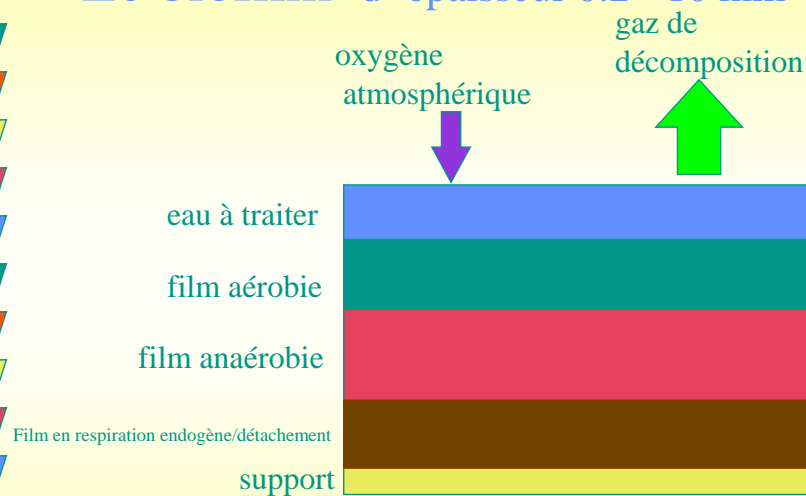


Chapitre 8 : Procédés à biomasse fixée

- ☞ Ces procédés mettent en oeuvre des surfaces solides colonisées par la biomasse sous la forme d'un film biologique : le biofilm.
- ☞ Toutes les étapes d'un traitement biologique peuvent s'opérer dans le biofilm : étapes aérobie et anaérobie

• Le biofilm d'épaisseur 0.2 - 10 mm



- ☞ L'oxygène diffuse sur 0.10 - 0.15 mm

Lits bactériens: (trickling filter)

- ☞ **enlèvement de la pollution soluble**
- ☞ on fait ruisseler l'eau sur un matériau développant de la surface spécifique ($50-200 \text{ m}^2/\text{m}^3$)
- ☞ temps de séjour du liquide: 20-60 min
- ☞ ventilation naturelle ou forcée (ascendant ou descendant) pour l'apport d'oxygène
- ☞ matériau naturel (gravier, roche volcanique)
- ☞ matériau synthétique (PVC, PE, P.Propylene)

Supports pour les lits bactériens: différentes formes (voir aussi figure p 8-1.2)

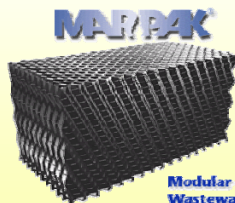
http://www.sequencertech.com/biotechnology/trikling_randommedia/random_media.htm



<http://www.hi-techenv.com/FilterMedia.htm>



<http://www.marpak.com>



Modular Biomedia for
Wastewater Treatment

<http://www.jaeger.com/biotech.htm>



Lits bactériens:



Lits bactériens:



<http://www.ticsa.com.mx/p32.htm>

Lits bactériens:

<http://www.envitech.co.id/photo5.htm>



<http://www.tyad-emd.army.mil/npdes/tricklingfilters.html>

Lits bactériens (suite)

décanteur
primaire
(si MES)

S_a
 Q

lit bactérien
à bras rotatif

S_0

décanteur
secondaire

S_e

Q_r

(deux types de recyclage possible)

mais recyclage en amont du décanteur primaire préférable

Équations de design: cas d'une cinétique du premier ordre pour l'enlèvement du substrat

$$\frac{S_e}{S_0} = e^{-k \bar{X} t}$$

mais on a observé que:

$$t = \frac{CH}{Q_s^n}$$

- ☞ t temps de séjour du liquide dans le lit
- ☞ C et n constantes = f(garnissage)
- ☞ H hauteur du garnissage
- ☞ Q_s charge surfacique
(m^3 d'affluent par jour) par
(m^2 de surface horizontale de lit)

Équations (suite)

☞ en remplaçant:

$$\frac{S_e}{S_0} = e^{-k \bar{X} \frac{CH}{Q_s^n}} = e^{-\frac{K_1 H}{Q_s^n}} \text{ avec } K_1 = (k \bar{X} C)$$

et sans recirculation $S_0 = S_a$

☞ avec recirculation, le bilan donne:

$$S_0(Q + Q_r) = (S_a Q + S_e Q_r)$$

$$S_0 = \frac{(S_a + r S_e)}{(1 + r)} \text{ et } r = \frac{Q_r}{Q}$$

Équations (suite) et performances

$$\frac{S_e}{S_a} = \frac{e^{-Z}}{1 + r - re^{-Z}} \quad \text{avec } Z = \frac{K_1 H}{Q_s^n}$$

