

Traitement et Valorisation des Eaux et des Déchets (ENV.304)

Cours Traitement biologique
Les boues activées et le traitement du N

Nicolas Derlon | 19.12.2024

EPFL Feuille de route « Traitements des ERUs »

				Valeurs relevées après			
Catégorie	Paramètres	Unité	ERU	DP (2h)	BA (C)	BA (N)	TT
Solides	MES	mg/L	250	109	< 15		15
Pollution organique	DBO ₅	mgO ₂ /L	230	151	< 15		15
	DCO	mgO ₂ /L	500	327	< 45		45
Pollution azotée	NTK	mgC/L	30	27	20,8		3
	NH ₄ ⁺	mg/L	20	20	13,8		2
	NO ₂ ⁻	mg/L	0	0	0		0,3
	NO ₃ ⁻	mg/L	0	0	0		-
Pollution phosphorée	Ptot	mg/L	6	5,4	4		0,8
Micropolluants	Micropolluant	%	-	< 10	< 20		80

EPFL Approches de dimensionnement

APPROCHE 1 | BASÉE SUR LE TEMPS DE SÉJOUR HYDRAULIQUE (t_{SH}) empirique

$$V_{BA} = Q \times t_{SH}$$

APPROCHE 2 | BASÉE SUR LA CHARGE VOLUMIQUE EN DBO_5 ($C_{v, DBO5}$) empirique

$$V_{BA} = Q \times [DBO_5] / C_{v, DBO5}$$

APPROCHE 3 | BASÉE SUR LA CHARGE MASSIQUE (C_m) empirique

$$V_{BA} = Q \times [DBO_5] / ([MES]_{BA} \times C_m)$$

APPROCHE 4 | BASÉE SUR L'ÂGE DE BOUES (θ_x) théorique – connaissance cinétiques bact.

$$V_{BA} = \theta_{x,dim} \times P_{x,T} / X_T$$

APPROCHE 5 | MODÉLISATION ET OPTIMISATION DYNAMIQUE théorique

Méthode utilisée par les bureaux d'ingénieurs permettant d'optimiser le bassin à BA

EPFL Pourquoi dimensionner avec l'âge de boue (θ_x) ?

