

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

*Institution de la Recherche et de l'Enseignement
Supérieur Agricoles*



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Carthage

INSTITUT SUPERIEUR DE PECHE ET D'AQUACULTURE DE BIZERTE

*Unité d'Enseignement : **BIOLOGIE II***

ECUE: Microbiologie aquatique (fondamental)

(18 heures de cours)

1^{ème} Année Licence Appliquée

Préparé par :

Imen BOUKEF-BEN OMRANE

SOMMAIRE

Chapitre I : Généralités

1. Communauté microbienne aquatique
2. Aspects d'anthropisation hydrique des milieux aquatiques

Chapitre II: Traitement biologiques des eaux usées

- I. Le pré traitement
- II. Le traitement primaire
- III. Le traitement secondaire : traitement biologique
 1. Principe du traitement biologique
 2. Traitement biologique à culture libre (par boue activée)
 3. Traitement biologique par lagunage naturel
 4. Traitement biologique par lit bactérien (biomasse fixée)

Chapitre III : Diversité microbienne et environnement physique

Introduction

- I. Les germes indicateurs de la contamination fécales (GICF)
 - a. Les coliformes totaux et fécaux
 - b. Les entérocoques fécaux
- II. La survie microbienne dans le milieu marin (la forme VBNC)
- III. Les microorganismes pathogènes des milieux aquatiques
- IV. Les biofilms
- V. Les microorganismes des milieux océaniques profonds:

Chapitre IV : Réseaux trophiques marins

- I. Photosynthèse et réseaux trophique
- II. Plancton autotrophe
- III. Boucle microbienne
 1. Matière organique particulaire inerte
 2. Bactéries hétérotrophes
 3. Boucle microbienne
- IV. Interaction microbienne

Chapitre V : Réglementation sanitaire des zones de production de coquillage

Généralités

- I. Classement des zones de production conchylicole
- II. Réglementation sanitaire des produits conchylicoles

Chapitre I : Généralités

Les mers et les océans représentent 97% de la totalité des eaux terrestres. Cette eau est en majeure partie à une température de 2 à 3°C, partiellement sans lumière et à 62% sous haute pression (> 100atm). Les phytoplanctons microscopiques et les bactéries associés créent un réseau alimentaire complexe à différentes profondeurs.

Contrairement à l'environnement marin vaste, les zones côtières sont affectées par la pollution et les activités humaines qui perturbent les processus microbiens et détériorent la qualité de l'eau.

Les eaux douces ne représentent qu'une petite partie des eaux terrestres et sont très importantes comme source d'eau potable. Leur contamination par les déchets domestiques et industriels est à l'origine de problèmes environnementaux en de nombreux endroits.

I. Communauté microbienne aquatique

Le mélange et le mouvement des éléments nutritifs, de l'oxygène et des déchets qui se produisent dans les milieux d'eaux douces et marins sont les facteurs contrôlant la communauté microbienne.

Le plancton autotrophe (ou phytoplancton) constitue la communauté dominante du peuplement des eaux pélagiques et est responsable de la photosynthèse. Il est composé de microplancton autotrophe de taille 20-200µm (diatomées), nanoplancton autotrophe de taille 2-20 µm et picoplancton autotrophe de taille de 0,2–2 µm (algues unicellulaires eucaryotes et bactérioplancton procaryotes).

II. Aspects d'anthropisation hydrique des milieux aquatiques (schéma)

Actuellement, la majorité des écosystèmes aquatiques côtiers dans le monde sont marqués par d'importants apports polluants suite à l'augmentation des activités anthropiques sur le littoral (figure 1).

- i- Activité touristique : consommation d'eau importante, rejets **d'eaux usées** dans les mers et les estuaires, urbanisation et bétonnage du littoral (Ports de plaisance), rejets des bateaux de croisière,....
- ii- Activité agricole littorale : l'épandage d'engrais agricole est la première source de phosphore et d'azote dans les eaux côtières → **Eutrophisation**. Il faut noter

également que la conchyliculture peut affecter la qualité biologique des sédiments sous les tables d'élevage de ces bivalves.

- iii- Rejets d'émissaires en mer : ces rejets causent des envasements en plus de la disparition de la vie marine. Les stations d'épuration (STEP) diminuent ce phénomène et font chuter le taux des bactéries de 50 à 90%. Cependant, le rendement limité des STEP permet aux bactéries dont certaines sont pathogènes d'atteindre le milieu marin

Chapitre II : Traitement biologique des eaux usées

Les eaux usées d'origine domestiques ou industrielles sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être traitées dans des STEP avant d'être rejetées dans le milieu naturel.

I. Le prétraitement :

C'est un traitement physique ayant pour but d'éliminer les particules solides les plus grossières qui peuvent gêner les traitements ultérieurs.

- **Dégrillage** : consiste à faire passer les EU à travers une grille avec des barreaux plus ou moins espacés (2 à 6 cm) afin de retenir les éléments les plus grossiers.

- **Dessablage/ dégraissage** : il s'agit de faire passer l'eau dans des bassins avec un ralentissement de la vitesse d'écoulement pour que (i) les sables se déposent et (ii) les graisses flottent. L'injection de fines bulles d'air dans le bassin permet de faire remonter les huiles et les graisses en surface ; les écumes de graisse sont alors raclées dans des séparateurs de graisses. Les sables sont récupérés par pompage au fond du bassin.

NB. Les graisses gênent le traitement biologique lors de l'aération de surface et le sable peut boucher les canalisations.

II. Traitement primaire :

Après le prétraitement, il reste dans l'eau une charge polluante dissoute (MOD) et des matières en suspension (MES) qu'il faut éliminer par technique de décantation.

- **Décantation** : elle s'effectue dans des bassins de forme conique qui permettent d'éliminer jusqu'à 70% de la matière minérale et organique en suspension qui se déposent au fond du bassin.

b) Pour améliorer la décantation, des agents coagulant et floculant sont ajoutés tels que : sels de fer ou d'alumine, chaux,.... Ainsi les particules en suspension s'agglomèrent et se

précipitent au fond du bassin pour former une couche de boues appelée boue primaire et qui sera récupérée par raclage au fond du bassin.

c)

III. Traitement secondaire : traitement biologique

Le traitement secondaire est souvent réalisé par voie biologique. Les techniques les plus répandues sont (i) **boues activées** (processus aérobie) (ii) **lagunage naturel** (caractérisée par un temps de séjour long \pm 3 mois)

1. Principe du traitement biologique :

Il s'agit du même principe pour les différents procédés et qui consiste à utiliser les microorganismes pour dégrader la MOD des EU prétraitées. L'épuration biologique se pose sur deux phénomènes (i) sédimentation de la MES (ii) et activités biologiques des microorganismes.

De nombreux micro-organismes ayant différentes vitesses de croissance, tels que les bactéries, les algues, les champignons et les protozoaires sont associés à ce processus de dégradation.

2. Traitement biologique à culture libre (boue activée)

L'épuration par boues activées consiste en première phase à mettre en contact les EU avec un mélange riche en microorganismes par brassage (Fig.1).

Ces microorganismes hétérotrophes aérobies (se nourrissent de composants organiques dans le milieu) se développent dans les boues au fond du bassin et dégradent la matière organique dissoute ou en suspension dans l'eau usée. L'aération des bassins est indispensable pour introduire l'**oxygène** et **maintenir les microorganismes en mélange avec les EU**.

