherche des Staphylocoques pathogènes (Dahel, 2009).

❖ Recherche de *Pseudomonas* :

On utilise un milieu sélectif : King A spécifique pour *Pseudomonas aeruginosa* et le milieu King B pour *Pseudomonas fluorescens* et autres espèces (fig. 14).

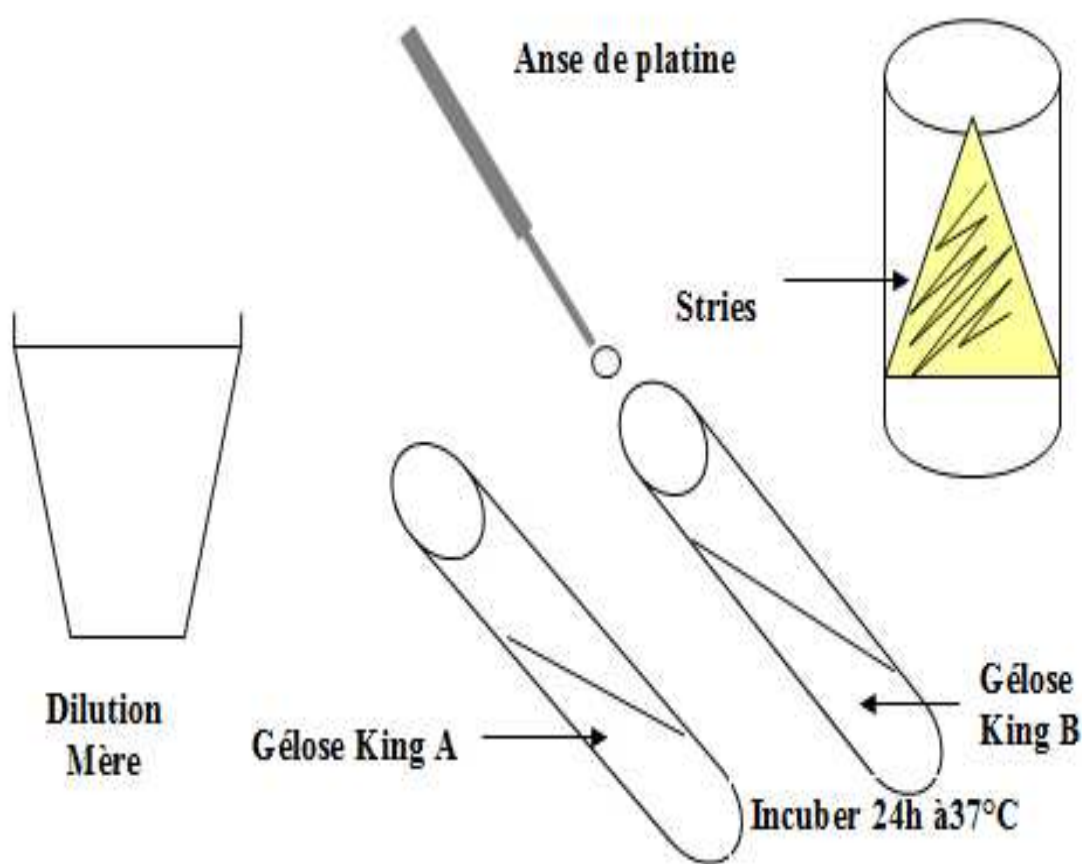


Figure 14: Recherche de *Pseudomonas* (Dahel, 2009).

4.2. Autres moyens d'études de la pollution biologique.

4.2.1. Dosage de la Chlorophylle *a* dans l'eau:

La mesure des pigments phytoplanctoniques repose sur leurs caractéristiques spectroscopiques : absorption de lumière (spectrophotométrie) ou fluorescence (fluorimétrie). Contenue dans les cellules, la chlorophylle *a* est un paramètre « particulière » qui pour une mesure précise au laboratoire nécessite la récolte du matériel en suspension par filtration, suivie d'une extraction du filtre par un solvant et finalement la mesure de l'absorbance de l'extrait.

4.2.2. Etude des Cyanobactéries:

Pour la réalisation de l'étude quantitative et qualitative des peuplements de cyanobactéries, les prélèvements sont effectués à l'aide d'un filet à plancton

- Au préalable les échantillons ont étéensemencé sur milieu BG11 solide et liquide en triplicata dans des boîtes de pétri puis incubé à 25°C
- La lecture se fait après7 jours d'incubation puis tous les jours jusqu' à 3 à 6 semaines.
- L'identification est essentiellement basée sur l'étude morphologique comprenant l'examen macroscopique et microscopique des colonies isolées.

POLLUTION CHIMIQUE

Chapitre II: Pollution chimique

1. Les composés organométalliques.

1.1. Définition.

Ce sont des composés qui comportent au moins une liaison covalente entre un atome de carbone et un métal. Les grandes familles de ces composés sont les organostanniques (C-Sn), les organomagnésiens (C-Mg), les organolithiens (C-Li), les organocuivreux (C-Cu) et les organozinciques (C-Zn).

Ils sont souvent plus toxiques que leur métal pur. En raison de cette toxicité, de nombreux composés organométalliques ont été utilisés et parfois le sont encore comme biocides, pesticides ou poisons.

C'est une pollution sournoise car, à l'inverse des macro-déchets ou des hydrocarbures, on ne la remarque pas et ses effets sur les organismes ou l'environnement sont plutôt tardifs. Bien que les métaux existent à l'état naturel dans l'eau de mer, sous formes de minéraux ou de composés volcaniques, c'est l'homme avec ses activités qui est responsable de la libération d'une importante quantité de ces éléments dans l'environnement marins.

1.2. Sources des composés organométalliques.

Les principales sources anthropiques émettrices de ces composés sont :

- Effluents industriels (tab.7).
- Effluents domestiques et ruissellements orageux urbains.
- Lessivage de métaux provenant de décharges d'ordures ménagères.
- Lessivage de métaux provenant de zones agricole, par exemple métaux contenus dans les pesticides.
- Sources atmosphériques, par exemple combustion de carburants, incinération des déchets et émissions industrielles.
- Activités pétrochimiques.