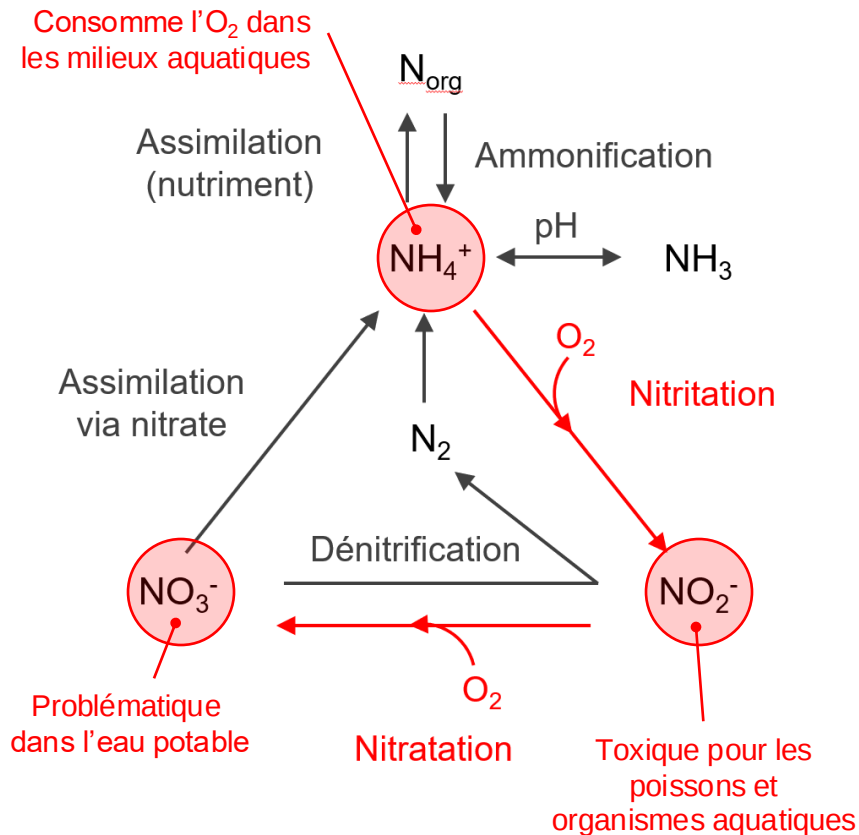


Parce que la **croissance des bactéries** **varient en fonction des souches bactériennes**, en fonction des conditions de croissance (e.g., temperature, pH, etc.)

Pour **laisser le temps aux bactéries** les plus lentes (i.e., nitrifiantes) **de croître** sans les lessiver du système

Parce que si les **bactéries nitrifiantes** sont **lessivées** du système **trop rapidement**, la **nitrification** est **moins bonne**, voire **impossible**

EPFL Cycle simplifié de l'azote dans l'eau



NITRITATION | bactéries oxydant l'ammonium (AOB)



NITRATATION | bactéries oxydant les nitrites (NOB)



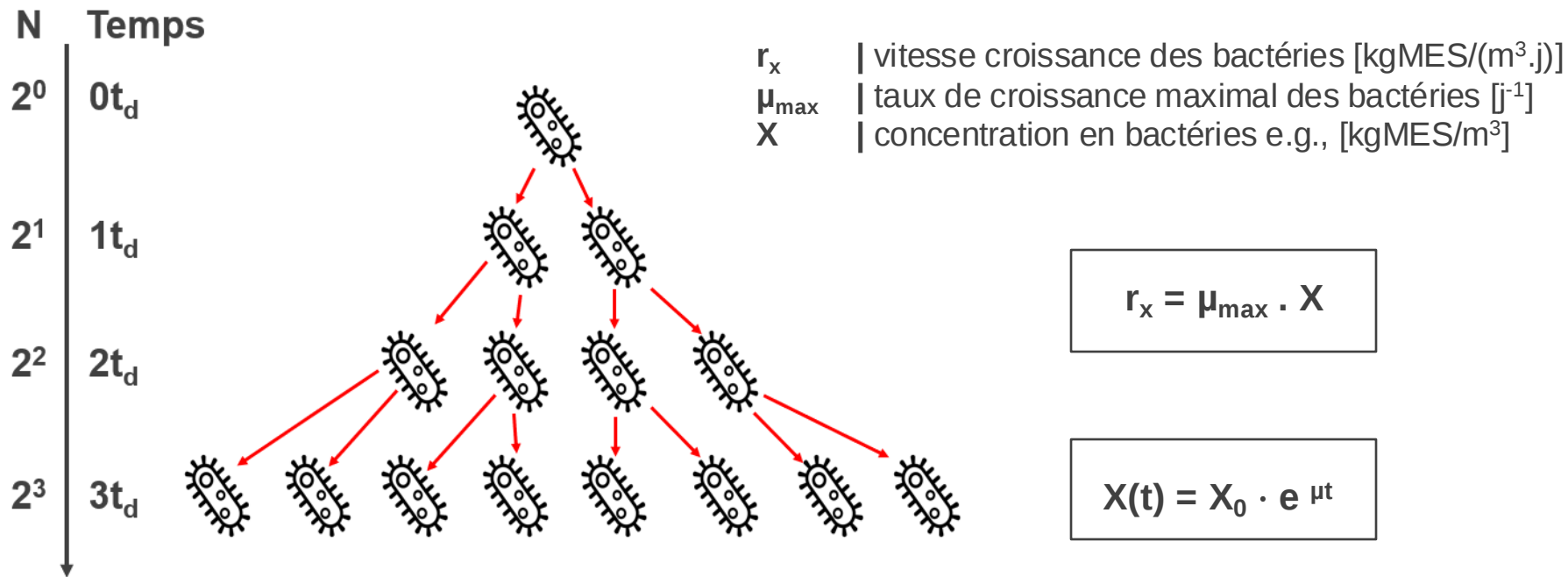
NITRIFICATION | réaction complète



La source de carbone utilisée pour la croissance bactérienne est du carbone minéral (CO₂) avec pour conséquence une vitesse de croissance très lente