Caractéristiques (tableau p 8-1.4), dimensionnement empirique à partir:

- ☞ de la charge hydraulique exprimée en:
m³ d'effluent / (m² de surface horizontale de lit . jour) (de 1 à 200)
- ☞ de la charge organique (volumique) exprimée en:
kg de DBO₅ / (m³ de lit . jour)
typiquement dans la gamme [0.1- 6] pour atteindre des rejets voisins de 30 mg/L.
- ☞ de la charge organique (surfactive) exprimée aussi en:
g de DBO₅ / (m² de surface de lit développée . jour):
[4 -10]

Lits bactériens

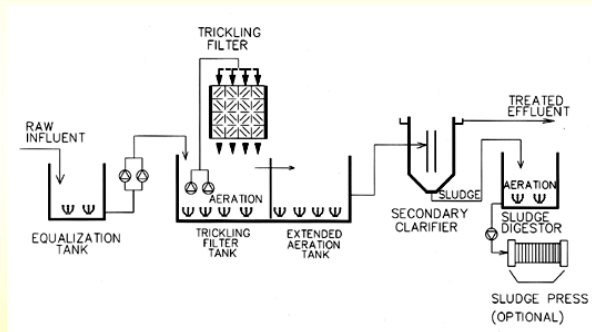
- ☞ Nécessité d'avoir un arrosage optimal:
 - ne pas assécher le biofilm, ne pas le noyer (pour l'apport d'oxygène)
 - permettre la croissance du biofilm
 - permettre l'autocurage: élimination du biofilm (éviter le colmatage)
- ☞ Consommation électrique moins importante que pour les boues activées (2 à 3 fois moins)

Lits bactériens

- ➔ Produit autant de boues que le procédé à boues activées (BA).
- ➔ Mais décanteur secondaire de surface moindre que BA car il ne voit que les boues produites (pas de recirculation des boues comme dans les BA).
- ➔ Pour le traitement d'effluents industriels fortement chargés, utilisation d'un lit bactérien (i.e. abattement de 50% de la charge) avant un traitement avec biomasse en suspension (BA)

Couplage lit bactérien + aération prolongée

Trickling Filter Extended Aeration Systems



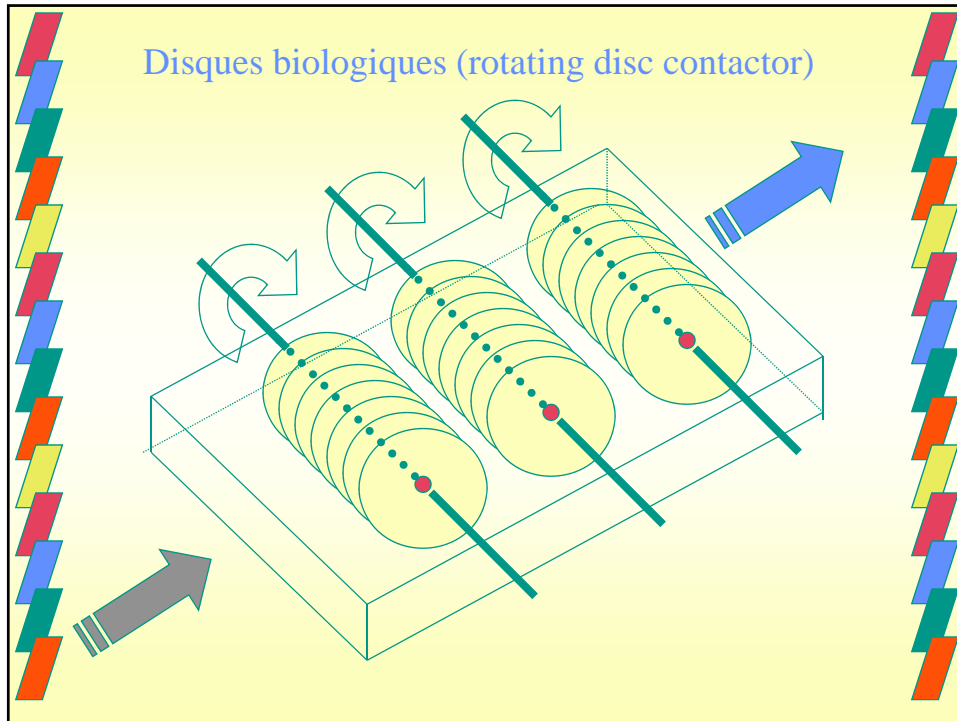
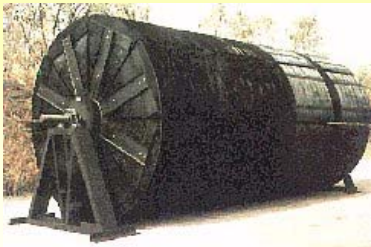

