

Analyse et traitement des microorganismes du milieu hydrique

Pr. D. Haras



Nous buvons 90% de nos maladies (Louis PASTEUR)

L'eau douce ne représente que 3% de l'eau totale terrestre

99,1 % de l'eau douce totale de la terre ne sont pas directement utilisables

0,9 % se retrouve dans les lacs, rivières, les fleuves (27% des eaux de surface) et les nappes souterraines **dont 0,3% est utilisable par l'homme**

0,0001% de l'eau terrestre est disponible et potable

9 pays se partagent 60 % des réserves mondiales d'eau

80 pays souffrent de pénuries ponctuelles

28 pays souffrent de pénuries régulières

1,5 milliards d'habitants n'ont pas accès à l'eau potable

2 milliards d'habitants sont privés d'installations sanitaires

1,6 million d'enfants meurent chaque année de diarrhée, due principalement à la mauvaise qualité de l'eau et au manque d'assainissement

- **1676 : A. van Leeuwenhaek découvre des microorganismes dans l'eau**
- **1855 : Snow relie une épidémie de choléra à la consommation d'eau**
- **1861 : L. Pasteur associe la génération spontanée à la croissance de microorganismes dans l'eau**
- **1876 : R. Kock rapporte que les microorganismes peuvent être responsables de maladies**
- **1884 : R. Kock associe le choléra à des microorganismes d'origine fécale**
- **1886 : l'agent responsable de la fièvre typhoïde est détecté dans de l'eau contaminée**
- **1894 : Frankland & Franckland mettent en évidence dans l'eau d'autres pathogènes d'origine non humaine responsables de maladies**

- **1881-83** : R. Kock développe la culture bactérienne sur milieu solide et introduit la technique de dénombrement des bactéries hétérotrophes cultivables (HPC). Première norme de potabilité à 100 CFU/ml
- **1890 (de Vries), 1984 (Olson et Nagy)** : utilisent l'analyse au microscope des systèmes de distribution d'eau potable
- **1885** : Escherich détecte *Bacillus coli-communis* (*Escherichia coli*) comme le microorganisme prédominant dans les fèces humains; initiant le concept d'indicateur fécal basé par Eijkman (1904) sur *E. coli* et les coliformes thermotolérants
- **1891** : Sanarelli isole *Bacillus hydrophilus fucus* (*Aeromonas hydrophila*, Schubert, 1967) à partir de grenouilles accidentellement infectées
- **1930-40** : Baylis met en évidence la multiplication des coliformes dans les systèmes de distribution et initie le débat de l'informativité du dénombrement des coliformes comme indicateur de contamination fécale
- **1980-90** : Herson et Le Chevallier montrent que l'attachement des microorganismes aux surfaces les protège de la désinfection

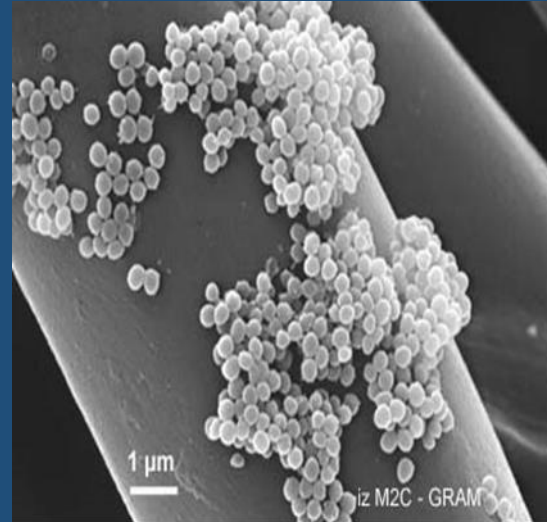
- **1881-83 : R. Kock développe la culture bactérienne sur milieu solide et introduit la technique de dénombrement des bactéries hétérotrophes cultivables (HPC). Première norme de potabilité à 100 CFU/ml**
- **1890 (de Vries), 1984 (Olson et Nagy) : utilisent l'analyse au microscope des systèmes de distribution d'eau potable**
- **1885 : Escherich détecte *Bacillus coli-communis* (*Escherichia coli*) comme le microorganisme prédominant dans les fèces humains; initiant le concept d'indicateur fécal basé par Eijkman (1904) sur *E. coli* et les coliformes thermotolérants**
- **1891 : Sanarelli isole *Bacillus hydrophilus fucus* (*Aeromonas hydrophila*, Schubert, 1967) à partir de grenouilles accidentellement infectées**
- **1930-40 : Baylis met en évidence la multiplication des coliformes dans les systèmes de distribution et initie le débat de l'informativité du dénombrement des coliformes comme indicateur de contamination fécale**
- **1980-90 : Herson et Le Chevallier montrent que l'attachement des microorganismes aux surfaces les protège de la désinfection**

Au XX^{ième} siècle

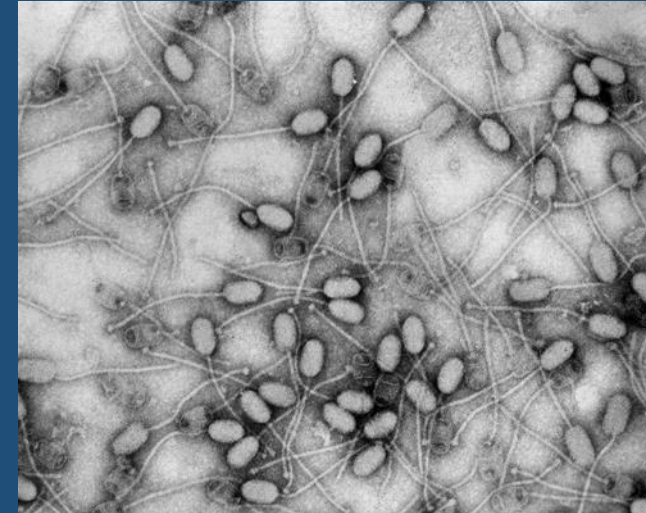
- Des bactéries utilisant le fer, des invertébrés et des organismes impliqués dans le gout et l'odeur ont été identifiés
- Augmentation de la contamination par des composés organiques d'origine anthropique impose l'amélioration des procédés de production tels que ozonisation et filtration sur charbon actif (Sontheimer, 1978)
- La découverte de co produits halogénés (tel le trihalométhane; THM) après chloration implique des changements de traitements pour limiter certains types de cancers. Les Pays Bas ont interdit la post chloration en 1986 (Schellart)
- De nouveaux microorganismes potentiellement pathogènes ont été identifiés dans les réseaux de distribution et associés aux notions de « re-croissance » et de « biofilms » malgré des analyses quantitatives acceptables des coliformes après chloration :
 - *Mycobactérium kansasii* (1974)
 - *Pseudomonas aeruginosa* (1977)
 - *Legionella pneumophila* (1980)
 - *Aeromonas* sp. (1980-84)
 - *Mycobacterium avium* (1986)
 - *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum* (protozoaires)
 - Virus
 - Amibes...