Le relargage de proton (H⁺) peut diminuer la force tampon des eaux usées et inhiber l'activité microbologique

EPFL Aspect cinétique de la croissance bactérienne



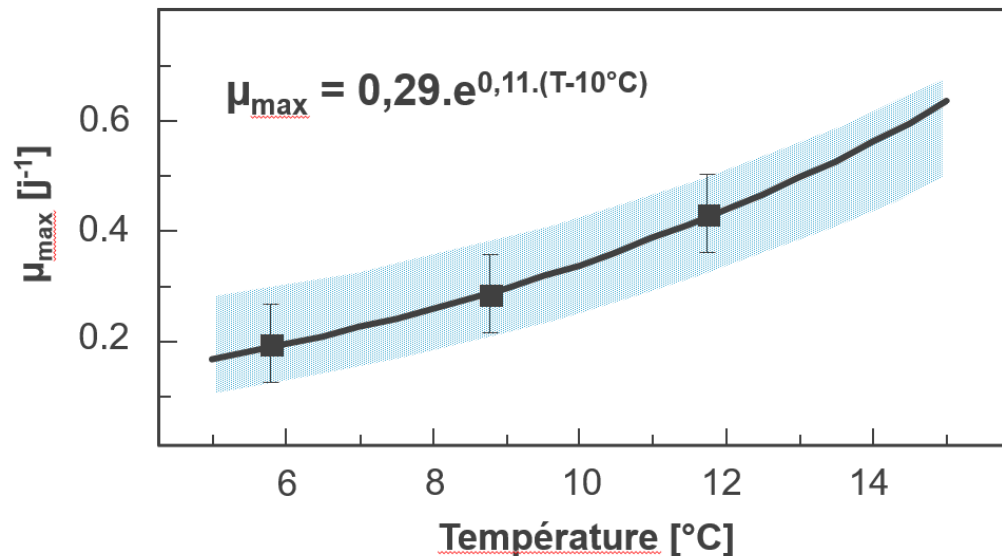
$X(t)$ | nombre de bactéries à t [e.g., # / mL ou kgMES/m³]
 X_0 | nombre de bactéries à $t = 0$ [e.g., # / mL ou kgMES/m³]

EPFL Taux de croissance des bactéries

		Température (°C)	Taux de croissance μ (j ⁻¹)	Temps de division (h)
<i>Escherichia Coli</i>	Bactérie intestinale	37°C	30	0,5
Bactéries hétérotrophes	Élimination DBO ₅	20°C	6	3
		10	3	6
Bactéries nitrifiantes	Élimination de l'azote	20	0,8	21
		10	0,3	55

Taux de croissance des bactéries nitrifiantes

Influence des conditions environnementales de croissance



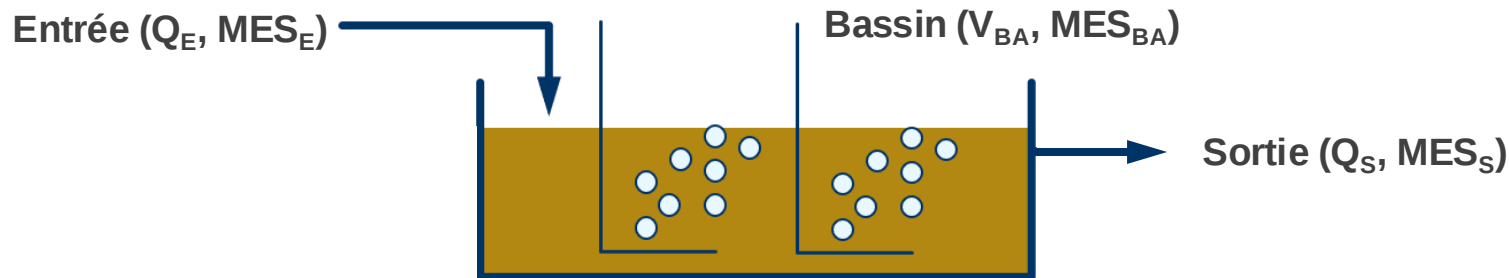
La croissance des bactéries nitrifiantes est le **paramètre limitant** dans un bassin à boue activée traitant le carbone et l'azote.