<http://www.waterworks.ca/tfea.html>

Lits bactériens:

- ☞ Nitrification possible en un ou deux étages
- ☞ Dénitrification possible avec lit bactérien non aéré ou noyé

Disques biologiques


- ☞ Observation au 19^{ème} siècle du pouvoir épurateur des moulins à eaux !
- ☞ La biomasse est fixée sur des disques en rotation montés verticalement et immergés à 40 % dans l'eau à traiter:
 - épaisseur du biofilm 1 à 3 mm
 - diamètre 2 à 4 m
 - vitesse de 1 à 2 t/minute
 - espacement entre les disques 2 à 3 cm
- ☞ Disques pour traiter la pollution soluble

http://www.walker-process.com/wpe_rbc1.html

The shaft is a 30 inch diameter, 3/4 inch thick wall.
 Shafts are available in:- 11 foot -10 inch diameter
 - 26 foot nominal length
 in both 100,000 square feet (9290 m²) and 150,000 square feet media area

Couverture nécessaire
<http://www.sernagiotto.it>





Disques biologiques: équations de design

- ☞ cinétique du 1^{er} ordre et CSTR

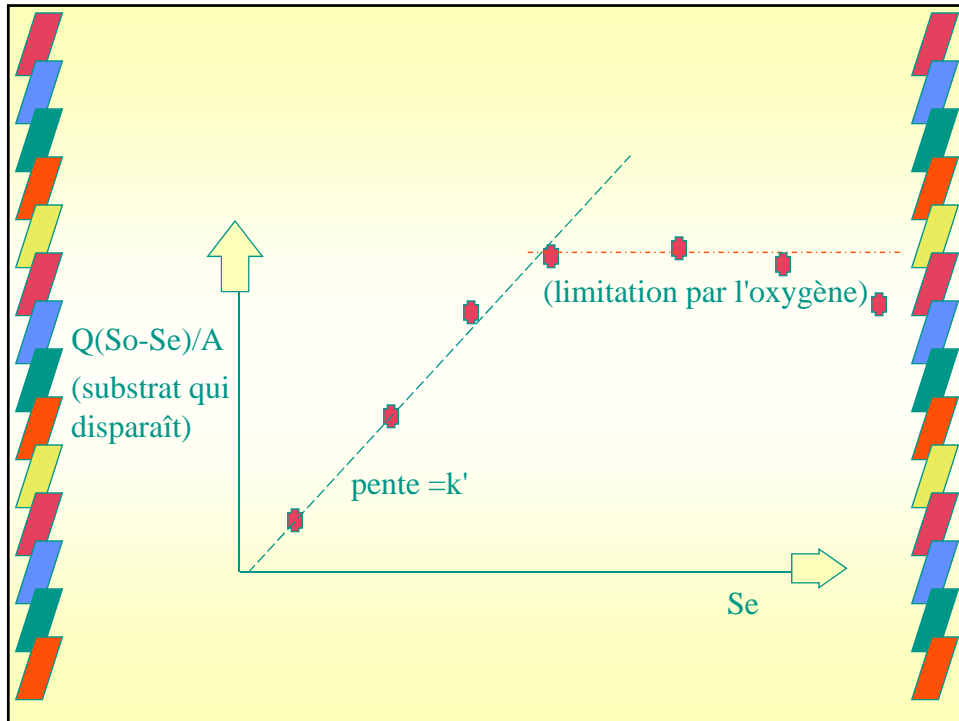
$$Q(S_0 - S_e) = kS_e X$$

- ☞ la masse de cellules est proportionnelle à la surface des disques:

$$\frac{Q}{A}(S_0 - S_e) = k' S_e$$

- ☞ le tracé de $Q(S_0 - S_e)/A$ vs S_e permet à partir des mesures expérimentales de trouver la constante k'