Ces microorganismes ont tendance à s'agglomérer en flocons plus ou moins compacts ; ces flocons retiennent les matières en suspension dans l'eau avant leur assimilation par les microorganismes.

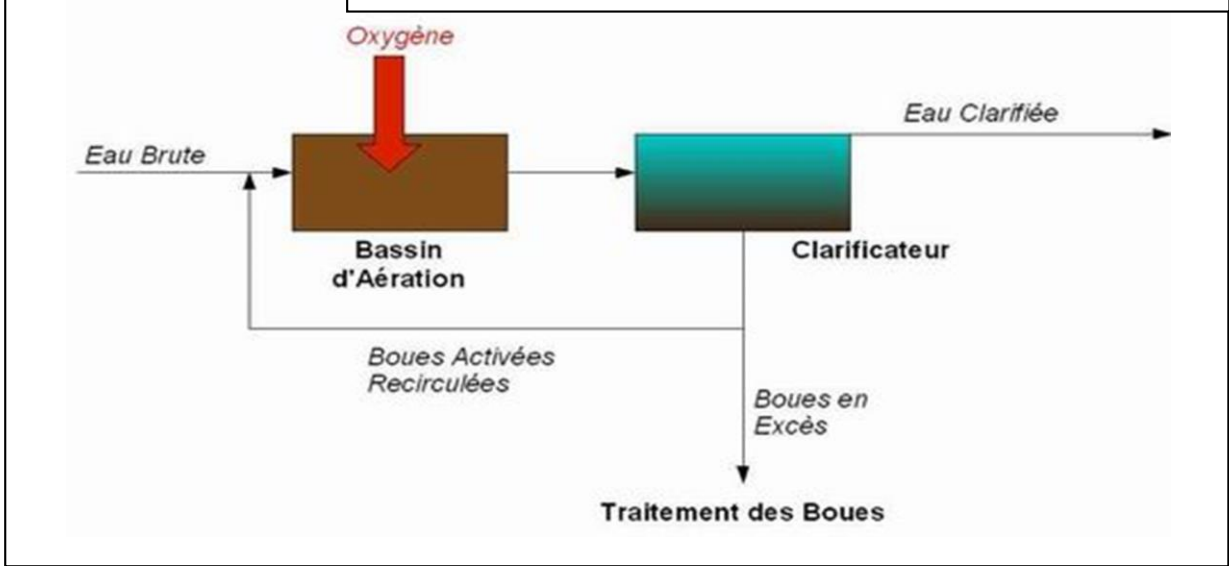
En deuxième phase, la séparation de l'eau traitée et la masse des bactéries (sous forme de boues) se fait dans un autre bassin spécifique : clarificateur. La séparation se fait par décantation. Les boues extraites du clarificateur sont renvoyées dans le bassin précédent.

Composition de la boue :

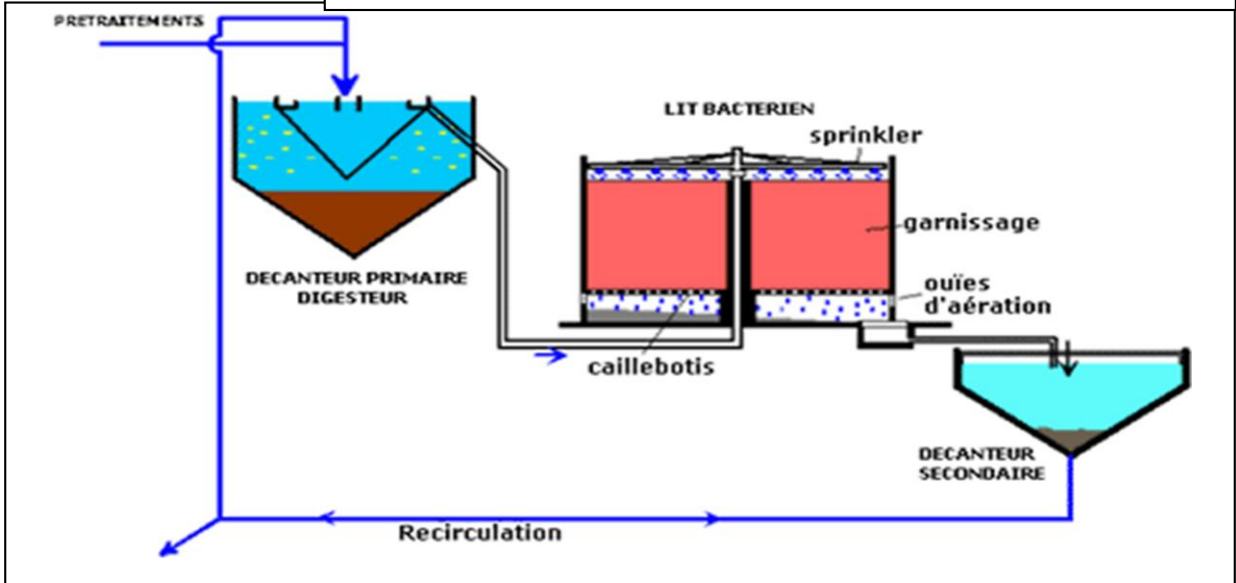
La boue activée est constituée de l'ensemble des flocons et de l'eau interstitielle.

- **Le liquide interstitiel** représente les eaux usées traitées

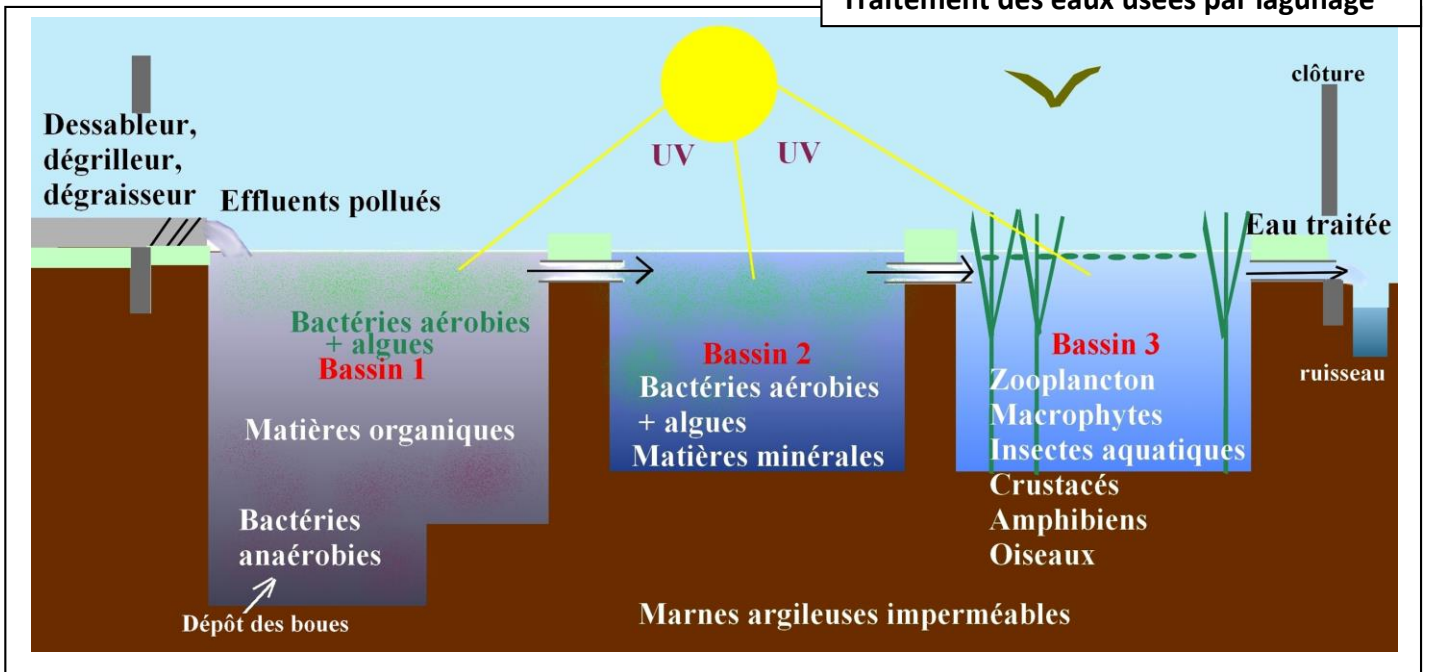
Traitement des eaux usées par technique de boues activées