Tableau 7: Les sources industrielles des composés organométalliques (Weite *et al.*, 1983).

Industries	Métaux
Chimique/ pharmaceutique	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb
Les huiles et les solvants de recyclage	As, Cr, Pb, Zn.
Traitements de bois	As, Cr, Cu.
Peinture et teinture, colorant	Cd, Cr, Hg

1.3. Devenir.

La pollution des eaux marines est pour sa part essentiellement localisée dans la zone côtière où s'écoulent fleuves, déversements d'usines et égouts. Les éléments traces métalliques ne s'accumulant pas dans l'eau (réceptrice) elle-même, ils sont assez rapidement transférés dans les sédiments où ils sont en partie métabolisés par les organismes vivants et mis en circulation dans les chaînes alimentaires où leur toxicité s'épanouit.

L'irréversibilité de cette pollution est particulièrement préoccupante du fait qu'il est pratiquement impossible de récupérer aisément ces métaux, une fois dissipés dans la nature ; leur rémanence est la cause même d'une accumulation difficilement contrôlable.

Les micro-organismes aquatiques introduisent ses micropolluants (éléments traces métalliques) dans la biosphère, ils sont les premiers maillons des chaînes alimentaires le long desquelles les polluants vont s'accumuler dans les tissus des mangeurs successifs et ce par bio-accumulation:

Le processus de concentration des micropolluants métalliques dans l'organisme se déroule en 3 temps :

a. L'assimilation.

Il existe 2 voies principales d'exposition aux micropolluants: la voie externe (par contact) qui provoque un phénomène d'adsorption, et la voie interne par assimilation ou absorption.

b. La bio-concentration.

Tous les métaux en général sont concernés par la bio-concentration (bio-accumulation par l'individu), mais plus particulièrement le mercure, lorsqu'il est présent sous forme organique (méthyl-mercure).

c. La bio-amplification.

Les transferts trophiques de métaux (bio-accumulation entre individus) suivent un processus classique. Le micropolluant, présent dans les algues et micro-organismes est ingéré par un herbivore, lui-même proie d'un carnivore, lui-même proie d'un super-carnivore, animal ou homme. Au bout de chaîne alimentaire, le consommateur final aura bio-accumulé les formes solubles des métaux.

- Selon les prédateurs et les métaux, les concentrations peuvent augmenter au fur et à mesure que l'on progresse dans la chaîne trophique, comme c'est le cas pour le plomb et surtout le mercure sous sa forme méthylée. Ce dernier s'accumulant à chaque étape, se retrouve ainsi concentré en bout de chaîne alimentaire selon le phénomène de bio-amplification.

1.4. Toxicité des éléments traces métalliques.

Quelques métaux, comme Zn, Cu, Mn et Fe, sont, à faible dose, indispensables à la croissance et au bien-être des organismes vivants, y compris de l'homme. On peut néanmoins s'attendre à ce qu'ils aient des effets toxiques

quand les organismes sont exposés à des niveaux de concentration supérieurs à ceux qu'ils requièrent normalement.

D'autres éléments, comme Pb, Hg, As et Cd, ne sont pas indispensables aux activités métaboliques et manifestent des propriétés toxiques.

a. Le plomb Pb.

La concentration naturelle du plomb dans l'eau de mer est de 0,015 mg/l. Son origine est multiple: métallurgie, peintures, incinérateurs d'ordures, insecticides... Dans le milieu marin, il favorise la croissance des végétaux (algues et phytoplancton) jusqu'à une certaine concentration mais il devient toxique au-delà.

b. Le mercure Hg.

Est naturellement présent dans certains minerais et émanations volcaniques. Il se retrouve dans les océans à un taux moyen de 0,5 mg/1 à 3 mg/1. Diverses activités humaines sont la source d'une pollution par le mercure : l'exploitation et le traitement du minerai, certains fongicides, le traitement chimique (électrolyse), le mauvais recyclage d'appareillages et enfin, les piles. Bien que pratiquement indétectable dans l'eau de mer, il est absorbé par les micro-organismes planctoniques puis rapidement concentré par les consommateurs successifs de la chaîne alimentaire.

c. L'arsenic As.

A pour origine naturelle les émissions volcaniques. Lorsqu'il est anthropique, il provient majoritairement de la combustion de charbon ainsi que du mauvais recyclage de composés électroniques.

d. Le cadmium Cd.

Dans les mers, la concentration naturelle du cadmium, qui est toujours associé au zinc ou au plomb, est de l'ordre du microgramme. Plus toxique que le mercure, sa libération dans l'environnement est principalement due à l'industrie

(raffineries) et à ses rejets, mais aussi aux eaux usées urbaines, aux engrais phosphatés et aux insecticides. Il s'accumule dans les sédiments marins puis est absorbé par les organismes qui le concentrent.

1.5. Effets des éléments traces métalliques.

Les intoxications les plus importantes et les plus graves, notamment pour le mercure, ont souvent été liées à la consommation de poissons (tab.8).

Tableau 8 : Effets des éléments traces métalliques sur l'homme (Weite *et al.*, 1983).

Métaux	Dose critique en mg/l	Symptômes
Arsenic	0.05	*Cancer de la peau (mains, pied). Conjonctivite, Cancer des voies respiratoires, paralysie, céphalées, anémie, atteintes nerveuses. Mutagène. *Dose mortelle: 130 mg ou 12 mg/l. *Effets possible 6 à 20 ans après l'ingestion du fais de la bioaccumulation: même de faible doses peuvent êtres toxiques. Plus toxique dans l'eau que solide.
Cadmium	0.15	*Bioaccumulation. Mutagène. Maladie d'Itaï-Itaï. Attaque du foie, pancréas, thyroïde, reins, poumons, lésions osseuses, nausées, vomissements. *Dose mortelle: 400 mg. Augmentation de la toxicité en présence du zinc, cuivre ou cyanure.
Mercure	0.005	Tremblements sensorielles (affaiblissement de la vue et de l'ouïe), déchéance intellectuelle, salivation et transpiration intense, paralysie nerveuse, effets toxiques renforcés chez le fœtus. *Bioaccumulation. Cancérigène. *Dose mortelle: 3 à 30g. Augmentation de la toxicité en présence de Cuivre.
Plomb	0.05	*Bioaccumulation. Tératogène et mutagène. *Constipation, perte d'appétit, morosité, paralysie progressive, saturnisme. *Effet accru chez les enfants et le fœtus: diminution du quotient intellectuel, déficiences comportementales, perte d'audition. *Dose dangereuse: 1 mg/j.