Escherichia. coli




Staphylococcus (en biofilm)



Staphylococcus. aureus

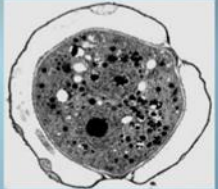
ACANTHAMOEBA



Trophozoite

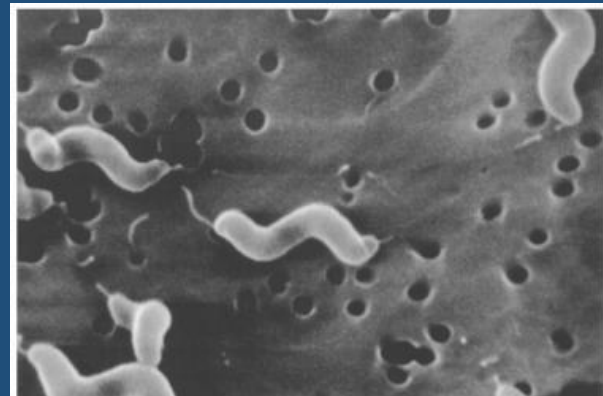
- Feeding & dividing
- Asexual
- Cyst forming

↔

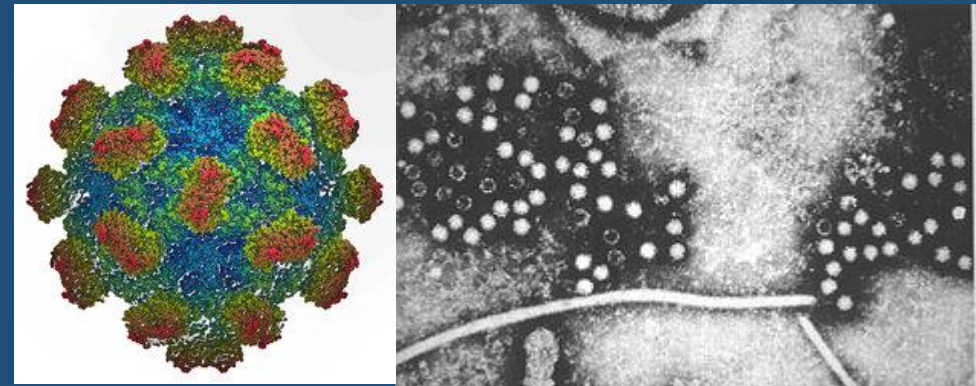


Cyst

- Response to adversity
- Dormant, resistant
- Double-walled with pores



Campylobacter jejuni



Virus de l'hépatite E

Les maladies hydriques

- Dues à des contaminations par des déchets humains, animaux ou chimiques
- 6000 morts/jour par maladies diarrhéiques
- En 2001: 2 millions de morts, > 50% d'enfants
- En 10 ans plus d'enfants tués que tous les conflits armés depuis la fin de la 2nd guerre mondiale
- Cause: Pauvreté

Les maladies aquatiques

- Dues à des organismes passant une partie de leur vie dans l'eau et une autre partie en tant que parasites
- Une grande variété de vers en sont responsables
- La plus connue est la schistosomiase (bilharziose) et 200 millions de personnes sont infectées dont 20 millions souffrent de séquelles sévères
- 74 pays sont atteints
- On distingue la fièvre jaune, la dengue, la filariose et le paludisme (malaria) responsable à lui seul de 1 millions de décès

La mortalité due aux maladies hydriques est très élevée.

Dans le monde,

- environ 6 millions d'enfants meurent tous les ans de gastro-entérites hydriques ;
- 100 millions en souffrent en permanence ;
- 30 millions souffrent d'onchocercose ;
- 700 millions sont atteints du paludisme, dont 2 à 3 millions meurent chaque année.

La pauvreté est responsable : manque d'eau, assainissement inexistant ou insuffisant, mauvaise hygiène, pas de fabrication d'eau potable, peu d'accès aux soins et structures médicales inexistantes.

Aujourd'hui, l'anthropisation influence même la qualité de l'eau qui a été traitée.

- **La schistosomiase**, qui est une maladie hydrique considérée comme la deuxième infection parasitaire après le paludisme
- **les amibes**, qui provoquent de fortes diarrhées entraînant une déshydratation qui peut s'avérer mortelle
- **la fièvre typhoïde**, qui provoque des troubles digestifs et de fortes fièvres
- **la bilharziose**, responsable de troubles du foie, des intestins et de la vessie, dues à un petit ver qui se développe dans les eaux stagnantes
- **l'onchocercose (par *Onchocerca volvulus*)**, qui engendre la cécité
- les eaux stagnantes sont également les habitats des moustiques qui propagent **la dengue ou le paludisme**
- **le trachome**, qui est une maladie infectieuse des yeux qui peut provoquer une cécité après des infections répétées
- **l'hépatite A et E** entraînent une infection et une inflammation du foie
- **le choléra ...**

Le péril fécal

C'est l'ensemble des maladies infectieuses dues à des agents pathogènes , bactéries, virus, parasites déposés dans le milieu extérieur par les excréments

Les excréments d'une personne infectée par l'un de ces pathogènes peuvent contaminer une personne saine par:

- l'intermédiaire des mains portées à la bouche,
- la consommation d'eau non potable
- la consommation d'aliments souillés,
- en marchant pieds nus près des endroits où se trouvent les excréments,
- en se baignant ou se lavant dans une eau souillée.
- Les agents pathogènes (virus, bactéries, parasites) sont transportés sur la nourriture par les mouches, les mains sales, et sont entraînés dans les milieux et les puits par l'eau de pluie...

Indicateurs microbiens les plus courants, utilisés pour évaluer la qualité des eaux de consommation

La numération des bactéries hétérotrophes (NBH) qui donne une indication sur la charge totale d'un échantillon d'eau en bactéries aérobies et anaérobies facultatives. Cet indicateur est aussi appelé « numération standard sur plaque » (NSP), « numération des bactéries aérobies sur plaque » ou « numération totale sur plaque » (NTP). Cette valeur correspond à l'ensemble des bactéries se nourrissant de substances organiques. Un pic de NBH en sortie de station : changement de la source, modification du traitement ou recolonisation.

La numération des coliformes totaux (CT) représente un grand groupe de bactéries qui se trouvent essentiellement dans l'environnement. Si en sortie de station de traitement → défaillance ou recolonisation. Pas spécifique d'une contamination fécale.