Traitement des eaux usées par technique de lit bactérien



Traitement des eaux usées par lagunage



- **les floccs** sont des agglomérations de particules diverses et des microorganismes (figures 3) protozoaires et métazoaires (rotifères) qui participent à (i) l'élimination des bactéries libres qui constituent leur proies et à (ii) la cohésion des floccs par leur déjections.

→ Les floccs sains capables de décantation sont compacts. Au contraire les floccs mal formés présentent des condensations de microorganismes filamenteuses qui retardent la décantation. Un filament bactérien (figure 4) est une colonie de cellules qui après division cellulaire ne se séparent pas.

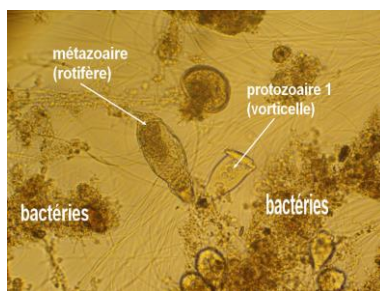


Figure 3 : Composition de la boue

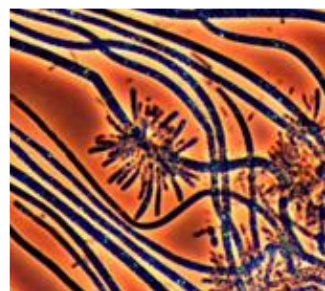


Figure 4 : Un filament bactérien

3. Traitement biologique par lagunage naturel (étang d'oxydation)

Il constitue un écosystème épuratoire type des eaux usées domestique, amenées sur le site du lagunage par les égouts.

Ces eaux parviennent dans un 1^{er} bassin peu profond (1,2 m) ensuite l'eau transite dans d'autres bassins.

Dans le 1^{er} bassin (dizaine de jours), la minéralisation de la matière organique dissoute (MOD : $(CH_2O)_n$) est assurée par les bactéries aérobies en présence d'oxygène (O_2) qui donne du gaz carbonique (CO_2), nitrate (NH_3), phosphate (PO_4H_2).

Au fond, les sédiments anoxiques sont colonisés par les bactéries anaérobies. La matière organique accumulée dans les sédiments est dégradée par ces bactéries selon le processus de fermentation avec dégagement gazeux fixés par les micro-algues :

Bactérie Anaérobies → fermentation de la MO Sédimentaire → CO_2 et CH_4 → microalgues.

Dans le 2^{ème} bassin, ces composés vont être assimilés par les microalgues exposés à la lumière du soleil pour couvrir leur besoin métabolique lors de la photosynthèse.

$(CO_2, NH_3, PO_4H_2) \rightarrow$ microalgues/ (lumière) → photosynthèse → $O_2 \rightarrow$ Bactéries (minéralisation de la MO) →

MOD, $(\text{CH}_2\text{O})_n \rightarrow (\text{CO}_2, \text{NH}_3, \text{PO}_4\text{H}_2) \rightarrow \text{microalgues/ (lumière)} \rightarrow$
photosynthèse $\rightarrow \text{O}_2$

Tout au long du cheminement de l'eau et sous l'action du soleil, les bactéries sont éliminées par le rayonnement UV naturel.

Un 3eme bassin termine le processus d'épuration des eaux riches en microalgues avec les zooplanctons.

Conclusion :

L'épuration des eaux usées urbaines, ne rends pas l'eau pure, mais elle en retire le plus de déchets et de contaminant microbiologique et chimique afin que leur impact sur la qualité des eaux côtières (lagune, lac, oueds,...) du milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible.

NOTE : Les valeurs paramétriques imposées au déversement dans le milieu sont appelées des normes d'émission ou de rejets.

Chapitre III

Diversité microbienne et leur environnement physique

Introduction :

L'eau est un milieu qui permet la survie et le développement d'une grande variété de microorganismes. En générale, les microorganismes présents dans les milieux aquatiques naturels constituent deux groupes selon leur niche écologique naturelle:

(i) **les microorganismes allochtones** qui sont apportées dans les milieux aquatiques alors que ceux-ci ne constituent pas leur habitat naturel. Ainsi, la population microbienne allochtone est composée en majorité par des **entérobactéries** rejetées par les effluents hydriques.

(ii) **les microorganismes autochtones** : Sont des microorganismes naturellement présents dans les écosystèmes aquatiques et ils jouent un rôle considérable dans les cycles biochimiques de divers éléments.

I. Les germes indicateurs de la contamination fécale (GICF) :

Ces germes recherchés en routine conformément aux réglementations, appartenant à la famille des entérobactéries. Ce sont les coliformes et on distingue les coliformes totaux (CT) et les coliformes thermotolérants (CTT) ou Fécaux.

- i- Les coliformes totaux (CT)** sont des entérobactéries qui fermentent le lactose à 30°C.
- ii- Les coliformes thermotolérants ou fécaux**, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à 44,5 °C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli* (*E.coli*) et, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella*. La bactérie *E.coli* représente toutefois 80 à 90 % des coliformes thermotolérants détectés (Edberg et al., 2000).

Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'effluents enrichies en matière organique (OMS, 2000). C'est pourquoi il serait plus approprié d'utiliser le terme générique « coliformes thermotolérants » plutôt que celui de « coliformes fécaux » (OMS, 1994).

L'intérêt de la détection de ces coliformes, à titre d'organismes indicateurs, réside dans le fait que leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries pathogènes et que leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales (CEAEQ, 2000).

Les coliformes fécaux sont aussi de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau, mais comme leur nombre est moins élevé que celui des coliformes totaux, ces derniers leur sont préférables pour cette fonction (Robertson, 1995).

b) Les entérocoques fécaux (EF) : Les entérocoques ou les streptocoques fécaux ou encore les entérocoques intestinaux sont des espèces appartenant au genre *Entérocooccus* ou *Streptococcus*, isolés dans les eaux usées, les eaux côtières ou dans l'eau de mer (attachées aux planctons).