Les fruits de mer, d'une part, sont d'excellents capteurs des polluants métallique et d'autre part la concentration se fixe sur les organes d'assimilation (équivalents foie et reins), qui sont précisément ce que l'homme mange. Ils accumulent surtout le cadmium et dans une moindre mesure le plomb, mais peu le mercure. (Voir tab.8 et 9).

En raison de son impact sur l'écosystème aquatique, l'étude de la pollution par les éléments traces métalliques dans le milieu aquatique mobilise depuis plusieurs décennies des recherches.

Tableau 9: Effets des éléments traces métalliques sur certains organismes aquatiques dans les zones polluées (Weite *et al.*, 1983).

Peuplements	Sensibilité	Effet à court terme	Effet à long terme
Algues	Faible	Réduction de la croissance	Restauration
Micro-organismes	Augmente avec le temps et la concentration, variable selon les caractéristiques Physico-chimique.	*Immobilisation de tous les Organismes *Réduisent l'activité hétérotrophique de la microflore *Effet inhibiteur sur la croissance des populations microbiennes	*50% de mortalité des organismes *Inhibent totalement la croissance microbienne

Invertébrés	Variable suivant l'état de développement.	*mortalité de 16% pour les Œufs et 14% pour les larves (huître). *les escargots de rivière se Déplacent lentement, ne se nourrissent pas et secrètent un mucus abondant. *La fécondation est diminuée d'un quart et les embryons ne peuvent se développer.	*48% de mortalité pour les œufs et 28 pour les larves (huître) *La mort de tous les individus de l'escargot *Pourcentage augmente avec le temps et la concentration des métaux dans le milieu (crustacé)
Poissons	Plus sensible et varie selon l'espèce et l'âge, ainsi que les caractéristiques physico-chimique.	Réduisent l'activité des larves et les juvéniles	*Accumulation par les poissons (reins, foie et chaire). *Un pourcentage même faible rend les organismes commerçables impropres à la consommation

1.6. Normes de qualité.

❖ Selon les normes algériennes:

Le tableau 10 donne un résumé sur les normes algériennes (Recommandations des services de l'environnement concernant les immersions des déblais de dragage provenant des enceintes portuaires – 9 novembre 1991 – Ministère Délégué à la Recherche, à la Technologie et à l'Environnement), auxquelles nous ferons référence.

Tableau 10: Normes algériennes pour l'évaluation des micropolluants métalliques dans les sédiments portuaires.

Normes algériennes mg/kg	
Cadmium Cd	3
Chrome Cr	250
Cuivre Cu	150
Mercure Hg	1.5
Plomb Pb	250
Zinc Zn	500
Nickel Ni	75

❖ Selon les normes françaises:

L'évaluation des éléments traces métalliques dans les sédiments est déterminée aussi par les normes françaises, le tableau 11 donne un résumé des concentrations considérées comme « normales » dans les sédiments, auxquelles nous ferons référence.

Tableau 11: Normes françaises pour l'évaluation des micropolluants métalliques dans les sédiments.

Métaux lourds mg/kg	
Arsenic Ar	10
Cadmium Cd	0.6
Chrome Cr	45
Cuivre Cu	26
Mercure Hg	0.2
Plomb Pb	22
Zinc Zn	88
Fer Fe	2000
Manganèse Mn	400
Nickel Ni	45

❖ **Indice de contamination (Ic) :**

C'est le rapport entre la valeur considérée comme normale est ce qui est effectivement observé dans le sédiment. Par exemple, des teneurs en Arsenic de 50 mg/kg dans les sédiments correspondent à un indice de contamination de 5 (= 50/10). Selon la valeur de cet indice, nous avons déterminé trois classes (Tab. 12).

Tableau 12: Indice de contamination pour l'évaluation du type des sédiments.

Indice contamination	Interprétation Agence	Interprétation proposée
$I_c < 3$	Classe 1	Zone Normal
$3 < I_c < 10$	Classe 2	Zone polluée (Pollution)
$10 < I_c$	Classe 3	Zone à risque

2. Les hydrocarbures.

2.1. 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. Constitue une ressource énergétique essentielle pour l'économie, mais est aussi source de gaz à effet de serre suite à l'utilisation massive.

2.2. Utilisation des hydrocarbures.

a. 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 électricité). Les impacts environnementaux de la combustion des hydrocarbures sont considérables : pollution atmosphérique, augmentation de l'effet de serre.

b. 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.

2.3. 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 derniers 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.

2.3.1. Définition du Pétrole.

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 chaînes linéaires, ramifiés ou cycliques, ainsi que des traces 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 lubrifiantes ainsi que comme produits de base en synthèses pétrochimiques.

2.3.2. 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 enfuie à de grandes profondeurs. Sous l'effet de la pression, de l'élévation de la 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.

2.4. 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, vraquiers, 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 et c'est la plus difficile à maîtriser car elle n'est même pas considérée. En Chine par exemple, tout ce qui est déchet industriel 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 t par an), elles représentent environ 10%.

2.5. 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.

2.6. Impacts.

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 du milieu.

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, freinant 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.

- Engluage ou brûlure des tissus si contact direct avec le produit
- Asphyxie et empoisonnement des mollusques
- 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'exploration 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 d'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 plus sur ces zones sinistrées qu'une croûte de terre stérile de près de 2 m de profondeur qui rend le sol inutilisable : les effets de tels épanchements 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 maritimes ;
- Atteinte au tourisme qui dans presque tous les états méditerranéens a une valeur économique fondamentale ;
- Baisse de la qualité de l'eau de mer avec incidences sur ses multiples usages (notamment la baignade).