Elle est qui plus est **fortement impactée par les températures froides**.

Principe de base du dimensionnement

- Les bactéries nitrifiantes croient à une certaine **vitesse de croissance**, fonction de leur **taux spécifique de croissance μ** .
- Les bactéries nitrifiantes vont « **sortir** » de la STEP a une certaine **vitesse de purge** (purge des boues, effluent de sortie)
- **PRINCIPE DE BASE**: si on purge les bactéries plus vite qu'elles ne peuvent croître, cela entraîne leur lessivage et donc des problèmes ou absence totale de nitrification.

Croissance bactérienne réacteur sans recirculation (chemostat)



Q_E	débit entrée [m^3/j]
MES_E	concentration en bactéries entrée [kgMES/m^3]
μ	taux de croissance des bactéries [j^{-1}]
MES_{BA}	concentration en bactéries bassin [kgMES/m^3]
V_{BA}	volume bassin à boue activée [m^3]
Q_S	débit sortie [m^3/j]
MES_S	concentration en bactéries sortie [kgMES/m^3]

Entrée + Croissance = Sortie + Accumulation

$$\cancel{Q_E \cdot MES_E} + \mu \cdot MES_{BA} \cdot V_{BA} = Q_S \cdot MES_S + \cancel{V_{BA} \cdot dMES_{BA}/dt}$$

Condition 1 | ERU sans bactérie donc $MES_E = 0$

Condition 2 | état stationnaire donc $dMES_{BA}/dt = 0$

Condition 3 | pas de recirculation donc $MES_S = MES_{BA}$

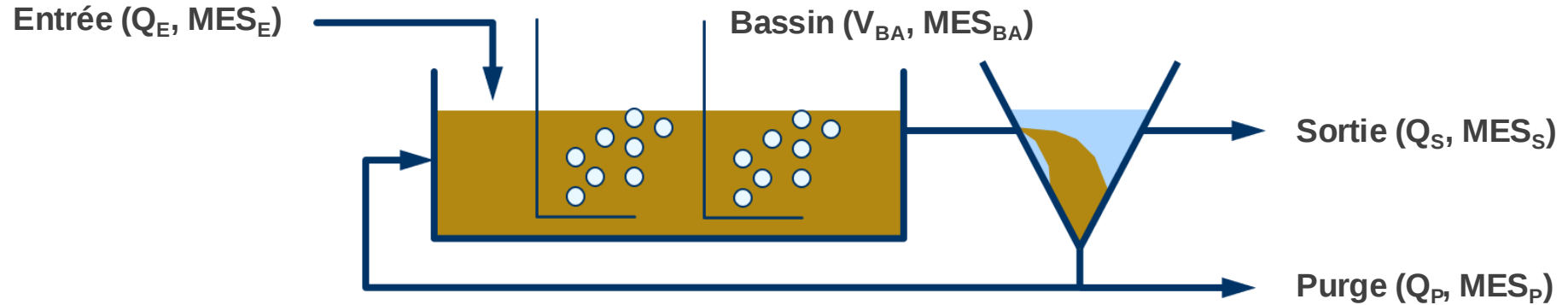
$$\mu = Q_S / V_{BA} \text{ donc } \mu = 1 / t_{SH} \text{ (avec } t_{SH} = \theta_X)$$