Les coliformes totaux	Les entérocoques fécaux
Gram ⁻	Gram ⁺
Bâtonnets	Cocci, regroupement en chaînette
Caractère de détection : fermentent le lactose (ajouté dans leur milieu de culture)	Caractère de détection : hydrolyse l'esculine (ajouté dans leur milieu de culture)
Croissance à 37 °C (41 °C pour les CF)	Croissance à 37 °C

II. La survie des entérobactéries dans les écosystèmes aquatiques

Lorsque les entérobactéries sont rejetés dans un environnement aquatique naturel, leur survie sera contrôlé par plusieurs facteurs abiotiques (figure 6): le rayonnement solaire, la température, la salinité (choc hyperosmotique), la prédation par les protozoaires et le manque des nutriments (milieu oligotrophe).

Ces germes perdent leur capacité à croître sur des milieux de culture gélosés au laboratoire et ils deviennent des cellules viable mais non cultivable (**VBNC**).

Les formes viables non cultivables (VBNC) : sont des bactéries allochtones caractérisées par des changements physiologiques et morphologiques :

- ✓ leur incapacité de former des colonies dans les milieux de culture bactériologiques standard → *une forme naine qui échappe à la filtration (0,22µm). d'où la technique de marquage de l'ADN et l'épi fluorescence (les cellules totales) voir la suite*
- ✓ une réduction de leur taille cellulaire
- ✓ l'inactivation des processus de biosynthèses
- ✓ une réduction de l'activité métabolique
- ✓ une diminution dans le contenu d'ARN et en ADN
- ✓ une inactivation de la multiplication cellulaire

Les VBNC sont détectées par technique de cytométrie en flux et par microscopie en épifluorescence (qui se basent sur le marquage de l'ADN des cellules bactériennes par des fluorochromes permettant leur détection). On peut également se baser sur les techniques moléculaires pour détecter les VBNC.

Ces cellules peuvent être réactivées quand les conditions seront favorables à leur croissance. (Après la consommation de produits de la mer contaminés, les bactéries pathogènes

trouvent un habitat idéal dans les intestins de l'homme et peuvent ainsi se réveiller et retrouver leur activité métabolique et leur potentiel de virulence.

D'autre part, dans les sédiments, les entérobactéries peuvent trouver des éléments favorables à leur survie. En effet dans la matière organique dissoute, il existe des éléments nutritifs facilement assimilables par les bactéries, mais aussi, **des osmoprotecteurs** (potassium, proline, betaine, tréhalose, glutamate, glutamine) qui leur permettent d'équilibrer la pression osmotique et d'éviter la perte de l'eau du cytoplasme ainsi que de protéger le métabolisme cellulaire.

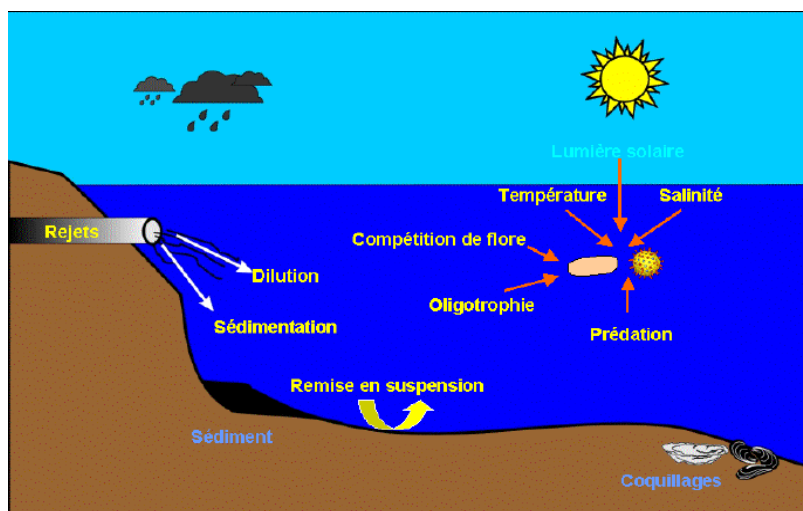


Figure 6 : Les facteurs de stress dans les écosystèmes aquatiques naturel

III. Les microorganismes pathogènes des milieux aquatiques

Un grand nombre d'infections humaines d'origine hydrique sont causées par des microorganismes qu'il s'agisse de virus, de bactéries ou encore de protozoaires. Ces microorganismes sont soit naturellement présents dans les environnements aquatiques, soit transférés au sein de ces derniers *via* des sources d'origine fécale. Ils séjournent dans ces environnements pendant un temps plus ou moins long avant de contaminer un nouvel hôte.

1- *Campylobacter* :

L'eau environnementale peut être contaminée par le *Campylobacter* (genre) via la faune, les stations de traitements des eaux usées, les rejets d'abattoirs et le ruissellement à travers les sols contaminés (La contamination récurrente des terres agricoles par *Campylobacter* proviendrait majoritairement de l'épandage de fumier)

Campylobacter est omniprésent dans les eaux environnementales comme deuxième réservoir présentant des → toute eau exposée à l'environnement naturelle ou affectée par l'être humain tels les lacs, rivières, marais, bassins de rétention d'eau, l'eau d'irrigation, etc.

Elle peut contaminer les crustacés et les coquillages et elle est responsable de gastro-entérites chez l'homme.

2- *Cyanobactéria* (Cyanobactéries) :

Le développement excessif d'algues et en particulier les cyanobactéries, représente un risque sanitaire important pour la santé humaine et animale du fait certaines espèces peuvent produire des toxines et donc contaminer les eaux douces ou marines.

Les cyanobactéries (ou cyanophytes) sont des microorganismes phytoplanktoniques et possèdent à la fois des propriétés communes aux algues et aux bactéries :

- Comme les algues, elles possèdent la chlorophylle et utilisent la lumière comme source d'énergie.
- Ce sont également des microorganismes procaryote : ont une paroi cellulaire, n'ont pas de membrane nucléaire et de reproduction asexuée.

Cent cinquante genres de cyanobactéries peuvent produire des molécules toxiques (endotoxine) pour les mammifères (poissons et hommes).

3- *Escherichia coli* producteurs de Shiga-Toxines (STEC) :

C'est un groupe d'entérobactéries appartenant au genre *Escherichia* et constituent des germes émergents et potentiellement pathogènes pour l'homme (gastro-entérites). L'eau constitue leur deuxième réservoir. Selon l'OMS (organisation mondiale de la santé) la STEC a été isolé *dans des* mares et cours d'eau, dans des puits et des citernes et on a observé qu'elle survivait pendant des mois dans le fumier et les sédiments des citernes.

On a signalé des cas de transmission hydrique, à la fois par de l'eau de boisson contaminée et des eaux à usage récréatif.

4- *Legionella*

Les *legionella* sont des germes ubiquistes qui se rencontrent dans les eaux douces des lacs, des rivières et des eaux thermales ainsi que sur les sols humides et les biofilms (température entre 20°C et 60°C).

A partir de ces milieux naturels, ces germes peuvent contaminer les milieux hydriques artificiels : réseaux de distribution d'eau chaude, systèmes de refroidissement, tours aëroréfrigérantes humides (Tars),....

Les légionelles peuvent également coloniser des microorganismes de ces milieux hydriques tels que des cyanobactéries, des protozoaires ciliés et des amibes

5- *Listeria*

Les *listeria* et notamment *Listeria monocytigenes* sont des bactéries ubiquistes. Ils sont détectés dans les eaux douces et marines, les estuaires, les eaux usées urbaines et industrielles ainsi que les coquillages vivants. Pathogène pour l'homme → listériose.