La numération des coliformes thermotolérants (CTT) représente un sous groupe des CT qui fermentent le lactose avec une production d'acide et de gaz à 44-45°C. Traitement, désinfection inadéquate, recolonisation ou infiltration dans le réseaux de distribution. Elle a remplacé l'indicateur coliformes totaux.

La numération des *Escherichia coli*, Contamination récente. Fait partie des CTT dont elle est le seul membre à ne se trouver que dans l'intestin des animaux à sang chaud (***E.coli* 0157:H7**)

L'hypothèse retenue est que la principale cause de contamination de l'eau est d'origine fécale

Données pour l'évaluation d'un risque sanitaire

Analyse microbienne	<p>Détermine les concentrations des différents organismes excrétés dans les eaux usées ou sur les produits</p> <p>Fournit des données sur les taux de déperissement des agents pathogènes</p> <p>Fournit des informations utilisées dans les QMRA pour évaluer les risques</p> <p>Peut contribuer à l'identification des sources d'agents pathogènes</p> <p>Utilisée pour mettre en relation agents pathogènes et infection ou maladie (par exemple par analyse d'échantillons de selles ou dépistage des individus séropositifs)</p>	<p>Coûteuse</p> <p>La collecte des échantillons peut prendre beaucoup de temps</p> <p>Nécessite du personnel formé et des installations de laboratoire</p> <p>L'obtention des résultats de laboratoire prend du temps</p> <p>Pour certains agents pathogènes, les procédures normalisées de détection ou d'isolement à partir des produits alimentaires font défaut</p> <p>Les taux d'isolement peuvent être très variables</p> <p>Certaines méthodes ne déterminent pas la viabilité des organismes</p>
Étude épidémiologique	<p>Mesure la morbidité actuelle dans une population exposée</p> <p>Utilisable pour tester différentes hypothèses concernant les expositions</p>	<p>Coûteuse</p> <p>Des biais peuvent affecter les résultats</p> <p>La taille des échantillons nécessaire pour mesurer des événements sanitaires statistiquement significatifs peut être importante</p> <p>Nécessité de trouver le juste milieu entre la puissance de l'étude et sa sensibilité</p>
QMRA	<p>Peut estimer de très faibles niveaux de risque infectieux ou morbide</p> <p>Méthode peu onéreuse de prédiction des risques d'infection ou de maladie</p> <p>Facilite les comparaisons entre différentes voies d'exposition</p>	<p>Les scénarios d'exposition peuvent varier de manière importante et sont difficiles à modéliser</p> <p>On ne dispose pas de données d'entrée validées pour chaque scénario d'exposition</p> <p>Les risques prédits concernent l'exposition à un type d'agent pathogène, à un moment donné</p>

Quantitative microbiological risk assessment (QMRA) is the process of estimating the risk from exposure to microorganisms.

Paramètres généraux	Norme de l'OMS	Normes de l'UE
Matières en suspension	Pas de lignes directrices	Non mentionées
DCO	Pas de lignes directrices	Non mentionée
DBO	Pas de lignes directrices	Non mentionée

Anions (ions négatifs)	Norme de l'OMS	Normes de l'UE
Chlore (Cl)	250 mg/L	250 mg/L
Cyanure (CN)	0,07 mg/L	0,05 mg/L
Fluor (F)	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Les normes qui définissent la qualité de l'eau destinée à la

Paramètres microbiologiques	Norme de l'OMS	Normes de l'UE
<i>Escherichia coli</i>	Non mentionnée	0 in 250 mL
Enterococci	Non mentionnée	0 in 250 mL
<i>Pseudomonas</i>		
<i>aeruginosa</i>	Non mentionnée	0 in 250 mL
<i>Clostridium</i>		
<i>perfringens</i>	Non mentionnée	0 in 100 mL
bactérie coliforme	Non mentionnée	0 in 100 mL
Nombre de colonie à 22°C	Non mentionnée	100/mL
Nombre de colonie à 37°C	Non mentionnée	20/mL

	200 mg/L	200 mg/L
Etain (Sn) inorganique	Pas de lignes directrices	Non mentionnée
Uranium (U)	1,4 mg/L	Non mentionnée
Zinc (Zn)	3 mg/L	Non mentionnée

- (3) Désirée: 15 mg/L Pt-Co
- (4) Désirée: Moins de 75% de la concentration de saturation
- (5) Désirée: 150-500 mg/L
- (6) Désirée: 0,3 mg/L

Maladies	Agents pathogènes	Méthodes analytiques
D'Origine bactérienne		
Typhoïde et paratyphoïde	<i>Salmonella typhi</i>	Normalisées
Dysenterie bacillaire	<i>Salmonella paratyphi A et B</i>	
Choléra	<i>Shigella sp</i>	
Gastro-entérites aïgue et diarrhée	<i>Vibrio cholerae</i> <i>Escherichia coli</i> Entérotoxique, <i>Campylobacter</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Salmonelle paratyphique A et B</i> <i>Aeromonas Hydrophila, veronii biotype sobria,</i> <i>caviae</i> <i>Shigella sp</i>	
Gastrite	<i>Helicobacter pylori</i>	Normalisées, en cours de normalisation, spécifiques de centres agréés
Infections pulmonaires	Complexe mycobacterium (<i>M. avium, sylvaticum, paratuberculosis,</i> <i>xenopi, intracellulare</i>)	Sérotypage: Immunofluorescence spécifique des marqueurs membranaires des sous espèces et sérovarts, hybridation fluorescente in situ [FISH] Plusieurs jours Identification spécifique et quantification: PCR,
Fièvre de Pontiac	<i>Legionella sp</i>	PCR quantitative
Legionellose		<24H
Bactériémie, choc septique	Pseudomonades: <i>P. aeruginosa, putida,</i> <i>fluorescence, stutzeti</i> <i>Staphylococcus sp ((S. aureus)</i>	[contamination aéroportées, biofilms]
Anthrax	<i>Bacillus anthracis</i> (spores)	

Maladies	Agents pathogènes	Méthodes analytiques
D'Origine virale		
Hépatite A et E	Virus de l'hépatite A et E	Les entérovirus sont les plus recherchés
Poliomyélite	Virus de la poliomyélite	Concentration (adsorption-élution, flocculation organique)
Gastro-entérites aigüe et chronique	Virus Norwalk	Culture sur des cellules BGM du rein, néoplasiques humaines HeLa
	Rotavirus	Présence confirmée par des effets cytopathogènes visibles au microscope
	Enterovirus	Résultats en 2 à 3 semaines
Diarrhée	Norovirus	
	Adenovirus	

Les virus d'origine hydrique sont principalement:

- **Les norovirus** , semblables à Norwalk, résistent à la chloration, au gel et à 60°C. Outre l'eau, les aérosols, des aliments (mollusques, salades...), objets contaminés et le contact entre personnes assurent leur transmission.
- **Les virus de l'hépatite VHA et VHE** sont transmissibles par voie fécale-orale et associés à la transmission hydrique
- **Les rotavirus** du groupe A sont endémiques dans le monde entier et sont les plus répandus
- **Les entérovirus** (poliovirus, virus Coxsackie A, les échovirus ...) sont résistants aux agresseurs environnementaux et stables en milieu acides (jusqu'à pH 3). Infection par voie orale principalement. Survivent au transit intestinal et peuvent y demeurer.
- **Les adénovirus** sont stables dans l'environnement. Ils causent des infections respiratoires et gastro-intestinales . L'eau potable n'est pas une voie de transmission.
- **Les astrovirus** causent des infections bénignes ressemblant à la grippe. Les complications comprennent l'anémie et l'arthralgie

Maladies	Agents pathogènes	Méthodes analytiques
D'Origine parasitaire		
Parasite gastre-entérite	<i>Giardia histolytica</i>	Recherche des formes enkystées par immunofluorescence
	<i>Giardia lamblia</i>	(les formes pathogènes sont végétatives)
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	
Amibiose (diarrhée légère à la dysenterie)	<i>Entamoeba histolytica</i>	

Les amibes, dont les *Acanthamoeba*, sont présents dans tous les environnements aquatiques même l'eau chlorée. Elles hébergent des pathogènes opportunistes (*Legionella pneumophila*, *Mycobacterium avium*...) . Leurs kystes survivent au traitement de l'eau et pénètrent dans l'eau potable

Les helminthes sont des vers parasites intestinaux et/ou tissulaires. La transmission se fait par:

Ingestion d'un hôte intermédiaire

Passage au travers de la peau ou des muqueuses (eaux de lavage, baignades, plaies...)

Transmission par des œufs ou des kystes infectants

Généralement ils sont éliminés lors des étapes de filtration de l'eau

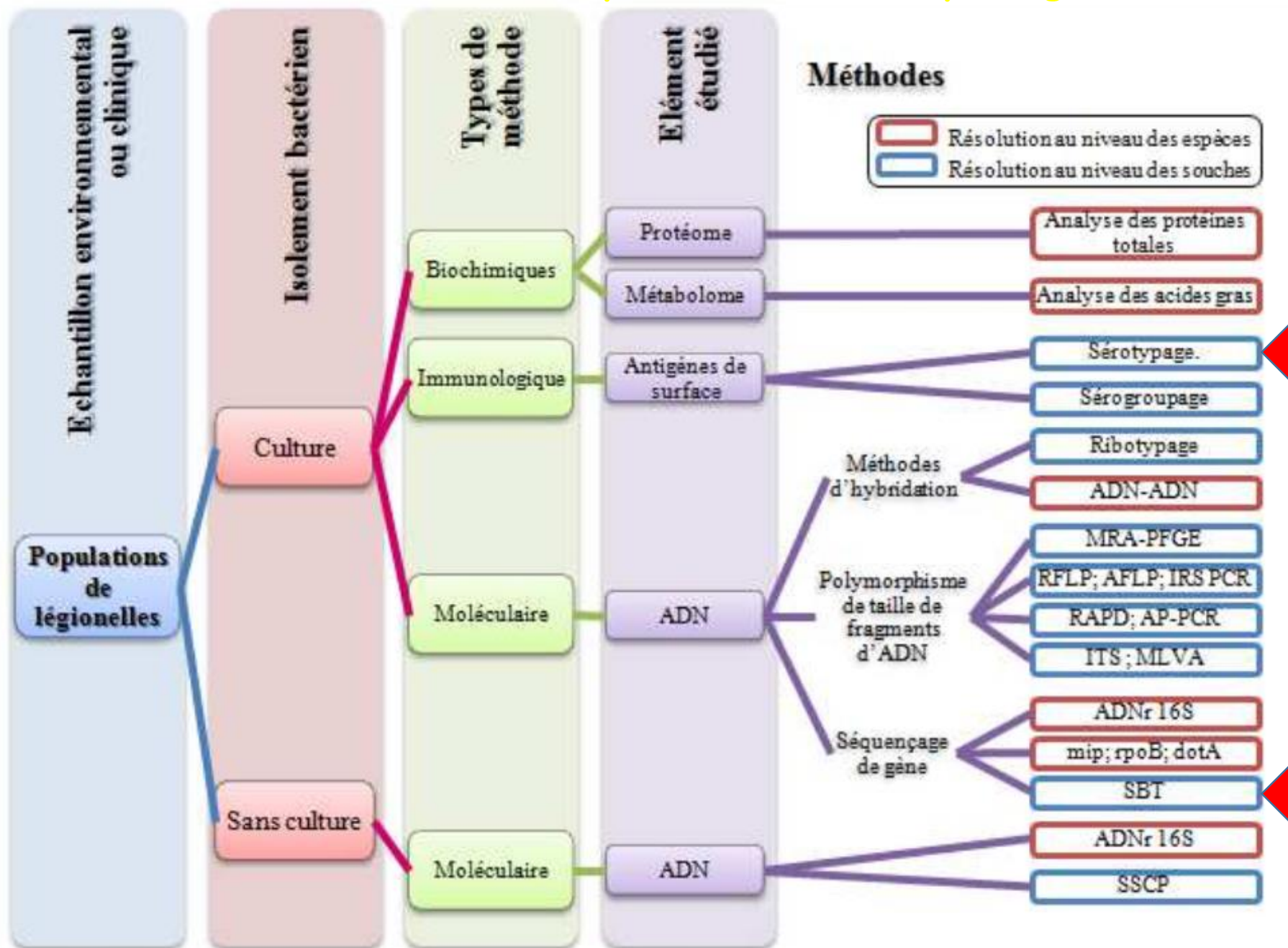
Essentiellement impliqués dans le risque hydrique :

Les nématodes (vers ronds); Ascaris, oxyures, filaires, ankylostomes anguillules

Les cestodes (vers plats d'aspect rubané); Ténia, Bothriocéphale

Pour les trématodes (vers plats non annelés); Bilharziose, Douve du foie

Qu'avons-nous comme outils pour détecter les pathogènes?