❖ Action direct.**Par inhalation des gaz:**

Les effets possibles (symptômes) en fonction du pourcentage d'hydrocarbures contenus dans l'air respiré sont :

- Irritation des yeux de la gorge et du nez.
- Sensation de lassitude (déprime).
- Symptômes d'anesthésie (envie de dormir).
- Symptômes d'ivresse (saoule).
- Coma.

Par contact cutané des liquides:

Les effets possibles du contact cutané à court terme sont :

- Dessèchement de la peau.
- Possibilité de dermatoses.
- Eczéma par obturation des pores.

- A long terme, Le contact cutané prolongé favorise le cancer de la peau.

2.7. Moyens de lutte.

L'élimination des hydrocarbures de la surface de la mer où ils ont été répandus, nécessite des techniques d'intervention qui varient selon la nature et les conditions du sinistre dont :

- L'une des premières méthodes utilisées consiste à vaporiser des agents dispersants sur la nappe de pétrole. Mais l'expérience a montré que les dispersants eux-mêmes, ou les émulsions qu'ils forment, peuvent s'avérer plus toxiques que le pétrole.
 - Des barrages (flottants) : pour confiner, collecter et diriger les nappes d'hydrocarbures ;
 - Des écrémeurs : pour récupérer les hydrocarbures sous formes d'émulsion hydrocarbures/eau
 - Des dispersants : agents chimiques réduisant la tension superficielle des hydrocarbures, ils fragmentent la nappe en gouttelettes et favorisent leur biodégradation
 - Des absorbants flottants : utilisés pour fixer et agglomérer le polluant
 - Combustion...etc.
- ❖ Une autre solution en cours d'étude relève de la biotechnologie : elle consiste à répandre sur le pétrole des cultures bactériennes qui décomposent les hydrocarbures et les transforment en boues. Un décanteur recueille les boues qui sont recyclées. On peut ainsi restituer une eau épurée à la nature. Cette solution présente l'inconvénient d'introduire dans l'écosystème marin des colonies de micro-organismes et des nutriments

biochimiques qui peuvent eux-mêmes être nuisibles et porter préjudice à la qualité de l'eau.

2.8. Réglementations.

L'Algérie a adopté un décret exécutif n° 94-279 du 17 septembre 1994 portant organisation de la lutte contre les pollutions marines et institutions de plans d'urgence. Cette organisation repose sur l'institution de plans d'urgence à 3 niveaux :

- Un Plan National d'Urgence (P.N.U) dénommé Plan " Tel Bahr National"
- Des Plans Régionaux d'Urgence (P.R.U) dénommés Plans "Tel Bahr Régionaux" au niveau des 3 façades maritimes, Oran, Alger et Jijel
- Des Plans Locaux d'Urgence (P.L.U) dénommés Plans "Tel Bahr de Wilayas" au niveau des 14 wilayas côtières.
- Le P.N.U, constitue le recueil des informations nécessaires pour permettre aux responsables du pays de prévenir ou de combattre, dans les conditions les moins dommageables, une pollution accidentelle. Le plan a pour objet de définir les responsabilités opérationnelles et de fournir un cadre à une coopération interministérielle indispensable.

3. Les moyens d'études de la pollution chimique.

3.1. Analyse des micropolluants métalliques dans les eaux.

Les métaux sont présents à l'état de traces dans la nature, la difficulté de la quantification de ces métaux réside dans leur très faible concentration et dans la nature de la " matrice " dans laquelle ils se trouvent. (Gaz, liquides, liquides physiologiques, tissus biologiques, terres, boues, sédiments et résidus solides).

Ils existent différentes techniques de dosage des traces, telles la spectrométrie (AAS ou AES), la colorimétrie, la torche à plasma (ICP)...

3.1.1. Différentes méthodes de dosage des métaux:

La plus utilisée c'est :

a. la Spectrométrie d'absorption et d'émission atomiques (SAA ou SEA).

Elle permet de doser une soixantaine d'éléments à l'état de traces.

- En spectroscopie d'émission atomique AES: le détecteur mesure directement l'une des longueurs d'onde caractéristiques émises par l'échantillon atomisé
- En absorption atomique AAS: une lampe à cathode creuse contenant le métal à doser, produit une longueur d'onde caractéristique du métal analysé. Le rayonnement traverse la flamme du spectromètre (T° de 2000 à 3400 K) et il est en partie absorbé par l'échantillon.

b. La colorimétrie.

On utilise des bandelettes dont le principe est proche de celui du papier pH. Différentes substances sont placées sur le bout de la bandelette que l'on trempe dans l'échantillon (nécessairement liquide) que l'on souhaite étudier. On compare ensuite la couleur de la partie trempée dans le liquide avec une référence donnée par le fabricant de la bandelette, et on en déduit une concentration indicative en Cu^{2+} , par exemple.

c. ICP (Inductive Coupled Plasma).

L'analyseur contient une torche à plasma et c'est une version améliorée de la flamme traditionnelle qui permet d'atteindre des températures de l'ordre de 5000 à 10 000K, augmentant ainsi le nombre d'atomes à l'état excité, et donc la sensibilité. Les très hautes températures conduisent à des spectres beaucoup plus compliqués.

3.1.2. Préparation de l'échantillon.

La phase la plus délicate du dosage des éléments traces métalliques est la préparation des échantillons. En effet, ils peuvent être contaminés lors du prélèvement, du stockage, ou par les produits utilisés. Cette préparation diffère en fonction du matériel de mesure, mais surtout de la nature de la matrice contenant l'échantillon.

Voici quelques règles simples à suivre absolument pour effectuer un bon échantillonnage.

a. Prélèvement:

Il faut:

- Prélever les échantillons aussi près que possibles des sources de pollution,
- Utiliser du matériel de conditionnement toujours propre,
- Si l'eau passe par une pompe, ne pas prélever d'échantillon avant au moins 10 minutes de fonctionnement de la pompe,

b. Précision:

Les volumes d'échantillon sont mesurés avec des éprouvettes graduées, sauf pour certains volumes de réactants de l'ordre du ml à rajouter éventuellement, dans ce cas on utilise une pipette.

c. Température:

Pour une précision convenable, il faut que la température soit comprise entre 20 et 27°C.

d. Interférences:

Pour éviter les interférences entre éléments de l'échantillon, on est souvent amené à rajouter des réactifs spécifiques ou à effectuer un traitement préalable.

