

Chapitre 6: Principes des traitements biologiques

- ☞ la biodégradation de composés organiques est un processus naturel qu'on met à profit en accéléré dans les procédés biologiques
- ☞ la pollution dissoute/colloïdale/particulaire est transformée en gaz et tissus cellulaires plus denses que l'eau qu'on peut séparer ensuite par décantation.

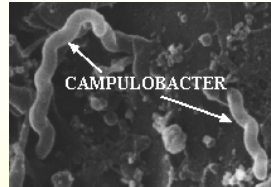
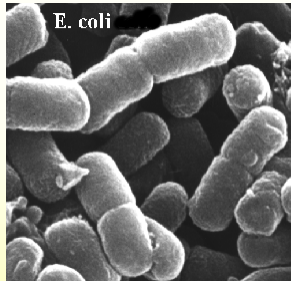
Éléments de microbiologie des eaux usées: les micro-organismes

- ☞ protistes:
 - inférieurs: bactéries
(95% de la biomasse d'une boue activée)
 - supérieurs: algues, champignons, protozoaires
- ☞ plantes:
 - mousses
 - fougères
- ☞ animaux: rotifères crustacés

Les bactéries:

☞ des milliers d'espèces

☞ de formes sphériques, cylindriques, hélicoïdales



☞ de tailles de 0.5 à 15 μm .

Distinction des bactéries selon leur source de carbone

☞ bactéries autotrophes: qui utilisent le carbone du CO_2 (ex: bactéries nitrifiantes)

☞ bactéries hétérotrophes: qui utilisent le carbone du substrat (le composé à détruire)

Distinction selon les sources d'énergie:

- ☞ apport d'énergie par le soleil: phototrophe
- ☞ apport suite à une réaction: chémotrophe
 - organotrophe: avec composé organique
 - lithotrophe: avec inorganique

Distinction selon leur affinité avec l'oxygène:

- ☞ aérobies obligatoires: ne peuvent subsister en l'absence d'oxygène
=> CO_2 , H_2O
- ☞ anaérobies obligatoires: ne peuvent subsister en présence d'oxygène moléculaire => CH_4 , H_2S , CO_2
- ☞ les facultatifs: ils survivent avec ou sans oxygène dissous (condition d'anoxie: utilisation de l'oxygène de NO_3^-)

Distinction selon la température optimale de reproduction

- ☞ psychrophile: $T < 20 \text{ °C}$
- ☞ mésophile: $25 < T < 40 \text{ °C}$
- ☞ thermophile: $45 < T < 60 \text{ °C}$
- ☞ sténothermophile: $T > 60 \text{ °C}$

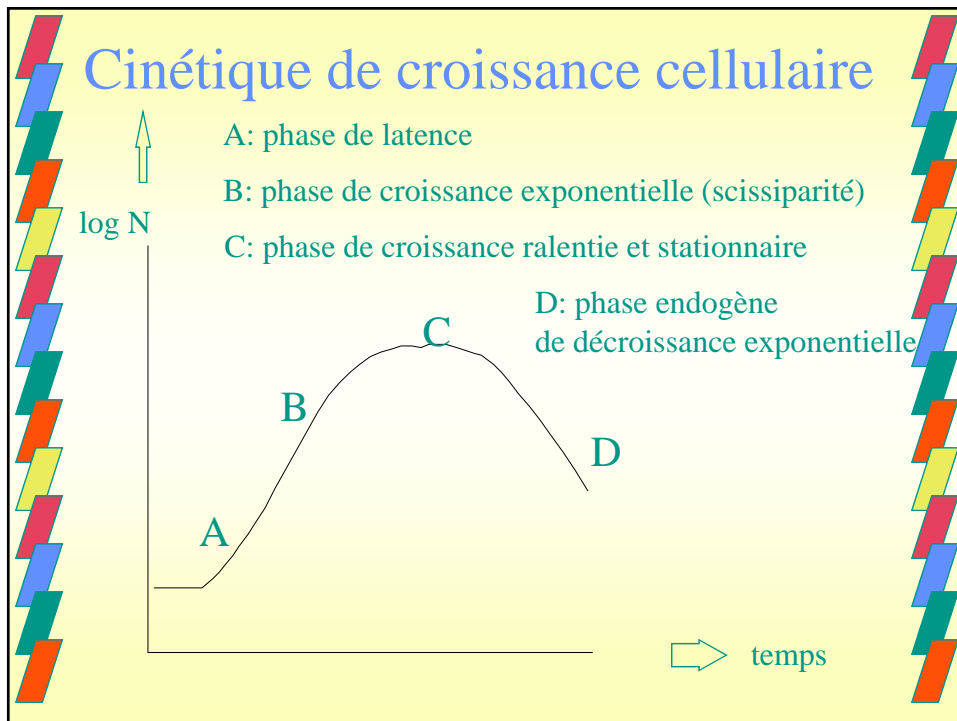
*Voir Glossary of Environment and Microbiology Terms
<http://alken-murray.hypermart.net/glossarybug.html>*