6- *Salmonella, Shigella et Yersinia* :

Ce sont des entérobactéries, qui peuvent être véhiculées par l'eau

7- *Vibrio* :

Les *Vibrio*, de la famille des *Vibrionaceae*, sont des bactéries des eaux douces, saumâtres ou marines suivant les espèces, en fonction de leur tolérance (halotolérantes) ou de leurs exigences (halophiles) en chlorures de sodium.

Les *Vibrio* sont des bâtonnets gram négatifs droits ou incurvés, halophiles, possédant des flagelles polaires. Ils sont des microorganismes des milieux aquatiques, capables de coloniser plusieurs organismes : poissons, mollusques, crustacés, éponges, coraux

Certaines espèces sont pathogènes pour l'homme (*Vibrio Cholerae*) alors que d'autres le sont pour les animaux aquatiques :

- ✓ *Vibrio cholériques* des eaux douces et marines et sont halotolérants (jusqu'à 3% de NaCl). Certaines souches sont pathogènes pour l'homme (*Vibrio cholerae*, engendrent le choléra).
- ✓ *Vibrio* halophiles isolés dans les eaux côtières saumâtres et dans les espèces aquatiques (coquillages, crustacés et poissons). Ils se développent en présence de sel (3%NaCl) et tolèrent jusqu'à 6 à 8% de NaCl :
 - *Vibrio parahaemolyticus* : une espèce isolée en mer Méditerranée, tolérant de 8 à 10 % NaCl. Cette espèce est à l'origine de toxi-infection sévère chez l'homme après consommations de bivalves ou poissons contaminés crus ou peu cuits.
 - *Vibrio vulnificus* ne présentent pas de risques sanitaires majeurs pour l'homme
 - *Vibrio alginolyticus* : c'est l'espèce la plus dominante dans l'environnement marin
 - *Vibrio tapetis* : Espèce potentiellement pathogène pour la palourde japonaise, *Ruditapes philippinarum* et provoque une mortalité massive (la maladie de l'anneau brun)
 - *Vibrio anguillarum* : Espèces pathogènes pour les poissons.

- *Vibrio coralliilyticus* et *Vibrio mediterranei* sont des espèces pathogènes pour les coraux.

NB. Dans l'eau de mer, les *Vibrionaceae* peuvent être accumulées par les invertébrés filtreurs. Ce processus de filtration peut aboutir à leur concentration et établir une relation commensale avec l'hôte sans causer de maladie. Mais, certaines espèces pathogènes de *VB* peuvent résister aux mécanismes de défenses cellulaires (phagocytose) des bivalves et prolifèrent dans les tissus et provoquer ainsi une mortalité des bivalves.

8- Les virus planctoniques :

Les virus sont présents dans tous les écosystèmes aquatiques (océans, mers, estuaires, golfes, lacs, rivières, lagunes, sources hydrothermales, sédiments, glace, etc.), à toutes les latitudes (polaires, tempérées, tropicales) et à tous les niveaux trophiques.

Ils sont des parasites obligatoires des cellules vivantes. La microscopie électronique a permis d'identifier des particules virales à l'intérieur de microorganismes diversifiés (les bactéries, les cyanobactéries, les micro-algues).

Un virus est spécifique d'une espèce : les virus bactériophages sont spécifiques des bactéries y compris les cyanobactéries.

Leurs concentrations naturelles dépassent généralement 6 à 20 millions particules par millilitre d'eau (25 fois plus nombreux que les bactéries).

Les virus interviennent dans:

- (i) **la mortalité bactérienne et algale** → Les virus représentent une cause importante de la mortalité des microorganismes en milieu aquatique (35 – 60% de mortalité journalière de bactéries = même ordre que celle due à la prédation par les protozoaires ciliés et flagellés).
- (ii) **la diversité du compartiment microbien** → les virus sont des réservoirs extracellulaires du patrimoine génétique de leurs cellules hôtes, ils représentent de véritables vecteurs de transfert horizontal de gènes entre différentes souches de microorganismes présents dans les écosystèmes aquatiques.
- (iii) Impact considérable des virus sur la composition, la diversité et le fonctionnement des réseaux trophiques microbiens aquatiques → impact **le recyclage des nutriments** et

IV. Les biofilms :

Sont des structures complexes composées de microorganismes nombreux, variés liés entre eux par les exopolymères (polysaccharides) qu'ils ont secrétés.

Ces biofilms favorisent les interactions entre les cellules et leur assurent une certaine protection. D'abord les microorganismes s'attachent et forment une couche monocellulaire, c'est le biofilms simple (figure 8)

En présence de lumière et de nutriments, ces biofilms peuvent devenir plus complexes et comporter des couches de microorganismes de différents types : tels que des microorganismes phototrophes en surface, des chimioorganotrophes au milieu et des microorganismes sulfato-réductrices (anaérobies) en bas.

Ces biofilms complexes forment des structures comportant des agrégats de cellules, des pores interstitiels et des canaux (des conduits). Ce développement implique la croissance des microorganismes attachés et l'accumulation des cellules libres en surface qui sont simultanément piégées et immobilisées, et qui passent au-dessus en expansion. Cette structure permet au nutriment d'atteindre la biomasse microbienne et les canaux sont formés par les protozoaires qui se nourrissent des bactéries.

Si les conditions environnementales le permettent, Ces biofilms peuvent devenir tellement grands qu'ils atteignent des dimensions macroscopiques et deviennent visibles. Ces épais biofilms, appelés tapis microbiens existent dans de nombreux milieux marins et d'eau douce, à la surface de rochers ou des surfaces solides.

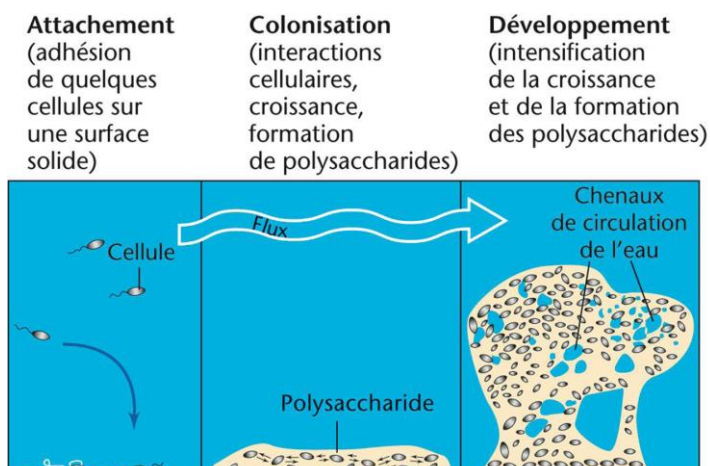


Figure 8 : Les biofilms microbiens

La biocorrosion marine : L'eau de mer naturelle est très corrosive sur les aciers doux par sa teneur élevée de chlorure. L'acier est alors rapidement colonisé par les biofilms. Ce microenvironnement caractérisé par des taux épuisés en oxygènes et des fortes concentrations en nutriments, favorisent le développement des bactéries sulfite-réductrices (BSR). L'activité des BSR à son tour va introduire dans le milieu plusieurs composants chimiques comme les

sulfates. La biocorrosion des aciers doux est caractérisée par la formation de piques remplis de produits de corrosions noirs et hétérogènes formé de divers type de sulfures de fer.