3.2. Analyse des hydrocarbures totaux.

Les hydrocarbures sont des composés organiques à base de carbone et d'hydrogène provenant de la distillation du pétrole. Les produits pétroliers sont utilisés généralement comme carburant, lubrifiant ou diluant. Lorsqu'ils sont rejetés dans l'environnement, leurs constituants sont altérés par des mécanismes de biodégradation, d'évaporation, etc. et présentent, à l'analyse, des patrons chromatographiques tout à fait différents de ceux des mélanges frais. Les composés observés après la dégradation correspondent en effet aux fractions les plus persistantes du mélange original.

• Principe.

L'échantillon est asséché avec du sulfate de sodium, puis extrait avec de l'hexane à l'aide d'un bain à ultrasons et d'un agitateur mécanique. On ajoute alors du gel de silice à l'extrait afin d'adsorber les substances polaires; puis, il est

analysé par chromatographie en phase gazeuse. Cette technique remplace la spectrophotométrie Infra Rouge (IR).

POLLUTION PHYSIQUE

Chapitre III: Pollution physique

1. Pollution thermique.

La pollution thermique 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.

1.1. 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.

1.2. 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.

1.3. Effets de la pollution thermique.

Cette pollution diffuse peut avoir des effets importants.

- a. 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.
- b. Les effets sub-létaux se traduisent par une modification dans :
 - **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.
- c. 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.
- d. Proliférations des algues entraînant une augmentation de la décomposition bactérienne et donc une diminution de la concentration d'oxygène dissous.

1.4. Lois et réglementations.

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.

2. La pollution radioactive.

2.1. Définition.

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

2.2. 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, 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, provoquant 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.).

2.3 Impacts.

La présence des éléments radio-actifs 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 radio-éléments 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).

2.4. Moyens de 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, empêchant l'iode 131 issue de la radioactivité, de s'y accumuler.

3. Pollution mécanique.

3.1. Définition.

C'est une pollution due aux décharges des déchets et des particules solides (macro-déchets) 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.

3.2. Différentes formes de pollution mécanique.

a. Boues:

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.

b. Solides flottants:

Il s'agit de tout objet flottant comme des sacs en plastique, des morceaux en bois, des bouteilles...etc.

e. Ordures ménagères:

Elles sont représentées essentiellement par des décharges ménagères qui aboutissent directement dans la mer.

3.3. Impacts.

a. Impacts des boues. Les boues présentent deux caractères communs :

- Elles vont entraîner l'altération de la nature du substrat des fonds avec diminution de la clarté de l'eau.
- Chute de l'oxygène,
- Un accroissement de la turbidité des eaux.

❖ Actions directes.

La turbidité acceptable est de l'ordre de 200mg/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.

❖ Actions indirectes.

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

b. Impacts des solides flottants et des ordures ménagères.

- Les solides flottants peuvent entraîner une chute ou même parfois un arrêt de la luminosité, ainsi qu'un enlaidissement de la nature.
- Enchevêtrement : blessures, entrave aux mouvements et affaiblissement qui entraînent parfois la mort.
- Dégradation de la qualité biologique des fonds où ils se déposent.
- Dégradation l'aspect esthétique des côtes pouvant entraîner des répercussions sur l'économie touristique.
- Ils sont parfois souillés par des déchets toxiques et ils peuvent être coupants.

3.4. Moyens de lutte.

La lutte contre la pollution par les macro-déchets reste encore à organiser au niveau national et international.

La gestion des macro-déchets s'avère irrégulière et ne bénéficie pas d'une politique publique globale concertée avec des objectifs et des moyens précis. Les communes n'ont pas de cahier des charges leur expliquant les efforts de nettoyage qu'elles doivent fournir en dehors des entretiens des plages en été en période estivale.

4. Les moyens d'études de la pollution physique.

4.1. Analyse de la radioactivité.

L'irradiation d'un organisme entraîne des effets qui peuvent être plus ou moins néfastes pour la santé, selon les doses de radiation reçues, la durée d'exposition (aiguë ou chronique) et le type de rayonnement concerné. Pour cette raison, il est impératif d'identifier la zone de contamination et sa dose afin d'essayer d'y remédier au plus vite. Les seuls moyens utilisés actuellement sont **les détecteurs de radiation** exemple les détecteurs Gamma (fig.15).



Figure 15: Détecteurs de radioactivité.

(Google, 2018).

4.2. Détection de la pollution thermique.

Cette pollution thermique, menace l'écosystème marin et affecte, par contrecoup, les populations humaines. La technique est appliquée actuellement c'est : **La télédétection infrarouge thermique**, elle consiste à mesurer l'énergie

radiative émise par la surface terrestre, ce qui permet de déduire la température de la surface de la mer. Par conséquent, en détectant le rayonnement émis par la terre, il est possible de cartographier de petites variations de température à la surface de la mer et d'identifier les anomalies thermiques (fig. 16).