EPFL EXERCICE 1. Chemostat et nitrification

On souhaite faire une nitrification de l'ammonium dans un bassin à boue activée sans recirculation type « Chemostat ». Le débit à traiter (Q_E) est de 10'000 m³/j et la température de l'eau est de 10°C

- Q1. Calculer l'âge de boue minimum ($\theta_{\min}$) pour maintenir une bonne nitrification**
- Q2. Calculer le volume du bassin à boue activée (V_{BA}). Commenter.**

EPFL Croissance bactérienne réacteur avec recirculation



Entrée + Croissance = Sortie + Accumulation

$$\cancel{Q_E \cdot MES_E} + \mu \cdot MES_{BA} \cdot V_{BA} = Q_S \cdot MES_S + Q_P \cdot MES_P + \cancel{V_{BA} \cdot dMES_{BA}/dt}$$

Condition 1 | ERU sans bactéries donc $MES_E = 0$

Condition 2 | état stationnaire donc $dMES_{BA}/dt = 0$

$$\mu = (Q_S \cdot MES_S + Q_P \cdot MES_P) / (MES_{BA} \cdot V_{BA})$$

$$\text{et } \mu = 1 / \theta_{X, \text{système}}$$

Q_E	débit entrée [m^3/j]
MES_E	concentration en bactéries entrée [kgMES/m^3]
μ	taux de croissance des bactéries [j^{-1}]
MES_{BA}	concentration en bactéries bassin [kgMES/m^3]
V_{BA}	volume bassin à boue activée [m^3]
Q_S	débit sortie [m^3/j]
MES_S	concentration en bactéries sortie [kgMES/m^3]
Q_P	débit purge [m^3/j]
MES_P	concentration en bactéries purge [kgMES/m^3]



Réacteur avec recirculation des boues → découplage θ_X et t_{SH} !!!

EPFL Âge de boue (θ_x) Le paramètre du dimensionnement !

$$\theta_{x,\text{système}} = \frac{\text{masse de boues}}{\text{quantité de boues purgées}} = \frac{[\text{MES}]_{\text{BA}} \cdot V_{\text{BA}}}{Q_S \cdot [\text{MES}]_S + Q_P \cdot [\text{MES}]_P} = \frac{[\text{MES}]_{\text{BA}} \cdot V_{\text{BA}}}{P_x}$$

$\theta_{x,\text{dim}}$	âge de boue du système [j] ($\theta_{x,\text{dim}} > \theta_{x,\text{min}}$)
$[\text{MES}]_{\text{BA}}$	concentration en MES dans le bassin à boue activée [kgMES/m ³]
V_{BA}	volume du bassin à boue activée [m ³]
Q_S	débit de sortie [m ³ /j]
$[\text{MES}]_S$	concentration en MES en sortie [kgMES/m ³]
Q_P	débit de purge [m ³ /j]
$[\text{MES}]_P$	concentration en MES dans la purge [kgMES/m ³]
P_x	production de boues [kgMES/j]



Masse de boue dans le décanteur secondaire est négligée.
Valable uniquement pour des valeurs élevées de $Q_{\text{recirculation}}$
(~1:1 par rapport à $Q_{\text{entrée}}$) et pour $\theta_x > 3\text{j}$

EPFL Facteur de sureté (FS) Valeurs typiques

$$FS > F_{NH4,max} / F_{NH4,moy}$$

Soit $\mu_{max} / \mu > F_{NH4,max} / F_{NH4,moy}$

FS | facteur de sureté [-]
 μ_{max} | taux de croissance maximal des bactéries [j^{-1}]
 $\theta_{x,dim}$ | âge de boue du système [j]