Les aciers inoxydables ont la réputation d'offrir une bonne résistance vis-à-vis de la corrosion, grâce à une couche d'oxyde qui se forme naturellement à l'air. Cette couche d'oxyde, qui forme une barrière de diffusion de l'oxygène, réduit fortement l'action plus au moins corrosive de l'environnement. Les variations de la résistance de l'acier inoxydable par rapport à la corrosion, dépend de l'agressivité de l'environnement ainsi que de l'état de la couche d'oxyde. Dans ce cas, les dommages sont liés à la présence d'enzymes microbiennes du biofilm qui sont des oxydoréductases (les hydrogénases/ anaérobie). Ces enzymes empêchent la formation de la couche d'oxyde.

V. Les microorganismes des milieux océaniques profonds:

Au-delà de 100 à 200 m de profondeur, la lumière ne pénètre pas. La photosynthèse est impossible (pas de production primaire). La matière organique qui alimente les profondeurs est d'origine détritique, cadavres, débris, péloles fécales des organismes vivants dans les couches supérieurs.

La pression hydrostatique représente un paramètre majeur pour la sélection des microorganismes. La concentration des bactéries = 10^6 C/ml en surface et profondeur 10^3 C/ml. Les profondeurs des océans varient de 100 à 11000 mètres avec une température $< 5^\circ\text{C}$. Dans ces milieux, la pression augmente d'environ 1atmosphère (1atm) tous les 10 mètres avec 1000 atm. aux profondeurs.

Les microorganismes classés selon la pression :

- **Les Barotolérants** se multiplient entre 0 – 400 atm., mais elle a un développement maximal à la pression atmosphérique

- **Les Barophiles** préfèrent de plus hautes pression :

→ les barophiles modérés ont un optimum de croissance à 400 atm mais peuvent encore se développer à 1 atm.

→ les barophiles extrêmes ne se multiplient qu'aux pressions élevées.

Les différences de pression influencent de nombreux processus biologiques : la division cellulaire, l'assemblage des flagelles, la réplication de l'ADN, transport membranaire, synthèse des protéines.

→ Les porines (protéines de la membrane externe formant des canaux) fonctionnent plus efficacement à des pressions spécifiques.

(SHEMA)

Chapitre IV : Réseaux trophiques marins

I. Photosynthèse et réseaux trophiques

Le processus de photosynthèse s'effectue au sein des pigments des algues et de certaines cyanobactéries dans les eaux peu profondes (zone euphotique) → la photosynthèse effectue la conversion du carbone inorganique (CO et CO₂) en carbone organique (lipide, glucide et protéines). La photosynthèse dans les milieux aquatiques est soumise à des conditions propres à ce milieu tel que la pénétration de la lumière et la disponibilité de matières minérales. L'abondance de la chlorophylle règle l'intensité de la production primaire.

II. Plancton autotrophe

Son habitat est le domaine pélagique et il est la base de la production de l'océan :

- Les *diatomées* sont les plus connus aussi bien au large que dans les eaux côtières. leur photosynthèse maximale est constatée vers 20m de profondeur.
- Les algues unicellulaires se trouvent en eaux littorales et en milieux fermés. Des espèces de 2 à 7 µm (*Chlorella*)
- Le bactérioplancton est représenté par des cyanobactéries photosynthétiques de 0,4 à 2 µm. Leur densité peut atteindre 10⁶ cell/ml (*Synechococcus*), ce qui fait que ce sont les organismes photosynthétiques les plus abondants de la biosphère.

III. Boucle microbienne

1- Matière organique particulaire inerte :

Ces particules sont constituées de phytoplancton mort, de cadavres divers, d'excréments, ... qui s'agrègent ensemble en flocons colonisés par des microorganismes (protozoaires et bactéries) qui s'en nourrissent partiellement. Cette matière organique inerte (90%) est caractérisée par sa teneur en carbone (protéines, lipides et glucides). Ces flocons servent de base à une production parallèle la production primaire.

2- Bactéries hétérotrophes :

La matière organique est utilisée en premier lieu par les bactéries, qui sont soit attachées à des particules ou libres dans l'eau. L'une des plus abondantes est *Pelagibacter ubique* (découverte en 2002). Une autre *Alteromonas*. Ce recyclage de la MO dans la couche euphotique limite son exportation et contribue à la minéralisation du carbone.

3- Boucle microbienne

Dans les écosystèmes aquatiques les microorganismes peuvent jouer deux rôles complémentaires (i) la synthèse de nouvelles matières organiques à partir du CO₂ et d'autres composés inorganiques aux cours de **la production primaire** et (ii) **la décomposition** de cette matière organique (MO) accumulée. (Figure7)

La principale source de matières organique dans les eaux éclairées de la zone euphotique est l'activité photosynthétique, essentiellement due aux phytoplanctons qui sont des photoautotrophes, tels que les cyanobactéries (20 à 80% de la biomasse phytoplantonique).

En fixant le dioxyde de carbone (CO₂) pour former de la Matière Organique nouvelle, le phytoplancton tire de l'eau environnante l'azote et le phosphore dont il a besoin : c'est **la production primaire**.

La matière organique dissoute libérée par le phytoplancton, et la matière organique particulaire inerte, sont oxydées par les bactéries aérobies organotrophes.

Ce sont les premiers les premiers et les principaux consommateurs de bactéries en milieu pélagique (mais aussi dans les STEP).

La dégradation de la MO se poursuit par une série de prédateurs tels que les protozoaires, qui sont les premiers et les principaux consommateurs de bactéries en milieu pélagique, ainsi que les métazoaires du zooplancton donnant des molécules organique plus simple et du **CO₂** et consommant progressivement de l'**O₂**.

Si l'**O₂** n'est pas renouvelée (cas de circulation insuffisante de la surface vers le fond) les couches sédimentaire deviennent anaérobies. Donc, la dégradation de MO se poursuit avec les métabolismes anaérobies et donnent du CO₂ et de l'Hydrogène H₂ (utilisés par les méthanogènes)

Le carbone ainsi libéré sous forme de CO₂ et les autres nutriments sous forme de sels minéraux sont à nouveau recyclés par le phytoplancton →C'est un recyclage rapide des nutriments à un stade intermédiaire entre les producteurs primaire et les consommateurs supérieurs comme les poissons. Ceci entraîne une diminution de la productivité de l'écosystème

Cette perte de carbone via la boucle microbienne était relativement plus importante dans les milieux pauvres en nutriments (oligotrophe) que dans les milieux riches (copiotrophes).

Dans les milieux aérobies, la boucle microbienne fonctionne le mieux, là ou en trouve au même temps des microorganismes photosynthétiques actifs et des consommateurs supérieurs.

Si une eau reçoit trop de matière organique (pas besoin de fixer le CO_2)/(milieu copiotrophe) elle devient anaérobie et nauséabonde et impropre pour la vie des consommateurs supérieurs comme les poissons qui exigent l' O_2 .

Des efforts de biorémédiation peuvent limiter l'entrée de nutriments → L'agriculture animale pratiquée à proximité des zones côtières et des estuaires, peut amener des ajouts massifs de MO dans les eaux côtières ce qui affecte le fonctionnement de la boucle microbienne).