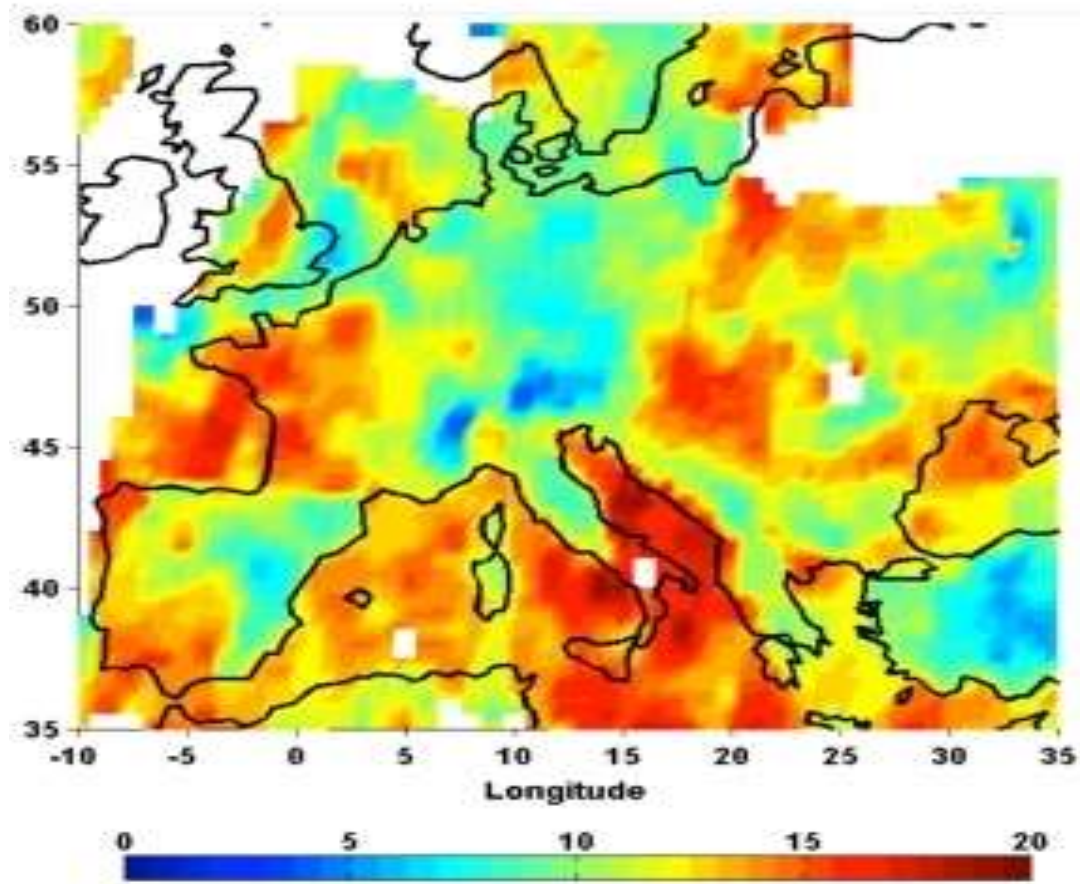


Figure 16: Observation satellitaire de la pollution en infrarouge thermique de la surface terrestre et 3 km au-dessus du niveau de la mer (Cuesta, 2013).

EPURATION DES EAUX

Chapitre IV: Epuration des eaux

1. Définition de l'autoépuration.

Ensemble des processus biologiques, chimiques ou physiques permettant à un écosystème (rivière, lacs, 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.

2. Définition de l'épuration des eaux.

Opération de purification des eaux usées pour les débarrasser de tout élément polluant avant de les recycler et les rendre propre à certains usages.

3. Description d'une station d'épuration.

3.1. Définition.

Une station d'épuration est une usine de dépollution des eaux usées avant leur rejet au milieu naturel, en général dans une rivière. Les eaux résiduaires sont collectées dans les réseaux d'assainissement (égouts et collecteurs) qui permettent leur écoulement jusqu'à la station d'épuration (fig. 17).



Figure 17 : Photographie d’une station d’épuration
(Google, 2018).

3.2. Provenance des eaux usées.

Les eaux résiduaires admises sur une station d’épuration comprennent généralement :

- **Les eaux ménagères** provenant des cuisines et du lavage, contenant essentiellement des matières organiques (graisse, protéines,) et des produits chimiques (produits d'entretien, détergents...).
- **Les eaux-vannes** provenant des sanitaires et contenant des matières organiques biodégradables et des micro-organismes.

- **Les eaux pluviales**, lorsque le réseau d'assainissement est de type unitaire, qui véhiculent des matières végétales (feuilles, branches, ...) ou minérales (sables,...).
- **Les eaux résiduaires industrielles**, dont la nature est compatible avec le traitement assuré par la station d'épuration (c'est-à-dire notamment biodégradables et non toxiques).

3.3. Fonctionnement.

Un relevage est généralement effectué. Il est constitué d'une pompe ou d'une vis sans fin : il remonte les eaux usées de plusieurs mètres pour permettre un écoulement gravitaire d'un bout à l'autre du traitement (fig.18). Les étapes de l'épuration sont les suivantes:

- Le traitement primaire.
- Le traitement secondaire.
- Le traitement tertiaire.



Figure 18 : Fonctionnement d'une station d'épuration

(Google, 2018).

3.3.1. Le traitement primaire.

Il consiste à débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus grossiers (dégrillage, déssablage, dégraissage, déshuilage). Ce sont de simples étapes de séparation physique.

3.3.2. Le traitement secondaire.

A. Traitement biologique:

Elle consiste à mettre la matière organique contenue dans les eaux usées au contact d'une masse bactérienne active en présence ou absence d'oxygène (aérobie ou anaérobie). Celle-ci va se nourrir de la matière organique et la dégrader. A l'issue de ce processus, les bactéries constituent les “boues” qui devront être séparées de l'eau épurée.

Suivant la technologie utilisée, ces cultures bactériennes peuvent être libres (boues activées) ou fixées (lits bactériens et biofiltres).

- Les boues activées.

Les micro-organismes évoluent dans une solution maintenue en agitation et alimentée en oxygène par brassage.

- Le lit bactérien.

Utilisé pour les eaux très chargées (agro-alimentaire, apports viticoles...), il est constitué d'un bassin rempli, roche poreuse d'origine volcanique sur laquelle les micro-organismes forment une pellicule.

- La biofiltration.

Cette technique est surtout utilisée pour le traitement des eaux urbaines. Elle utilise comme support, un matériau granulaire qui assure la rétention des matières en suspension par filtration.

- **Autres procédés biologiques.**

Les techniques membranaires (ou microfiltration).

Elles ne sont actuellement utilisées que pour l'épuration des eaux industrielles (papeterie, mécanique, agro-alimentaire). Constituées de membranes permettent de retenir des éléments de très faible taille. Ces techniques présentent deux avantages : compacité et production moindre de boues.

La méthanisation.

C'est un processus biologique anaérobie (sans air) conduisant à la production de gaz carbonique et de méthane (combustible). Il est utilisé essentiellement dans l'industrie agro-alimentaire.

Le lagunage.