$$FS \cdot \theta_{X,min} = \theta_X$$

$$FS = \theta_{X,dim} / \theta_{X,min}$$

$$FS = \mu_{max} \cdot \theta_{X,dim}$$

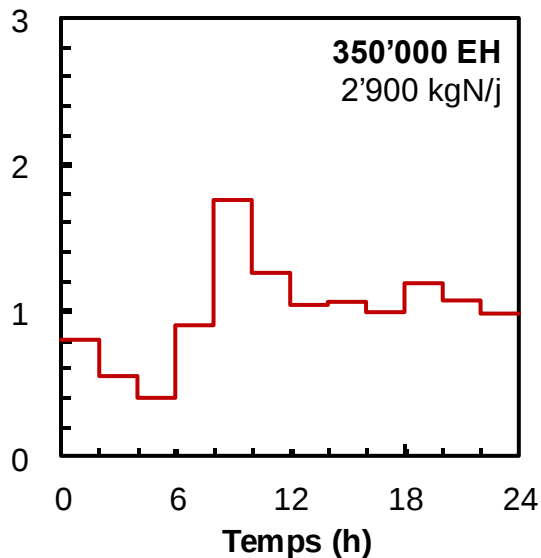
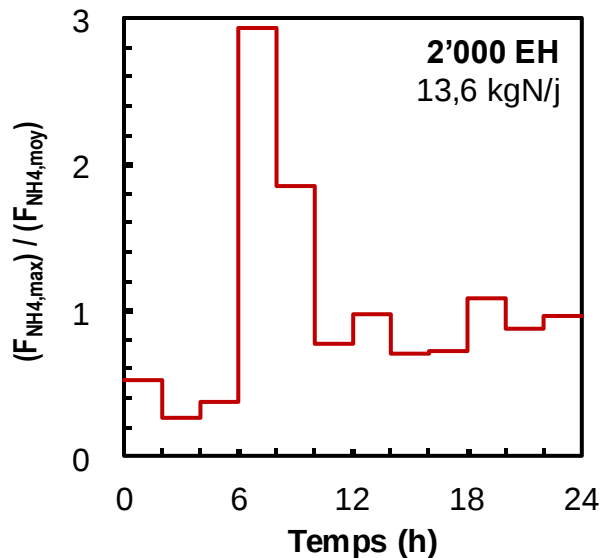
Éviter le lessivage des nitrifiantes | FS = 1
Petite STEP (≤ 5000 EH) | FS = 3
Moyenne STEP (5'000 – 50'000 EH) | FS = 2,5
Grande STEP ($> 50'000$) | FS = 2



Le facteur de sureté diminue généralement lorsque la taille du réseau d'assainissement augmente.

EPFL Facteur de sureté (FS) Définition

Choix de la valeur de FS: **réduire l'effet de la CHARGE VARIABLE** sur les concentrations d'effluents