Conclusion

- Ce recyclage des nutriments entre les producteurs primaires et les consommateurs est plus rapide dans les milieux oligotrophes.
- Il faut noter que dans les milieux aérobies, la boucle fonctionne le mieux et on trouve des microorganismes photosynthétique et des consommateurs supérieurs.
- Si une eau reçoit trop de matière organique (milieu copiotrophe) elle devient anaérobie et impropre à la vie des poissons et on parle alors d'eutrophisation.

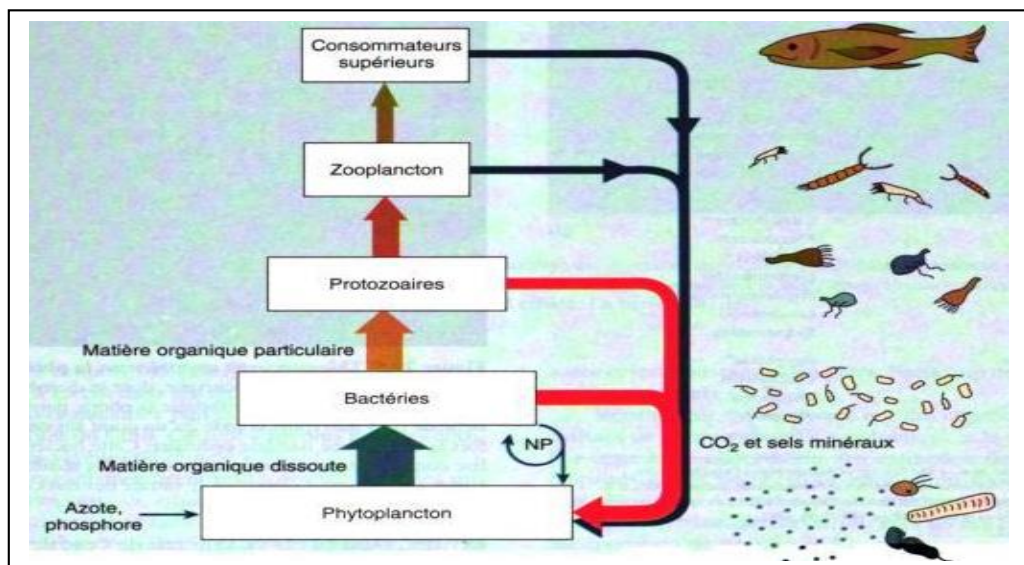


Figure 7 : Boucle microbienne

IV. Interaction entre les microorganismes

Les microorganismes peuvent être associés à d'autres organismes de multiples façons.

→ Les microorganismes peuvent s'installer à la surface d'un autre, en tant qu'ectosymbiote : l'ectosymbiote est un organisme plus petit situé à la surface d'un organisme plus grand

→ Un organisme peut s'installer dans un autre organisme en tant qu'endosymbiote.

Ces associations entre des microorganismes et des animaux aquatiques sont soit cycliques ou permanentes. Ces interactions peuvent être positive (mutualisme, commensalismes) ou négative (prédation, parasitisme, amensalisme et compétition) (schéma)

- 1) **Le mutualisme** : il définit la relation dans laquelle un certain bénéfice réciproque revient aux deux partenaires. Il s'agit d'une relation obligatoire, ou le mutualiste et l'hôte dépendent métaboliquement l'un de l'autre.

Exemple : de nombreux invertébrés marins (éponges, méduses, coraux, ciliés, ..) abritent dans leur tissus des cellules sphériques **endosymbiotiques** d'algues appelés **zooxanthelles**.

→ Les coraux obtiennent la majeure partie de leur besoin énergétique des algues car ils sont incapables d'utiliser les zooplanctons de l'eau ; en contre partie, les pigments des coraux protègent les algues (abrités dans leur tissu) des effets nocifs des radiations ultraviolettes.

Coraux roses → + algues

- 2) **Le commensalisme** : c'est une relation dans laquelle le commensal tire un avantage, alors que l'hôte n'est ni affecté ni aidé. Le commensal peut se nourrir de substance ingérés par l'hôte et peut s'offrir un abri en vivant sur ou dans l'hôte.

Le commensal n'est pas métaboliquement dépendant de l'hôte en cas de séparation.

Exemple : dans l'intestin humain, la souche commune non pathogène d'*E.coli* vit dans le côlon de l'homme mais croit très bien en dehors de son hôte.

- 3) **La prédation** : la prédation est un phénomène répandu dans la nature où le prédateur attaque une proie. La proie peut être plus grande ou petite que le prédateur, et le résultat est la mort de la proie. C'est un processus important dans la boucle microbienne, mais aussi fournit un environnement protecteur.

Exemple : les ciliés sont d'excellents exemple de prédateurs, ils peuvent ingérer jusqu'à 70% de bactéries par heure. Cette prédation est importante dans les milieux aquatiques et dans les procédés du traitement des EU. (Effet positif)

(**Effet négatif**) la prédation peut fournir un environnement protecteur riche en nourriture pour une proie particulière. Les ciliés ingèrent *Légionella* et la protège du chlore (utilisé pour contrôler ce pathogène) dans les tours de refroidissement.

L'ingestion entraîne une augmentation de la virulence du *Légionella* lorsqu'elle est libérée dans le milieu extérieur → **le prédateur sert de réservoir**

4) Le parasitisme : c'est une relation où l'un des deux partenaires tire profit de l'autre et où l'hôte est habituellement lésé. Dans le parasitisme, parasite et hôte cohabitent en association jusqu'à un certain degré (réaction pathogène → prédation).

Exemple : certains virus...

5) L'amensalisme : cette relation décrit l'effet négatif d'un organisme exercé sur un autre. C'est un processus basé sur la production par le premier d'un composé spécifique qui agit négativement sur un autre organisme.

Exemple : production microbienne de composés organiques spécifiques (la bactériocine) qui causent la rupture de la proie cellulaire ou la membrane plasmique de l'autre μ organismes.

6) La compétition : on parle de compétition lorsque différents μ organismes d'une population ou d'une communauté cherchent à s'approprier une même ressource.

Exemple : deux ciliés entrent en compétition trop directe pour une même ressource, une des deux populations de protozoaires est exclue.