Résolution taxonomique de différentes méthodes de biologie moléculaire

Technique

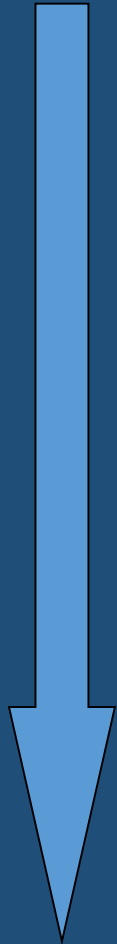
Polymorphisme de longueur de fragments de restriction (RFLP)
Analyse des fragments de restriction de faible fréquence (LFRFA, PFGE)
Ribotypage
Amplification de l'ADN (AFLP, AP-PCR, reo-PCR, DAF, RAPD, ARDRA)
Typage des phages et bactériocines
Techniques sérologiques (monoclonale, polyclonale)
Zymogramme (MEE)
Profil électrophorétique des protéines cellulaires totales
Hybridation ADN-ADN
% G+C
tDNA-PCR
Marqueurs chimiotaxonomiques (polyamines, quinones)
Empreinte des acides gras cellulaires (FAME)
Structure de la paroi cellulaire
Analyse du phénotype (classique, galerie API...)
Séquençage des ARNr
Sondes à ADN
Séquençage de l'ADN



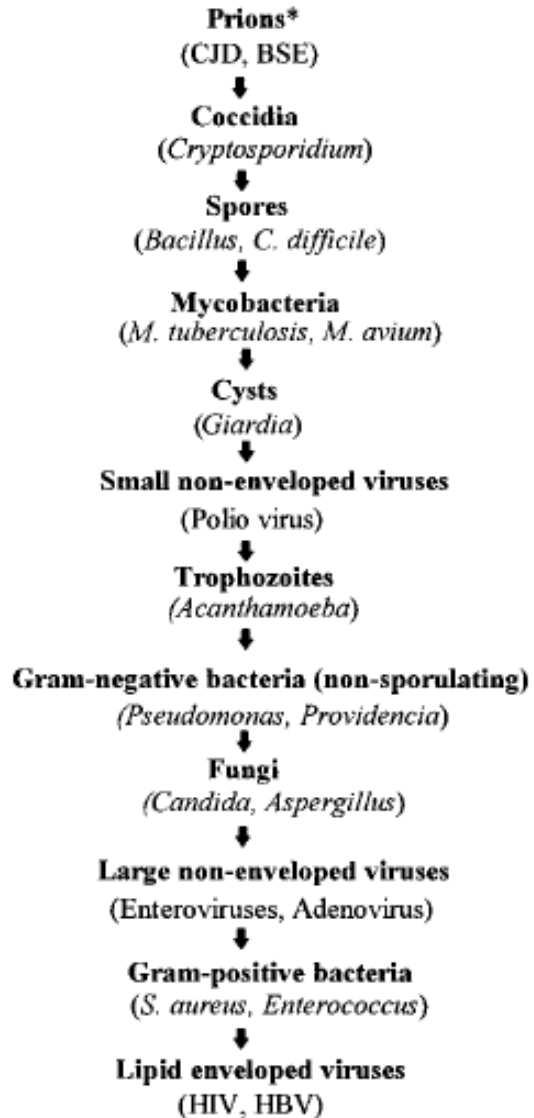
Résistance aux antiseptiques et désinfectants

(d'après McDonnel 1999)

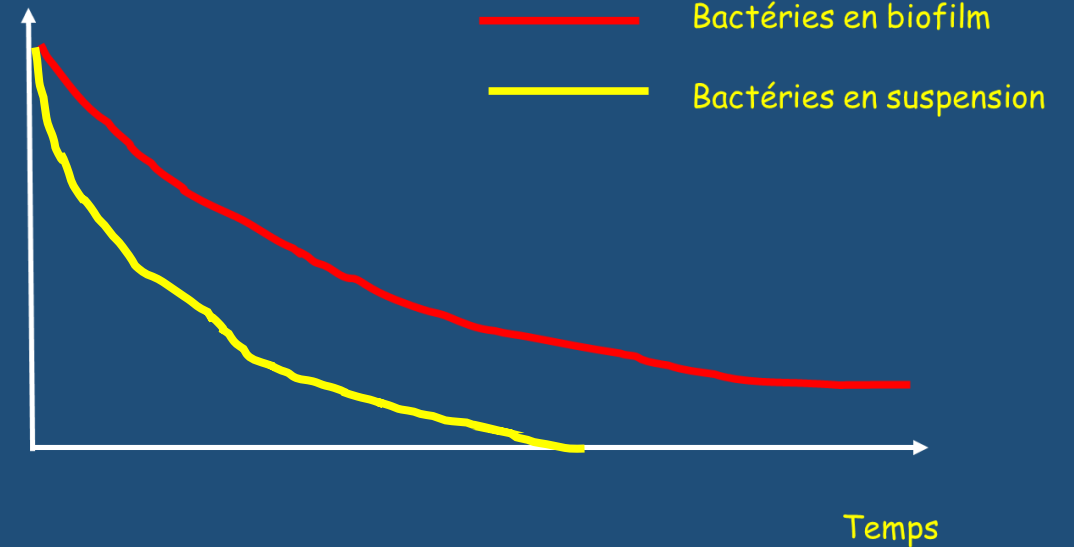
Maximale



Minimale



Nombre de bactéries vivantes



Réduction ou inactivation des pathogènes par des procédés de traitement des eaux usées

Procédés de traitement

Elimination des agents pathogènes en Log décimales

Virus

bactéries

Kystes ou oocystes de
protozoaires

Œufs d'helminthes

Procédés biologiques bas débits

bassin de stabilisation

1-4

1-6

1-4

1-3

Réservoirs de stockage et de traitement des eaux usées

1-4

1-6

1-4

1-3

Marais artificiels

1-2

0,5-3

0,5-2

1-3

Procédés hauts débits

Traitement primaire

Sédimentation primaire

0-1

0-1

0-1

0-<1

Traitement amélioré chimiquement

1-2

1-2

1-2

1-3

Réacteurs anaérobies à lit de boues à flux ascendant

0-1

0,5-1,5

0-1

0,5-1

Traitement secondaire

Boues activées + sédimentation secondaire

0-2

1-2

0-1

1-<2

Filtres à lit bactérien + sédimentation secondaire

0-2

1-2

0-1

1-2

Lagune aérée + bassin de décantation

1-2

1-2

0-1

1-3

Traitement tertiaire

Coagulation/floculation

1-3

0-1

1-3

2

Filtration sur sable granulaire haut ou bas débit

1-3

0-3

0-3

1-3

Filtration sur lit double

1-3

0-1

1-3

2-3

Membranes

2,5->6

3,5->6

>6

>3

Désinfection

Chloration (chlore libre)