$$FS > F_{NH4,max} / F_{NH4,moy}$$

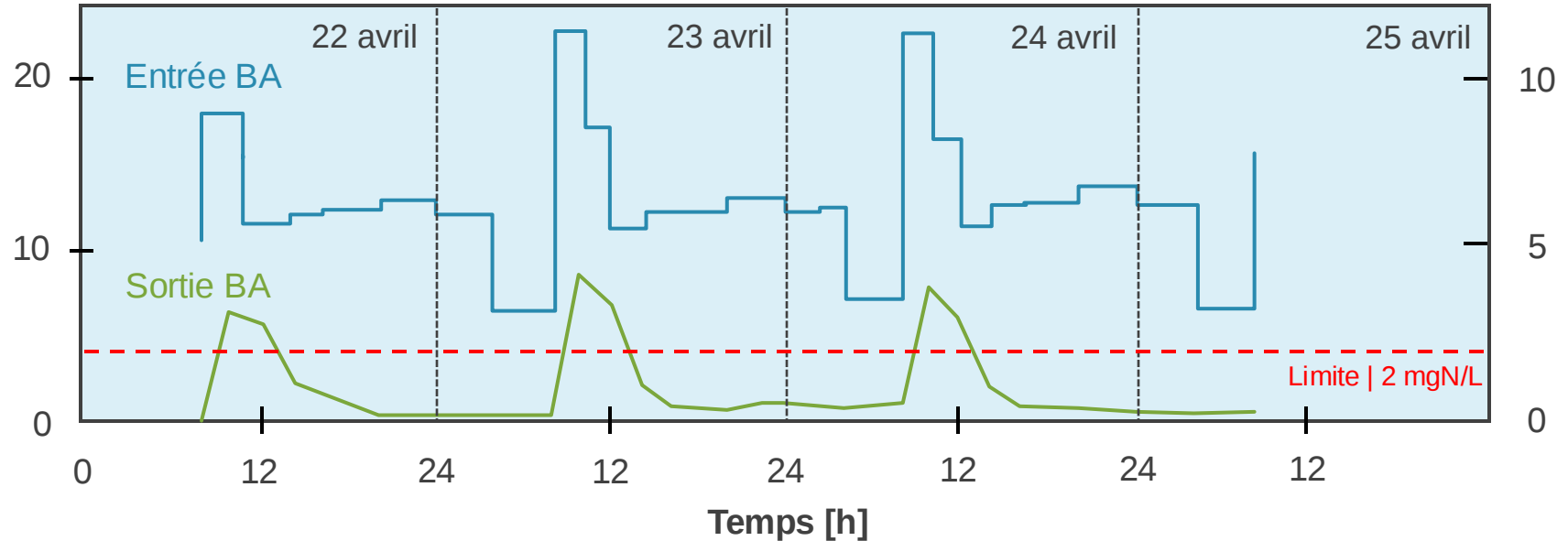


Le facteur de sureté diminue généralement lorsque la taille du réseau d'assainissement augmente.

EPFL Facteur de sureté (FS) Ça sert à quoi ?

$[\text{NH}_4\text{-N}]_E$ [mg/L]

$[\text{NH}_4\text{-N}]_S$ [mg/L]



FS = 2 → dépassement limites ammonium en sortie de STEP

$F_{\text{NH}_4, \text{max}} / F_{\text{NH}_4, \text{moy}} = 2,2 \rightarrow$ aurait permis d'éviter le pic d'ammonium observés en sortie

EPFL La nitrification Dimensionnement

- Étape 1** | Identifier le **taux de croissance (μ) des bactéries les plus « lentes »** (e.g., nitrifiantes)
- Étape 2** | Calculer **l'âge de boue minimum ($\theta_{x,dim} = FS / \mu$)** à maintenir pour permettre aux bactéries de se développer et d'absorber la charge polluante maximale ($\theta_{x,dim} > \theta_{x,min}$)
- Étape 3** | Calculer la **production de boue (P_x)**
- Étape 4** | Choisir une **concentration de boue** dans le bassin de boue activée **$[MES]_{BA}$**
- Étape 5** | Calculer le **volume du bassin de boue activée (V_{BA})**
- Étape 6** | Vérifier le temps de séjour hydraulique (t_{SH}) et la charge massique appliquée

EPFL EXERCICE 2. STEP avec nitrification

L'eau usée d'une STEP de 40'000 EH présente les caractéristiques suivantes :

- $Q = 15'000 \text{ m}^3/\text{j}$
- $F_{\text{DBO}_5} \text{ après décantation} = 2'250 \text{ kgDBO}_5/\text{j}$
- $T = 10^\circ\text{C}$

La STEP est équipée avec un décanteur primaire. Il n'y a pas de précipitation chimique du phosphore.