- ☞ Le plateau observé à forte concentration correspond au cas où il y a limitation par le transfert d'oxygène



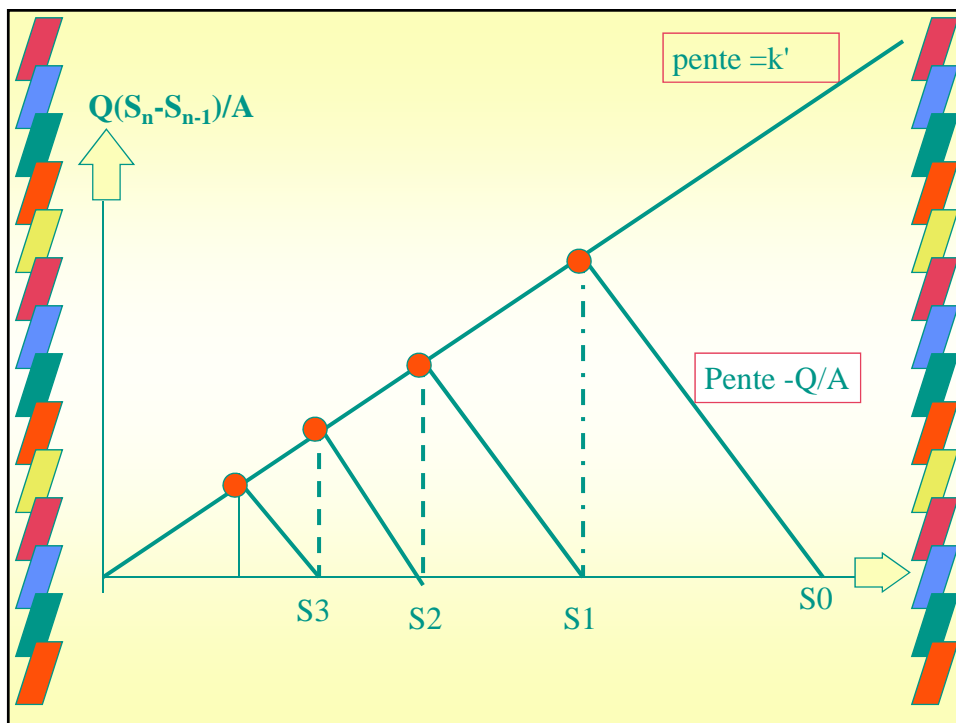
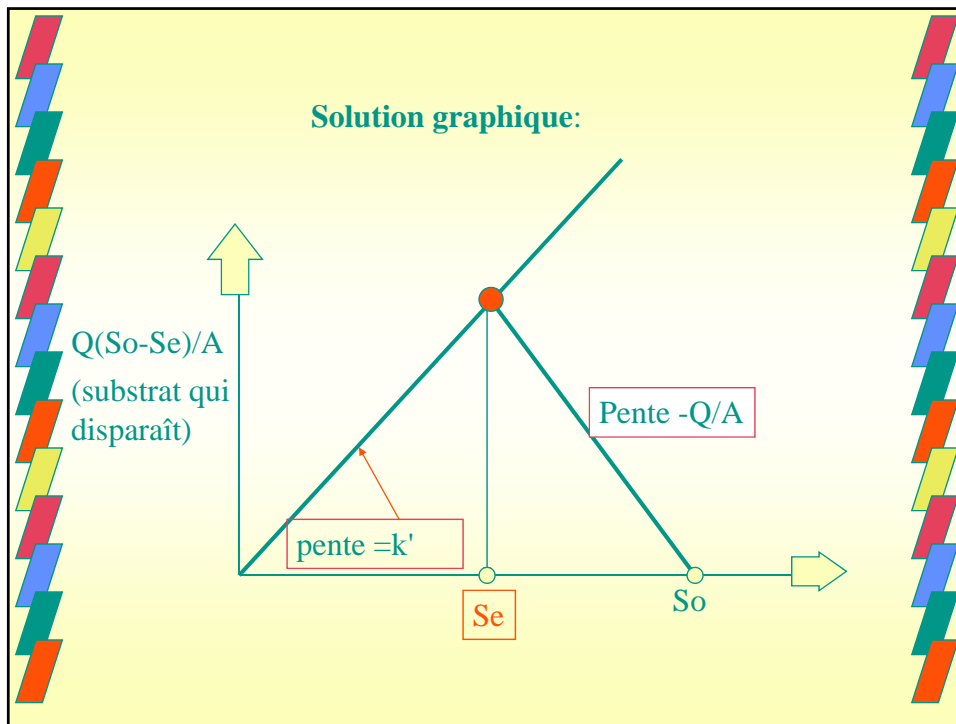
Équations (suite)