1-3

2-6

0-1,5

0-<1

Ozonation

3-6

2-6

1-2

0-2

Irradiation UV

1->3

2->4

>3

0

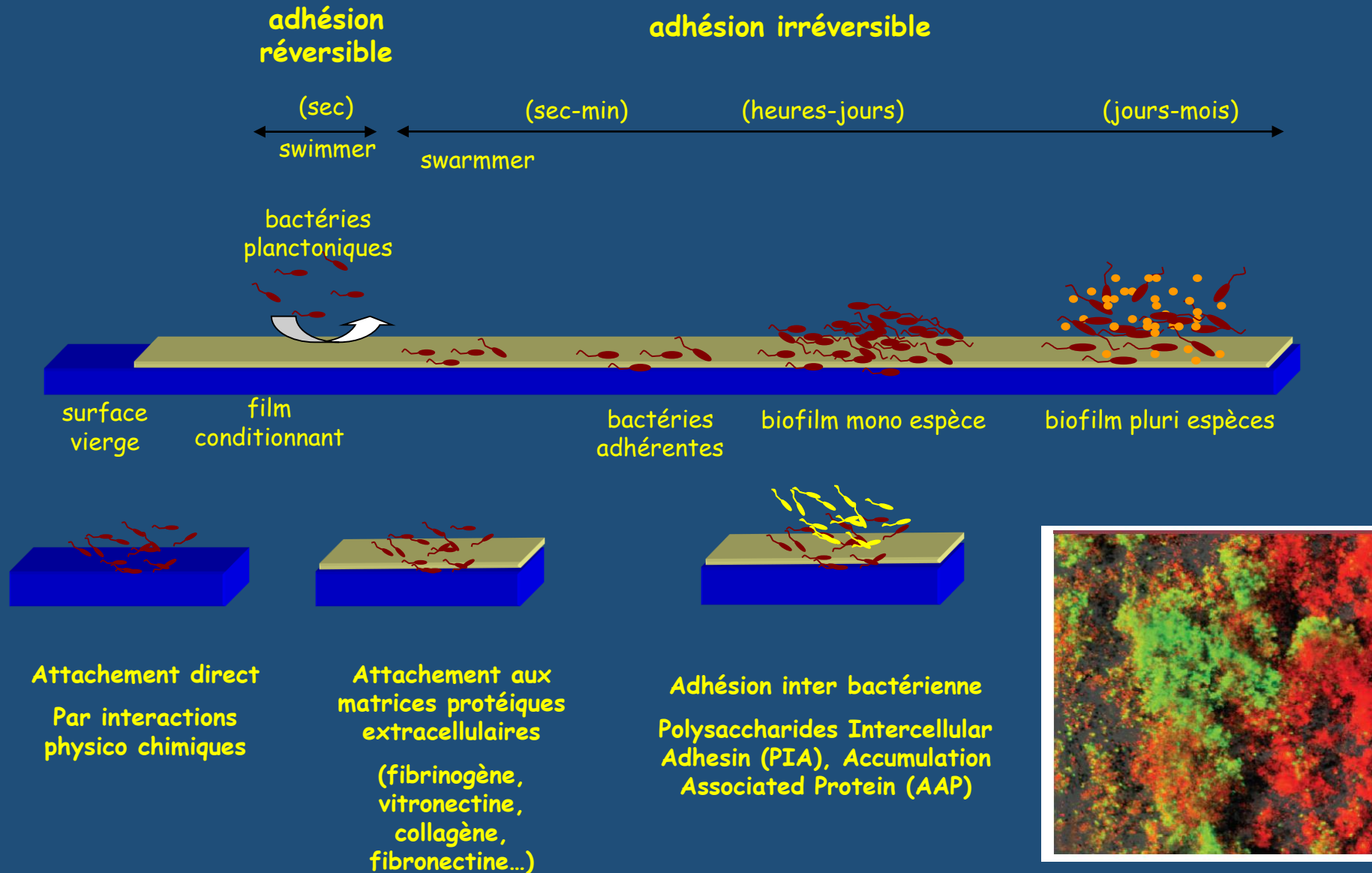
Avantages et inconvénients des procédés de traitement des eaux usées		
Traitement	Avantages	Inconvénients
Procédés biologiques bas débits		
bassin de stabilisation Réservoirs de stockage et de traitement des eaux usées	Réduction de la concentration de tous les pathogènes Faible coûts de construction, exploitation et maintenance Simplicité de fonctionnement et maintenance Boues à faibles concentration d'œufs d'helminthes Aucun besoin d'énergie électrique Fonctionne sous climats chauds, faible évaporation	Courts-circuits hydroliques réduisant l'efficacité d'élimination des pathogènes Présence d'algues dans les effluents d'épandage pour irrigation Besoins de grandes surfaces Favorise la reproduction des pathogène si pas d'entretien Forte évaporation sous les climats arides et augmentation de la salinité de l'eau
Marais artificiels	Efficace contre les pathogènes mais insuffisante pour les bactéries et virus Coûts et ecomplexité faibles Fonctionnement et maintenance simples Pas besoin d'électricité	Elimination des pathogènes d'efficacité variable Aménagement et végétaux à mettre en place Forte évaporation sous les climats arides et augmentation de la salinité de l'eau Risque de favoriser la reproduction de pathogènes Effluents pouvant être contaminés par les excreta de la faune
Procédés hauts débits		
Sédimentation primaire	Faible coût, technologie simple	Faible élimination des pathogènes
Traitement primaire amélioré chimiquement	Améliore la sédimentation primaire à faible coût Peu besoin de terrain Elimination très efficace des œufs d'helminthes	Plus de boues Traiter les boues pour inactiver les pathogènes Utilisation de produits chimiques
Boues activées ou filtres à lit biologique, + sédimentation secondaire + désinfection	Technologie bien comprise et disponible Optimisation possible pour améliorer la désinfection	Coût élevé et grande complexité Personnel formé Besoins d'électricité Production de beaucoup de boues à manipuler, traiter et éliminer Inactivation des pathogènes par traitements Augmentation d'œufs d'helminthes dans les effluents
Réacteur anaérobie à lit de boues à flux ascendants	Faible coût Efficacité moyenne pour éliminer les œufs d'helminthes	Mauvaises odeurs des effluents Personnel formé Traiter les boues pour inactiver les pathogènes
Lagunes aérées + bassin de décantation	Technologie bien comprise et disponible Optimisation possible pour améliorer la désinfection Sédimentation primaire inutile	Besoins d'électricité Besoins d'une plus grande surface que les autres procédés à haut débit Coût et complexité moindre que les autres procédés à haut débit Traiter les boues pour inactiver les pathogènes
Coagulation, floculation et sédimentation	Meilleure efficacité d'élimination/inactivation des virus et autres pathogènes Faible coût additionnel	Augmentation de la production de boues Traiter les boues pour inactiver les autres pathogènes
Filtration sur sable granulaire à haut ou bas débit	Amélioration de l'élimination des pathogènes Technologie maîtrisée Faible coût additionnel	Traiter les boues pour inactiver les pathogènes Gestion attentive pour optimiser les performances Les filtres à bas débits ont besoin de plus de surface
Filtration sur lit double	Si après un traitement primaire, élimination des kystes, des oocystes et des œufs d'helminthes Si après un traitement secondaire, élimination efficace des pathogènes Technologie bien comprise Faible coût additionnel	Faible efficacité pour éliminer bactéries et virus Gestion attentive pour optimiser les performances