Le lagunage naturel est un procédé d'épuration extensif, consistant à faire séjourner les eaux usées dans plusieurs bassins successifs, de grande taille, peu profonds (moins de 1,50 m) et étanches (trois en général, dont le dernier est planté de végétaux).

B. Traitement physico-chimique:

Par coagulation/floculation (fig. 19) et donne des « flots » qui passent sur un séparateur de types décanteur ou flottateur à air dissous.

Le traitement physico-chimique est une technique qui est souvent utilisé pour le traitement des eaux usées rejetés par les industries chimiques et les industries des métaux qui contiennent des toxiques ou le traitement biologique n'est pas efficace dans ce genre de pollution car les toxines détruiraient les micro-organismes.

L'épuration physico-chimique est appliquée pour l'élimination des métaux lourds, huiles et graisses, les pièces flottantes, émulsions organiques, du phosphore, ...

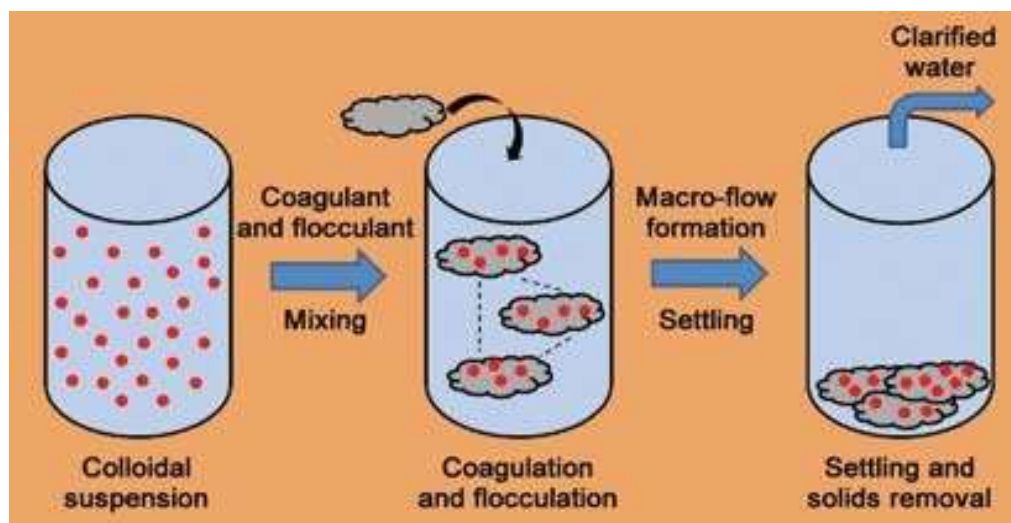


Figure 19 : Traitement coagulation- flocculation

(<https://wcponline.com/2014/04/17/overview-coagulation-flocculation-technology/>)

3.3.3. Le traitement tertiaire.

Le traitement tertiaire (ou avancé) enlève les substances dissoutes, comme la couleur, les métaux, les produits chimiques organiques et les substances nutritives comme le phosphore et l'azote. Il y a un certain nombre de processus de traitement physiques, chimiques et biologiques qui sont utilisés pour le traitement tertiaire : filtration sur charbon actif, ozonation, traitement UV...

3.4. Le devenir des déchets.

3.4.1. Devenir de la boue qui résulte du traitement:

- L'épandage agricole sous forme liquide, pâteuse, ou à l'état de compost (fig.20),
- La mise en décharge (cette solution doit être progressivement abandonnée),
- L'incinération dans un four spécifique ou avec les ordures ménagères (appelée co-Incinération).



Figure 20 : Epandage des boues d'épuration.

(<https://www.zoom-nature.fr/epandage-des-boues-depuration-une-bombe-a-microplastiques/>)

3.4.2. Devenir des autres déchets:

Les déchets retenus au dégrillage et au dessablage sont évacués en décharge avec les ordures ménagères. C'est aussi fréquemment la destination des graisses.