Métabolisme cellulaire

- ☞ métabolisme: activité chimique des cellules: catabolisme+ anabolisme
- ☞ catabolisme: réactions de transformation des composés organiques en composés finaux de décomposition (gaz) et énergie
- ☞ anabolisme: réactions qui conduisent à la synthèse de biomasse

Minéralisation cellulaire

- en l'absence de substrat externe (exogène) les cellules utilisent leur réserve comme source de carbone
- respiration endogène: diminution de la biomasse
- réduction des volumes de boues



Vitesse de croissance de la biomasse, r_c

$$r_c = \mu X$$

- ☞ X biomasse [masse/unité de volume], [mg/L]
- ☞ μ le **taux de croissance** de la biomasse [temps⁻¹] [h⁻¹]
- ☞ r_c biomasse produite, exprimée en masse par unité de volume et par unité de temps, [mg/(L.h)]

Cinétique de Monod avec substrat limitant

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_S + S}$$

- ☞ μ_m taux maximal de croissance [temps⁻¹]
- ☞ S concentration en substrat limitant [masse/unité de volume]
- ☞ K_S constante de Monod (ou coefficient de demi-saturation) égale à la concentration en substrat lorsque le taux de croissance vaut $\mu_m/2$

- ☞ Nombreux autres modèles cinétiques
- ☞ Modèle de Haldane pour tenir compte de la bio-inhibition
- ☞ Phase endogène:

$$r_D = - k_d X$$

r_D : biomasse disparue, exprimée en masse par unité de volume et par unité de temps, mg/ (L.h)

Cinétique d'utilisation du substrat

- ☞ Une partie de la pollution est convertie en biomasse
- ☞ la croissance est proportionnelle à la disparition du substrat:

$$r_C = -Y r_S$$
- ☞ r_S vitesse de disparition du substrat [mg/(L.h)]
- ☞ r_C vitesse de croissance de la biomasse [mg/(L.h)]
- ☞ **Y rendement de conversion**, coeff. de production [masse de cellules produite/masse de substrat enlevé]

avec modèle de Monod:

$$r_S = -\left(\frac{\mu_m}{Y}\right) \frac{XS}{(K_S + S)}$$

si $K_S \ll S$ alors r_S ne dépend pas de S et cette vitesse est d'ordre zéro par rapport au substrat et on peut l'écrire sous la forme

$$r_S = -K X$$

si $K_S \gg S$ alors r_S dépend de S et cette vitesse est donc du premier ordre par rapport au substrat

$$r_S = -K X S$$

Besoins en nutriments

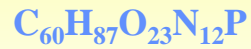
la croissance de la biomasse nécessite en plus

- du carbone (le substrat)
- de l'oxygène (si aérobie)

azote, phosphore: (% matière sèche dans la biomasse, azote 14% - phosphore 3%)

traces de métaux (voir p 6-4.1)

Composition typique de la biomasse:



Elément	% de la masse sèche	Elément	% de la masse sèche
Carbone	50	Sodium	1
Oxygène	20	Calcium	.5
Azote	14	Magnésium	.5
Hydrogène	8	Chlore	.5
Phosphore	3	Fer	.2
Soufre	1	Autres	.3
Potassium	1		

Besoins en nutriments (suite)

- ☞ rapport DBO/N/P 100/5/1 [100/10/1]
- ☞ les effluents urbains contiennent tous les nutriments
- ☞ certains effluents industriels peuvent être fortement carencés en N et P et ces éléments devront être ajoutés avant le traitement biologique.