Avantages et inconvénients des procédés de traitement des eaux usées

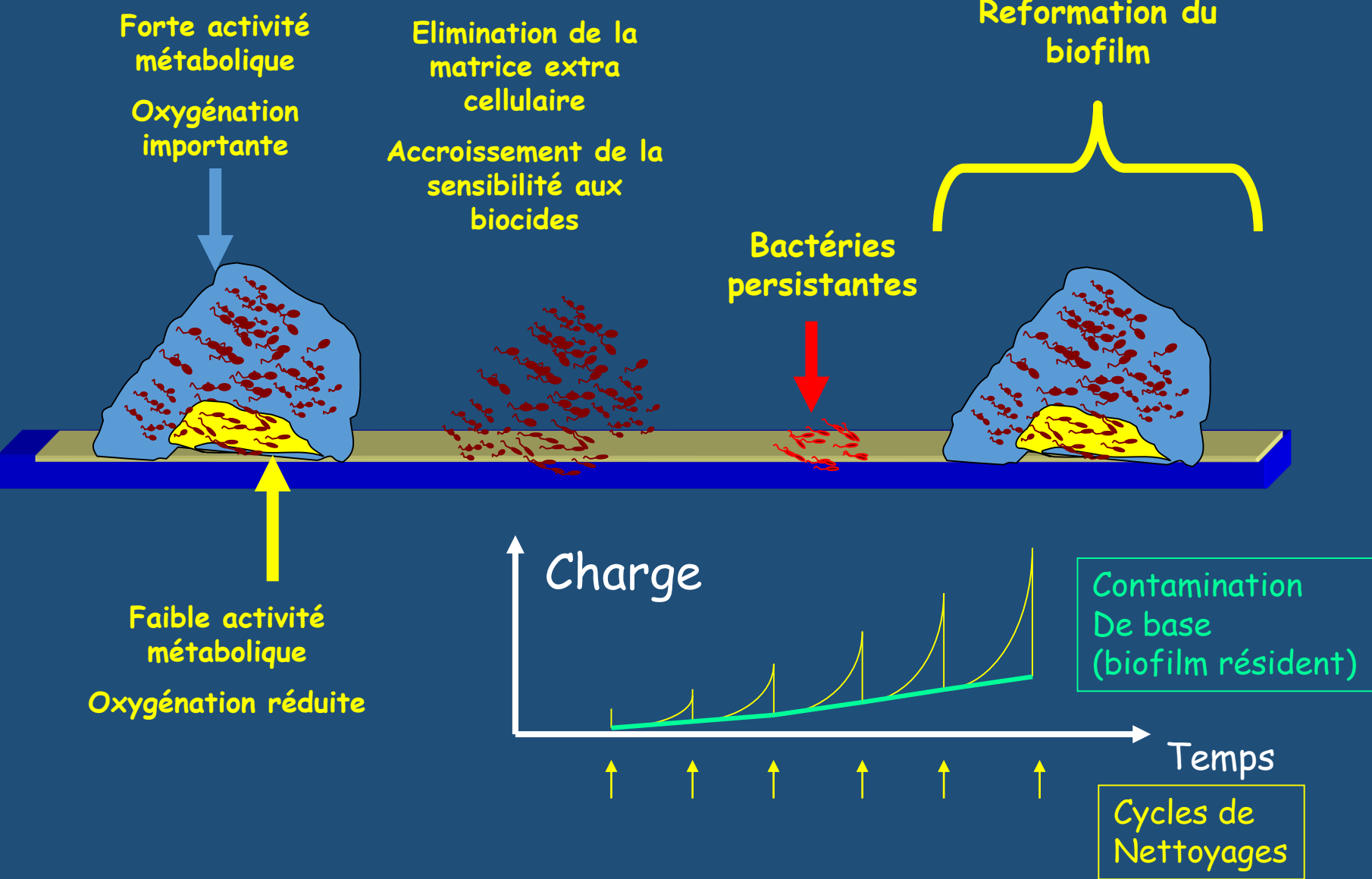
Traitement	Avantages	Inconvénients
Chloration (chlore libre)	<p>Désinfection la moins onéreuse</p> <p>technologie bien comprise</p> <p>Efficace pour l'inactivation des bactéries et virus</p>	<p>Prétraitement obligatoire</p> <p>Faible efficacité sur les protozoaires et helminthes</p> <p>Génération de sous produits de désinfection</p> <p>Produit chimique dangereux</p>
Ozone	<p>Inactivation efficace des bactéries, des virus et certains protozoaires</p>	<p>Efficacité si la teneur en matières organiques est faible</p> <p>Faible efficacité sur protozoaires et helminthes</p> <p>Plus coûteux et plus complexe que la chloration</p> <p>Nécessité de générer l'ozone sur le site</p> <p>Sous produits dangereux</p>
Les ultraviolets	<p>Inactivation efficace des bactéries, des virus et certains protozoaires</p> <p>Faible coût</p> <p>Absence d'utilisation et de génération de sous produits toxiques</p>	<p>Uniquement efficace sur effluents à faible teneur matières solides en suspension et présentant une transmittance élevée</p> <p>Pas d'inactivation des œufs d'helminthes</p> <p>Baisse de performances par la présence de matières particulaires et de biofilms</p> <p>Besoin d'entretenir les lampes</p>

- **Indicateurs d'efficacité de traitement** : spores de bactéries sulfitoréductrices ou spores de *Clostridium perfringens* et le nombre de germes aérobies revivifiables à 22°C et à 36°C (dans le cas de la distribution d'eau potable).
- Les *Clostridium sulfitoréducteurs* sont marqueurs d'une pollution fécale ancienne ou intermittente.
- Les pseudomonades tels *P. aeruginosa* et *fluorescence* sont aussi recherchés.