☞ Cas pour un seul étage:

$$\frac{S_e}{S_0} = \frac{1}{1 + \frac{k' A}{Q}}$$

☞ Si n étages en série:

$$\frac{S_n}{S_0} = \left[\frac{1}{1 + \frac{k' A}{Q}} \right]^n$$



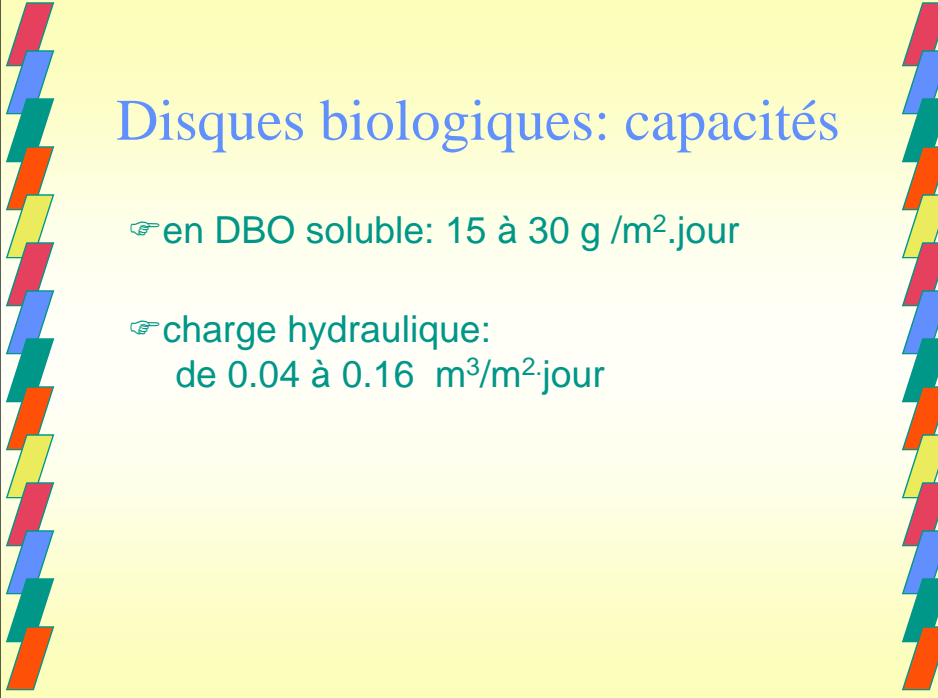
Équations (suite)

☞ et inversement:

$$\frac{Q}{A} = \frac{k'}{\left(\frac{S_o}{S_n}\right)^{1/n} - 1}$$

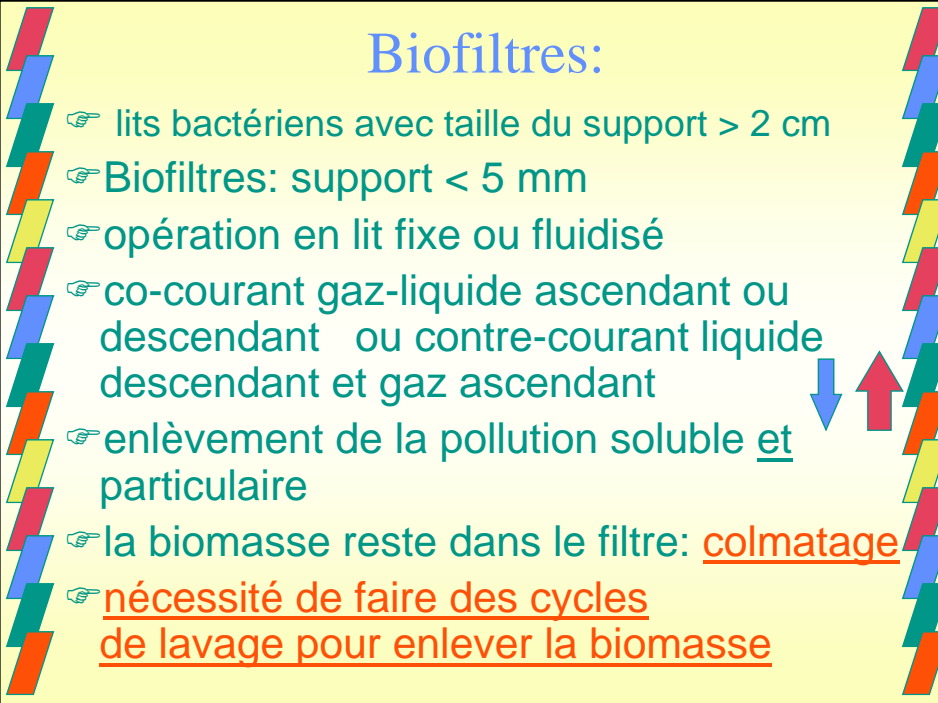
Disques biologiques

- ☞ faible agitation, il faut éviter les dépôts
- ☞ décanteur primaire nécessaire
- ☞ pas de recirculation des boues
- ☞ disques ondulés ou autres formes:
 - 50 à 200 m²/m³
 - sur arbre de 7.5 m: jusqu'à 9300m²
 - ajout de godets et injection d'air pour entraîner la rotation.
- ☞ les disques doivent être couverts:
protection contre les intempéries pluie, gel, soleil.




Disques biologiques: capacités

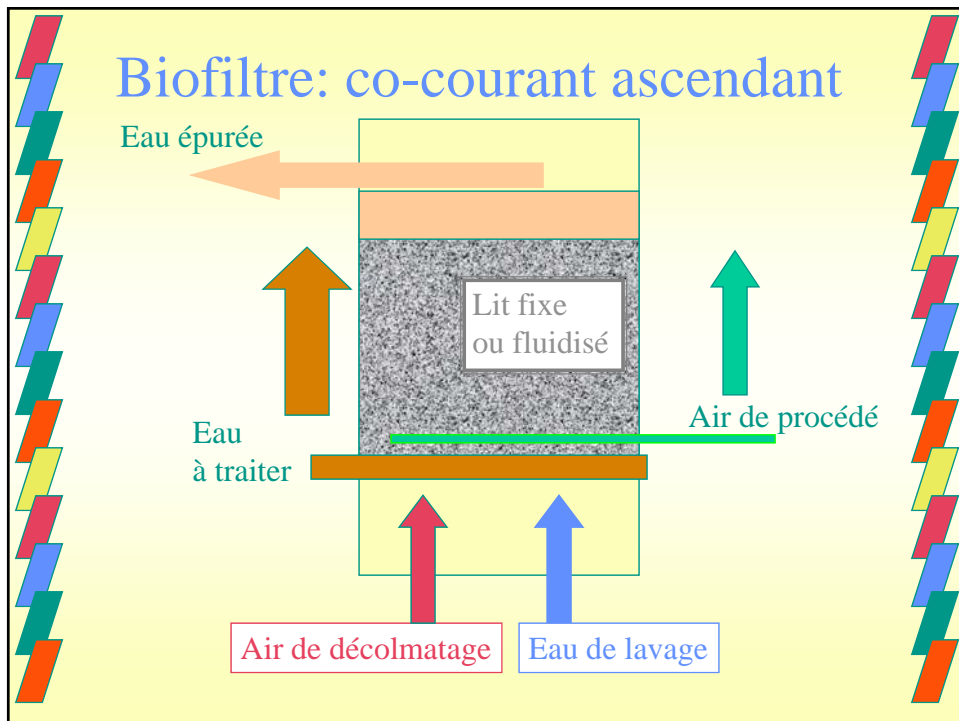
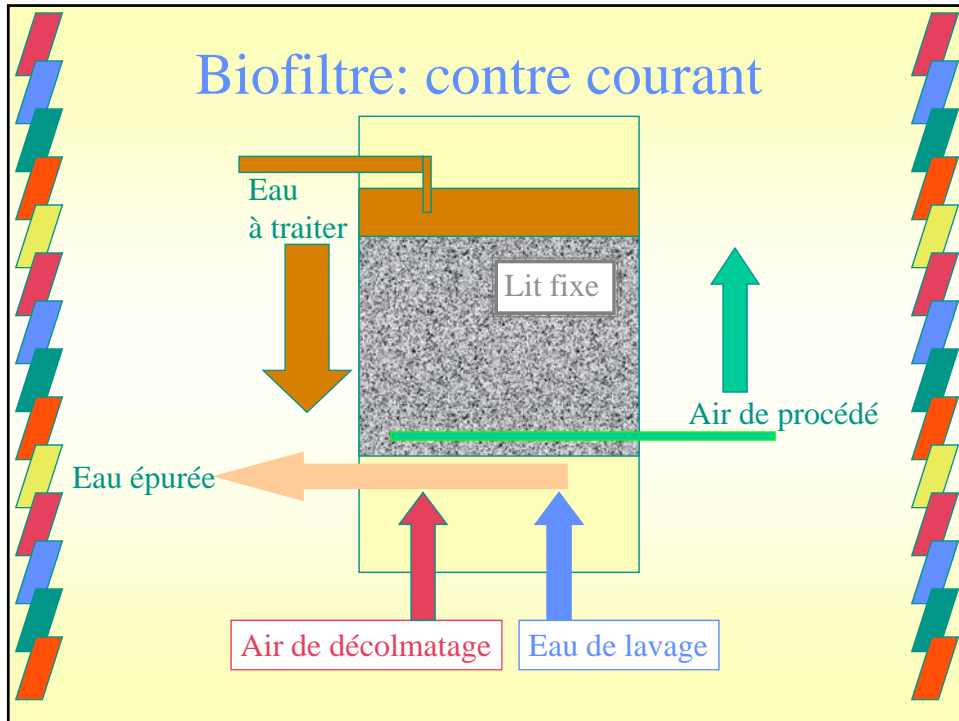
- ☞ en DBO soluble: 15 à 30 g /m².jour
- ☞ charge hydraulique: de 0.04 à 0.16 m³/m².jour