Les divers traitements biologiques

- ☞ boues activées
- ☞ disques biologiques
- ☞ lits bactériens
- ☞ biofiltration
- ☞ fossé d'oxydation
- ☞ lagunes aérées
- ☞ réacteurs biologiques séquentiels
- ☞ décomposition et lagunes anaérobies

Biodégradabilité et acclimatation

- ☞ la biodégradabilité des composés organiques est variable (voir p.6-4.1)
- ☞ **l'acclimatation** des bactéries à un effluent industriel peut être longue benzidine 6 semaines
pentachlorophenol 3 semaines acclimatation: temps pour la production d '**enzymes** (protéine agissant comme catalyseur des réactions biochimiques) permettant les mécanismes de biodégradation du substrat
- ☞ parfois un prétraitement de l'effluent est nécessaire (voir p 6-5.1)

Conditions typiques pour pré-traitement avant procédé biologique

Paramètres	Domaine limite	Nature du pré-traitement
MES	<50-125 mg/L	Sédimentation, flottation
Huiles et graisses	<35-50 mg/L	Deshuileur, dégraisseur
Ions toxiques: Pb Cu+Ni+CN Cr ⁶⁺ +Zn Cr ³⁺	<0.1 mg/L <1 mg/L <3 mg/L <10 mg/L	Précipitation ou Échange d'ions
pH	6-9	Neutralisation
Alcalinité	0.5 kg alc. CaCO ₃ /kg de DBO enlevé	Neutralisation
Variation de charge	< 2:1	Égalisation
Sulfures	<100 mg/L	Précipitation ou stripping
Phénol	<70-300 mg/L	Extraction, adsorption, dilution
Ammoniac	<500 mg/L	Dilution, échange d'ion, stripping, ajustement pH
Sels dissous	<10-16 g/L	Dilution, échange d'ions
Température	13-38 °C	Refroidissement ou chauffage

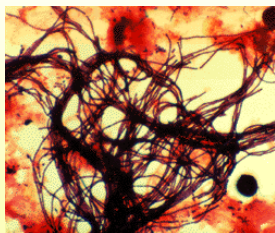
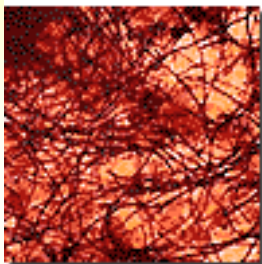
Les mécanismes d'abattement de la pollution

- ☞ biodégradation
- ☞ sorption (adsorption et absorption)
 - ☞ Piégeage des matières en suspension dans la biomasse (floc biologique). Étape rapide (de l'ordre de 30 min à 45 min) qui nécessite une bonne agitation entre les microorganismes et l'effluent à traiter.
 - ☞ enlèvement des matières colloïdales par adsorption sur le floc biologique
 - ☞ biosorption des composés organiques solubles par les micro-organismes.
- ☞ Stripping (dégazage avec l'aération)
(voir tableaux p 6-5.2)

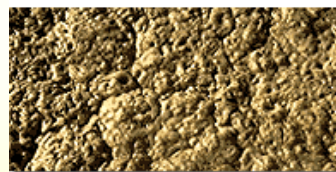
Le problème du foisonnement et du moussage (bulking - foaming)

- ☞ pour être efficace, le procédé biologique doit produire une biomasse (les boues) facilement décantable
- ☞ différentes formes de biomasse:
 - dispersée
 - agglomérée (floculante, décantation aisée)
 - filamenteuse (décantation difficile)

Bactéries filamenteuses

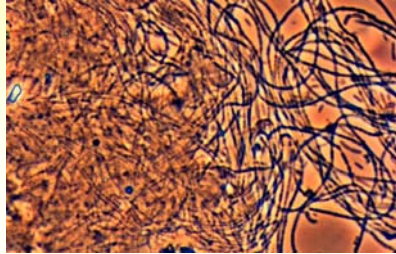


Problème au décanteur



elles moussent, elles flottent, elles débordent ... mais elles ne décantent pas !