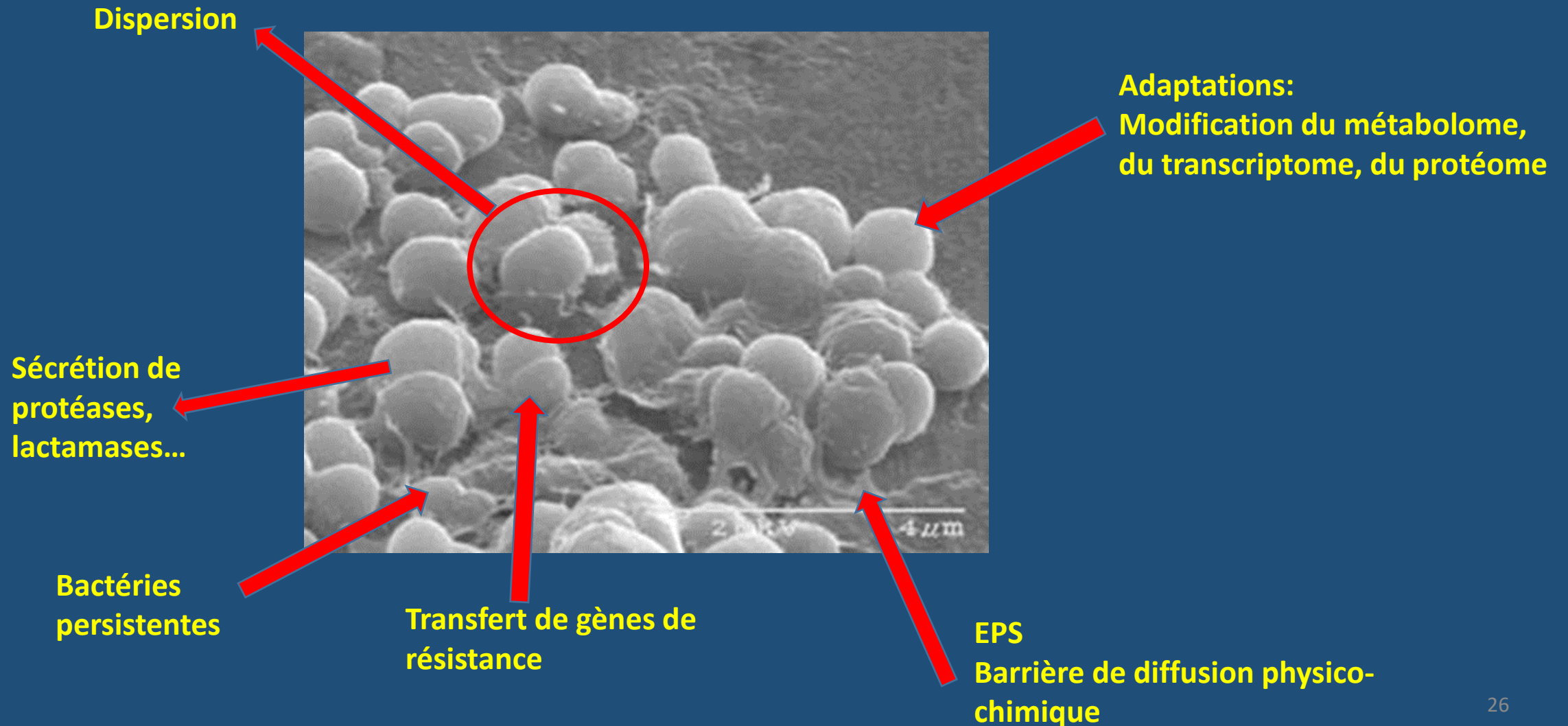
Biofilms bactériens : Les étapes de formation



Biofilms bactériens et nettoyage/désinfection



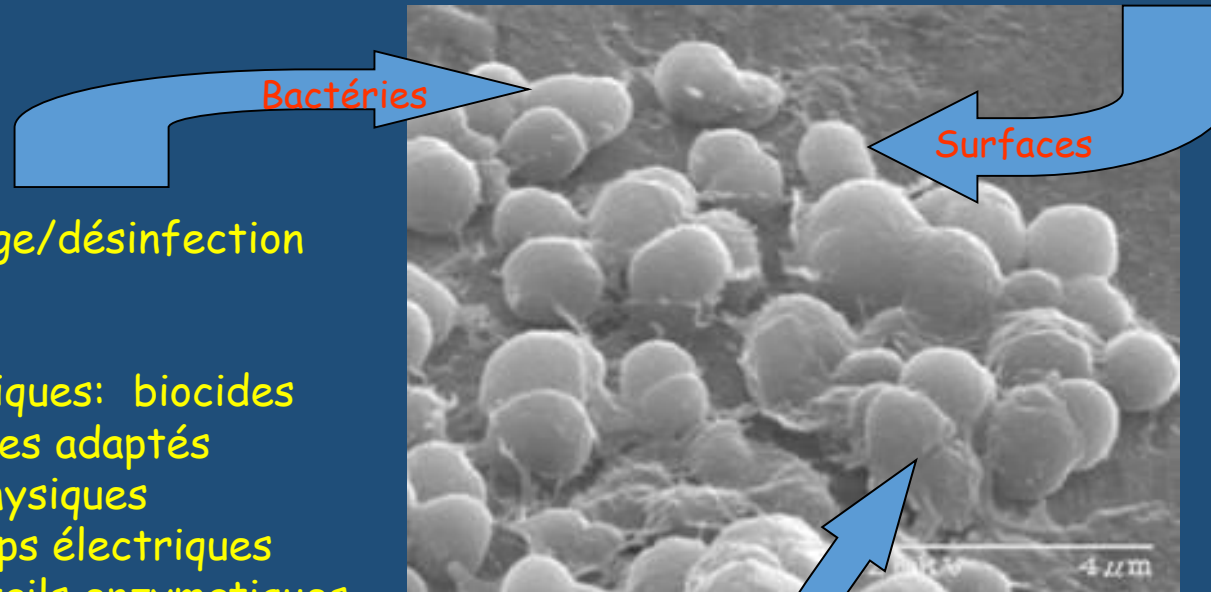
Biofilms bactériens: Mécanismes de résistance



Biofilms bactériens : Les cibles et stratégies de prévention

Bactéries en suspension : Limiter et éviter les aérosols, UV 254nm, Ozone, Filtres, climatisation, surpression, rideaux d'air...

- * Rugosité, viscoélasticité, caractère hydrophile /hydrophobe, donneur/accepteur d'électrons, tensioactifs
- * Limiter l'usage de l'eau le plus possible, éviter l'abrasion des surfaces, la formation de crevasses, de rainures, d'anfractuosités, limiter les recoins, les zones d'accès difficiles
- * Revêtements de surface bactériolytique, bactériostatiques, inhibiteurs du QS...



* Cycles nettoyage/désinfection rapprochés

* Traitements

biologiques/chimiques: biocides et/ou antibiotiques adaptés

* Traitements physiques

* Champs électriques

* Cocktails enzymatiques

* Lumière pulsée

* Plasma froid

* Couplage traitement biologique et physique

Biofilms positifs

Il est possible d'éviter cela !



Merci