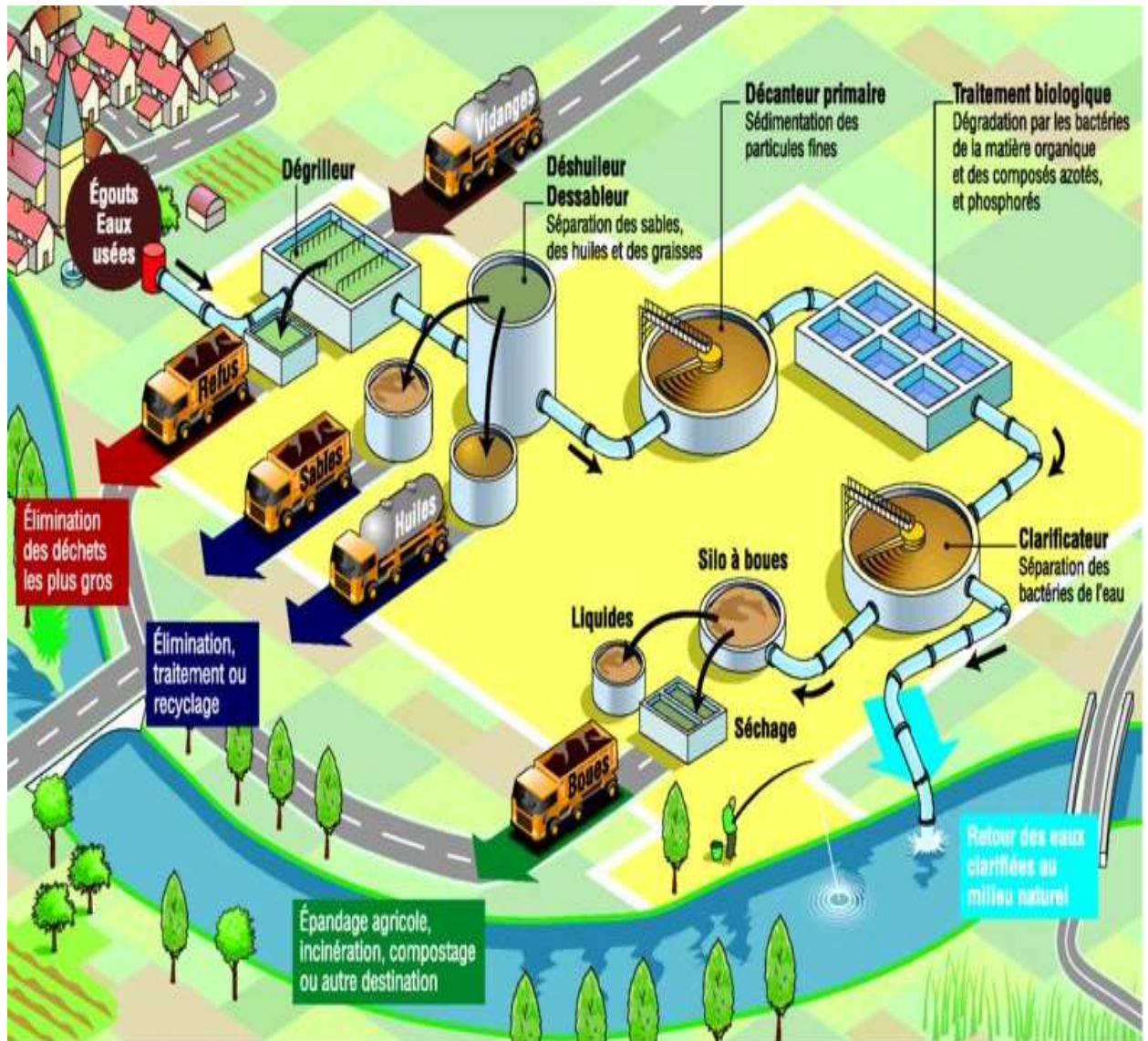


Figure 21 : Schéma montrant le fonctionnement global d'une station d'épuration.

(<https://eduterre.ens-lyon.fr/nappe/html/Ressources/les%20stationsd-epuration>)

***REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES***

Références bibliographiques

Bourgeois C.M., Mexels J.F. et Zuccas J., 1980. Aspect microbiologique de la sécurité de la qualité alimentaire. pp 3-51.

Communauté européenne., 1991. Directive du conseil européen, fixant les règles régissant la production et la mise sur marché de mollusques bivalves vivants (91/492/CEE) du 15 juillet 1991, modifié par l'arrêté du 21 juillet 1995. J.Off.Comm.Europ., 1-17. *In* China B., De Schaetzen M A., Daube G., 2003. Les mollusques bivalves, des aliments dangereux ? Ann. Méd. Vét., 147 : 413-422. Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Laboratoire de microbiologie des denrées alimentaires. Belgique.

Creteur X., 1998. Pollution microbienne des eaux: origine et mécanismes. Mém. D.U. « Eau et Environnement », D.E.P., Univ. de Picardie Jules Verne, Amiens, 60 p.

Cuesta J., Eremenko M., Liu X., Dufour G., Cai Z., Höpfner M., von Clarmann T., Sellitto P., Foret G., Gaubert B., Beekmann M., Orphal J., Chance K., Spurr R. and Flaud J.-M., 2013. Satellite observation of lowermost tropospheric ozone by multispectral synergism of IASI thermal infrared and GOME-2 ultraviolet measurements over Europe, Atmos. Chem. Phys., 13, 9675-9693, doi: 10.5194/acp-13-9675-2013.

Dahel A.T., 2009. Analyse de la qualité bactériologique des eaux du littoral Nord-Est algérien à travers un bioindicateur la moule *Perna perna*. Mémoire de magister. Univ Badji Mokhtar. Annaba. 185p.

Directive européenne., 1975. Directive du conseil fixant les règles régissant les eaux de baignade, reprise par le décret exécutif n° 91-980 du 20 septembre 1991. J.Off.Comm.Europ et par le décret exécutif N° :93-164 du 10 juillet 1993. JORA N° 46.

Guiraud P.J., 2003. Microbiologie alimentaire. Dunod, Paris, pp 15.

JORA., 1993. Journal Officiel de la République Algérienne n° 46 décret exécutif n° 93-164 du 10/07/1993.

IFREMER, 2001.Rapport d'activités 2001 des laboratoires côtiers et du service régional. Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral. Nantes P299

Ménesguen A., 2001. L'eutrophisation des eaux marines et saumâtre en Europe, en France. Rapport IFREMER pour la commission Européenne, DEL/EC/01.02.

Weite B., Blés N .et Montiel A., 1983. Etude des différentes méthodes de spéciation des métaux lourds dans les sédiments II. Applications Study of the different methods of speciation of heavy metals in the sediments II. Jour Env Tech Letters. Vol 4, 1983-Issue 5. P 223-238.

Weité B. et Montiel A., 1983. Etude des différentes méthodes de spéciation des métaux lourds dans les sediments: II. Applications. Env. Techn. Letters, 4, 223 - 238.

Livres disponibles à la bibliothèque de l'Université:

- Analyse des contaminants organiques (herbicides, PCB, OCP, HAP) dans les eaux estuariennes et marines côtières (2005). Tranczynski/Munschy).
- Chimie et pollution des eaux souterraines. (Référence : 707.Chi-C1/167).
- La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire (Référence : 707.Pol-C1/235).
- L'eau : tome 2 : usage et pollution (référence : 707.Eau-C1/105).
- Les marqueurs biologiques des effets de polluants: l'acétylcholinestérase (2004). Galgani F. / Bocquené G.
- L'eutrophisation des eaux marines et continentales (Référence : 707.Eut-C7/12).
- Marées noires et environnement (2005). Institut Océan.

- Marées noires et sols pollués par les hydrocarbures : enjeux environnementaux et traitement des pollutions (2006). Technip.
- Surveillance de l'environnement littoral et côtier (1998). Ifremer.

Sites internet:

<https://experteau.com/services/analyse-bacteriologique.php>

<https://experteau.com/services/analyse-bacteriologique.php>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Bioaccumulation>

<https://wcponline.com/2014/04/17/overview-coagulation-flocculation-technology/>

<https://www.zoom-nature.fr/epandage-des-boues-depuration-une-bombe-a-microplastiques/>

<https://eduterre.ens-lyon.fr/nappe/html/Ressources/les%20stationsd-epuration>