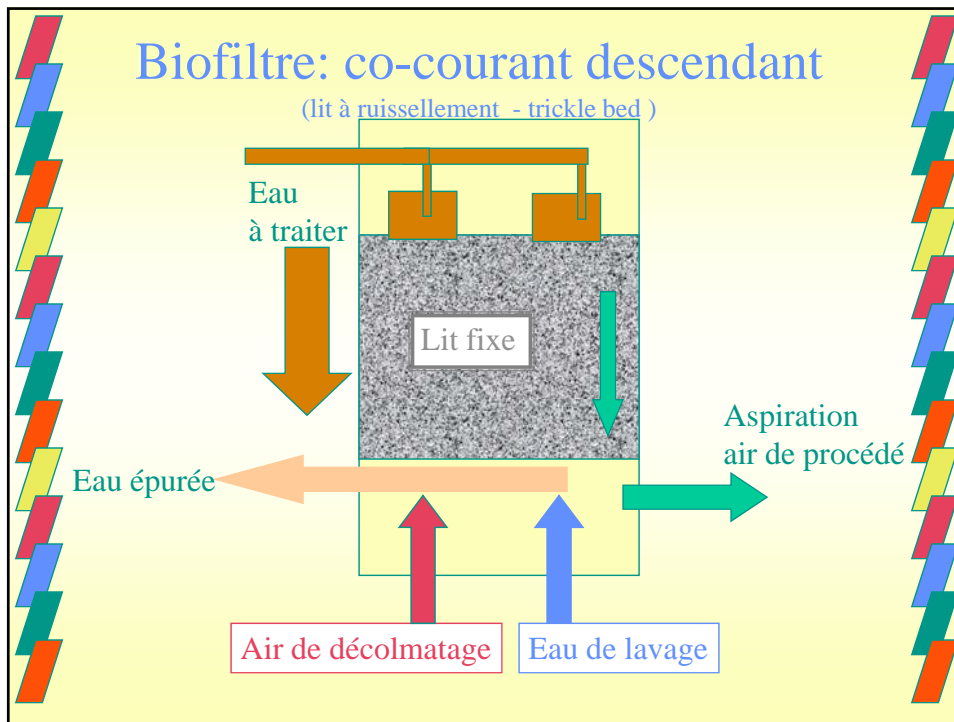


Biofiltres:

- ☞ lits bactériens avec taille du support > 2 cm
- ☞ Biofiltres: support < 5 mm
- ☞ opération en lit fixe ou fluidisé
- ☞ co-courant gaz-liquide ascendant ou descendant ou contre-courant liquide descendant et gaz ascendant
- ☞ enlèvement de la pollution soluble et particulaire
- ☞ la biomasse reste dans le filtre: colmatage
- ☞ nécessité de faire des cycles de lavage pour enlever la biomasse







Biofiltres (suite)

Les Lavages

- ☞ insufflation d'air pour décolmater le lit
- ☞ lavage à l'eau (réutilisation de l'effluent déjà traité: jusqu'à 20% du débit entrant)

Les performances

- ☞ compacité (faible emprise au sol, forte surface spécifique disponible pour le biofilm 700 à 1200 m² /m³)
- ☞ absence de clarificateur secondaire: les eaux de lavage concentrées en biomasse sont acheminées directement au traitement des boues.
- ☞ bonne versatilité: adaptation pour l'enlèvement des pollutions C ou N ou P ; installation possible dans une filière déjà existante

Surface des installations pour un même débit traité: Biofiltration vs BA



Compacts et efficaces: 8 x moins de surface au sol
10-20 x moins de temps de séjour

http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/journal/eawag_news_f/60_2006.pdf

Efficacité d'enlèvement de différents composés micropolluants organiques: Biofiltration vs BA

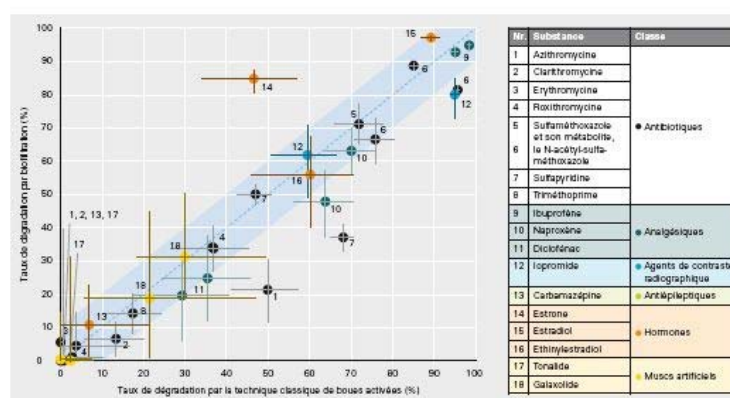


Fig. 1: Comparaison du taux de dégradation de 18 micropolluants organiques obtenu par biofiltration d'une part et par la technique classique des boues activées d'autre part. Etant donné que certaines substances ont été dosées plusieurs fois, la figure compte plus de 18 points. Les traits horizontaux et verticaux indiquent les domaines d'incertitude approximatifs correspondant aux mesures des taux de dégradation (1). Les 18 micropolluants étudiés sont présentés dans le tableau.

http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/journal/eawag_news_f/60_2006.pdf

Biofiltres: critères de design

- ☞ la charge volumique: (charge polluante journalière/volume de matériau filtrant) kg de DCO/m³.j
- ☞ la charge hydraulique: (débit journalier ou horaire/section de filtre) m³/m².j ou m³/m².h
- ☞ le temps de contact (Volume d'eau dans le réacteur/débit horaire) h

Biofiltres: critères de design

type de traitement	charge hydraulique	charge volumique	temps de passage
Carbone	1 à 6 (m ³ /m ² .j)	10 kg de DCO/m ³ .j	1/4 h à 1 h
Nitrification tertiaire	10	1.5 kg de NH ₄ /m ³ .j	
Dénitrification	14	>4 kg de N-NO ₃ /m ³ .j	
Phosphore tertiaire	11	0.4 kg de P/m ³ .j	

Comparaison biomasse fixée vs biomasse en suspension

Système à biomasse fixée	Système à biomasse suspension
Résiste mieux aux composés toxiques de l'affluent	Sensible à la présence de toxiques
Limitations au transfert de masse du substrat dans le biofilm	Peu de limitation au transfert du substrat
Aucun effet du décanteur secondaire sur le fonctionnement du réacteur et sa charge en biomasse	Le fonctionnement du bassin d'aération, et sa quantité de biomasse sont directement reliés à la performance du décanteur secondaire
Avec les biofiltres, on peut se passer de décanteur secondaire	Décanteur secondaire toujours nécessaire
Conception basée encore sur des relations empiriques car mécanismes complexes dans le biofilm	Nombreux modèles disponibles (et logiciels) pour la conception