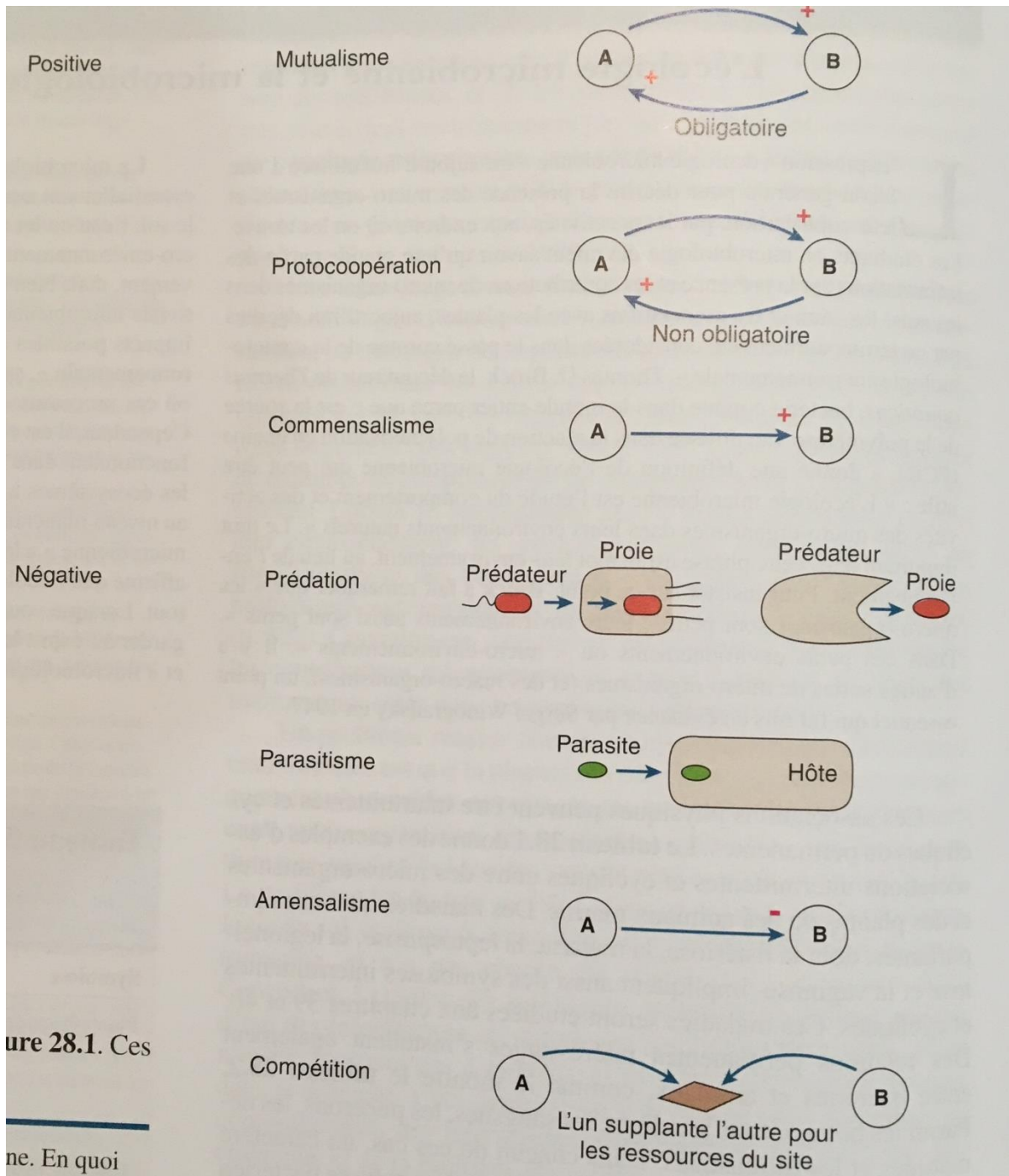


Figure 28.1. Ces
ne. En quoi

Interactions microbienne dans l'environnement

Chapitre V

Réglementation sanitaire des zones de production de coquillage

La contamination des coquillages est liée à l'arrivée, dans les eaux côtières, de rejets domestiques ou agricoles non suffisamment traités. Ces rejets sont souvent dus soit à de mauvais fonctionnement des structures d'épuration, soit à des actions non conformes à la réglementation (épandage agricole sauvage...), soit enfin à des conditions météorologiques exceptionnelles (pluies d'orage l'été, crues en hiver ...). Dans ces conditions, différents polluants dont des microorganismes potentiellement pathogènes pour l'homme, peuvent être déversés. Ces risques sont appréciés par la présence d'*Escherichia coli*, indicateur de contamination fécale.

Les coquillages issus des zones de production et des gisements classées sont soumis à un contrôle régulier qui concerne (i) la zone d'élevage par le contrôle du milieu (eau marine) **au travers le biomarqueur que constitue le coquillage** (ii) et le coquillage avant commercialisation.

I. Classement des zones de production conchylicole

Afin de s'assurer de la qualité du produit, les zones de production conchylicole sont classées selon la directive de la communauté européenne relative aux règles régissant la production et la mise sur le marché des mollusques bivalves vivants.

Cette réglementation vise à harmoniser les conditions de la mise sur le marché et les normes de salubrité des coquillages vivants tout en limitant les risques sanitaires liés à la consommation de cette denrée.

→ **Tab I/ II:** La norme adoptée ont permis de classer les zones de production selon quatre niveaux de salubrité associés à des usages réglementés :

La zone A : les coquillages répondant au critère "moins de 230 *E. Coli*/100g de chair et de liquide inter valvaire (~~ou < 300 Coliformes Fécaux CF/100 g~~), pouvaient être mis directement sur le marché pour la consommation humaine,

La zone B, impliquant une purification de la production avant consommation,

La zone C où l'élevage est interdit sauf dérogation pour l'élevage et/ou la pêche de juvéniles et la zone D, où tous les usages sont interdits.

Le reparcage en conchyliculture, désigne la récolte de larves ou de juvéniles d'huîtres, de clams ou de moules afin de les ensemercer dans un lieu où les conditions du milieu sont plus favorables à la croissance ou la qualité de la chair. On peut également écrire reparquage.

Dans le cadre de la surveillance des zones d'élevages et des gisements classés, une surveillance des espèces phytoplanctoniques toxiques et des phycotoxines associées est mise en place. La présence éventuelle de ces toxines dans les coquillages à des seuils équivalents ou supérieurs aux normes, conduit les services administratifs à prendre des interdictions de pêche et de commercialisation des coquillages issus des zones, mesures appelées communément « **fermetures temporaires de zones** ».

Définition : Phycotoxines sont des toxines produites par les microalgues :

DSP : toxines diarrhéiques (Diarrheic Shellfish Poison) produites par les Dinoflagellés des genres Dinophysis

PSP : toxines paralysantes (Paralytic shellfish poisoning), produites par les Dinoflagellés des genres Alexandrium

ASP : toxines amnésiantes (Amnesic Shellfish Poison), produites par les Diatomées du genre Pseudo-nitzschia

Pour intégrer les variations saisonnières, le classement est réalisé à partir de 26 résultats bactériologiques obtenus sur une période de 12 mois minimum. En fonction de la répartition des données par classe de contamination fécale (Tab I) et des données chimiques (TabII), le classement est établi par l'autorité régionale et conduit à une fréquence de surveillance adaptée.

II. Réglementation sanitaire des produits conchylicoles

Cette réglementation en complément du classement sanitaire des zones de production (Tab. III) fixe les critères sanitaires auxquels doivent satisfaire les coquillages vivants destinés à la consommation humaine immédiate et les teneurs maximales pour certains contaminants dans ces denrées alimentaires.

PURIFICATION (diapo)

	Zones	Limites CF/100 ml	Exploitation	
			Élevage	Milieu naturel
A	SALUBRES	300	Autorisée (consommation directe)	Autorisée (consommation directe)
B	INSALUBRES	6,000	Autorisée après purification ou restockage dans une zone salubre	Autorisée après purification ou restockage dans une zone salubre
C	EXPLOITABLES	60,000	INTERDITE (sauf dispense spéciale)	Autorisée après purification ou restockage dans une zone salubre
D	INSALUBRES INTERDITES		INTERDITE	INTERDITE

PAP/CAR: Approches pour l'aménagement de zones côtières en relation avec l'aquaculture en Méditerranée. PAP-10/EAM/GL.1. Split, Croatie, 1996, 38pp