<http://www.lbcc.cc.or.us/process2/filament/richard>



Microthrix parvicella 1000x



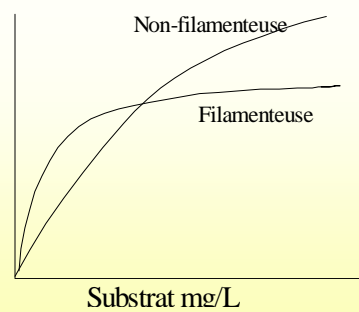
Nocardia 1000x

- Thiothrix spp., type 0041 and type 0675
- Thiothrix spp., type 021N, Beggiatoa spp. and type 0914
- Sphaerotilus natans
- Nostocoida limicola Type 0041 and Type 0092

Conditions favorables aux bactéries filamenteuses

- ☞ carence en oxygène
- ☞ carence en substrat (faible F/M)
- ☞ carence en nutriments (N, P) ou excès (S^{2-})
- ☞ opération CSTR (vs piston)

vitesse de croissance
spécifique (1/h)



- ☞ panne biologique par déséquilibre nutritionnel

http://www.dec.state.ny.us/website/dow/bwcp/ta_sludbulk.html

Filament Types as Indicators of Conditions Causing Activated Sludge Bulking

Causative Condition (1)	Filament Types
Low Dissolved Oxygen (for the applied organic loading)	<i>S. natans</i> , type 1701 and <i>H. hydrossis</i> .
Low Organic Loading Rate > (low F/M)	<i>M. parvicella</i> , <i>Nocardia</i> spp., and types 0041, 0675, 1851 and 0803.
Septic Wastes / Sulfides (high organic acids)	<i>Thiothrix I and II</i> , <i>Beggiatoa</i> spp., <i>N. limicola II*</i> , and types 021N, 0092*, 0914*, 0581*, 0961* and 0411.
Nutrient Deficiency - N and/or P (industrial wastes only) nitrogen - phosphorus -	<i>Thiothrix I and II</i> and type 021N. <i>N. limicola III</i>
Low pH (<pH 6.0)	fungi.
High Grease/Oil	<i>Nocardia</i> spp., <i>M. parvicella</i> and type 1863

(1) Note that some filaments occur at several conditions.
* These filaments occur at lower F/M at septic conditions.

Pour en savoir plus: [Dysfonctionnements des stations d'épuration : origines et solutions](http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae33.pdf) <http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae33.pdf>

Problématique environnementale avec les POP: polluants organiques persistants

http://www.ec.gc.ca/RegistreLCPE/documents/policies/POPs_Backgrounder.cfm

POP: substances toxiques rejetées dans l'environnement par diverses activités anthropiques. Ils ont des effets néfastes sur la santé des écosystèmes, des espèces sauvages et des gens.

Les POP sont très stables et peuvent demeurer dans l'environnement pendant des années, voire des décennies et être transportés sur de longues distances.

Ils sont également biocumulatifs, ce qui signifie qu'ils peuvent se concentrer dans les organismes vivants et que cette concentration augmente au fur et à mesure qu'ils avancent dans la chaîne alimentaire par les poissons, les oiseaux prédateurs et les mammifères jusqu'aux humains.

- ☞ les pesticides (le DDT, le chlordane, le toxaphène, le mirex, l'aldrine, la dieldrine, l'endrine et l'heptachlore);
- ☞ les produits chimiques industriels (les BPC, l'hexachlorobenzène);
- ☞ les sous-produits et les contaminants (les dioxines et les furanes).