Q1. Dimensionner le bassin à boue activée avec nitrification

EPFL CORRECTION 2. STEP avec nitrification

1. Déterminer le taux de croissance ($\mu_{\max}$) des bactéries nitrifiantes

$$\mu_{\max} @ 10^{\circ}\text{C} = 0,29 \text{ j}^{-1}$$

2. Déterminer l'âge de boue ($\theta_{x,\text{dim}}$)

$$\theta_{x,\text{dim}} = FS / \mu_{\max} = 9 \text{ j}$$

3. Calculer la production de boue (P_x)

$$P_x = a_m \cdot F_{\text{DBO}_5} = 0,8 \times 2'250 = 1'800 \text{ kgMES/j}$$

4. Choisir une concentration en boue activée ($[\text{MES}]_{\text{BA}}$)

$$[\text{MES}]_{\text{BA}} = 3 \text{ kgMES/m}^3$$

5. Calculer le volume du bassin à boue activée (V_{BA})

$$V_{\text{BA}} = \theta_{x,\text{dim}} \cdot P_x / [\text{MES}]_{\text{BA}} = 9 \times 1'800 / 3 = 5'400 \text{ m}^3$$

6. Calculer le temps de séjour hydraulique (t_{SH})

$$t_{\text{SH}} = V_{\text{BA}} / Q = 5'400 / 15'000 = 8,6 \text{ h } (> 8\text{h donc OK})$$

7. Calculer le coefficient de charge massique (C_m)

$$C_m = X_{\text{DBO}_5} / V_{\text{BA}} \cdot [\text{MES}]_{\text{BA}} = 2'250 / 5'400 \times 3 = 0,14 \text{ kgDBO}_5 / (\text{kgMES} \cdot \text{j})$$

Le coefficient de charge massique permet une bonne nitrification

EPFL Demande en oxygène (DO) Dimensionnement

$$DO = DO_{\text{DBO5}} + DO_{\text{nitrif}} = (a_{\text{O2}} \cdot Q \cdot [\text{DBO}_5]_{\text{éliminée}} \cdot f_{\text{DBO5}}) + (4,3 \cdot Q \cdot [\text{NO}_3^-]_{\text{formé}} \cdot f_{\text{N}})$$

DO	Demande en oxygène total [kgO ₂ /j]
DO_{DBO5}	Demande en oxygène pour oxyder la DBO ₅ [kgO ₂ /j]
DO_{nitrif}	Demande en oxygène pour former NO ₃ ⁻ [gN/m ³]
a_{O2}	Coefficient spécifique de besoin en oxygène [kgO ₂ /kg _{DBO5}]
Q	Débit d'eau usée [m ³ /j]
[DBO₅]_{élim}	Concentration éliminée en DBO ₅ dans l'eau usée [kgDBO ₅ /m ³]
f_{DBO5}	Coefficient de sécurité prenant en compte les variations journalière [-]
[NO₃⁻]_{formé}	Concentration en NO ₃ ⁻ formé dans l'eau usée [kgN/m ³]
f_N	Facteur d'impact pour le cycle quotidien de nitrification [-]



Le facteur d'impact (f_N) est généralement choisi entre 1,5 et 2,5

EPFL Attention à l'alcalinité !!!

NITRIFICATION | réaction



Réaction en tenant compte de l'alcalinité



2 moles de HCO_3^- /mole de NO_3^- produite
La nitrification « consomme » de l'alcalinité et diminue le pH



L'alcalinité peut devenir un facteur limitant pour une bonne nitrification dans certain cas

EPFL Feuille de route « Traitements des ERUs »

				Valeurs relevées après			
Catégorie	Paramètres	Unité	ERU	DP (2h)	BA (C)	BA (N)	TT
Solides	MES	mg/L	250	109	< 15	< 15	15
Pollution organique	DBO ₅	mgO ₂ /L	230	151	< 15	< 15	15
	DCO	mgO ₂ /L	500	327	< 45	< 45	45
Pollution azotée	NTK	mg/L	30	27	20,8	< 3	3
	NH ₄ ⁺	mg/L	20	20	13,8	< 2	2
	NO ₂ ⁻	mg/L	0	0	0	< 0,3	0,3
	NO ₃ ⁻	mg/L	0	0	0	?	-
Pollution phosphorée	Ptot	mg/L	6	5,4	4	4	0,8
Micropolluants	Micropolluant	%	-	< 10	< 20	< 20	80

EPFL Nitrate en sortie du bassin à boue activée

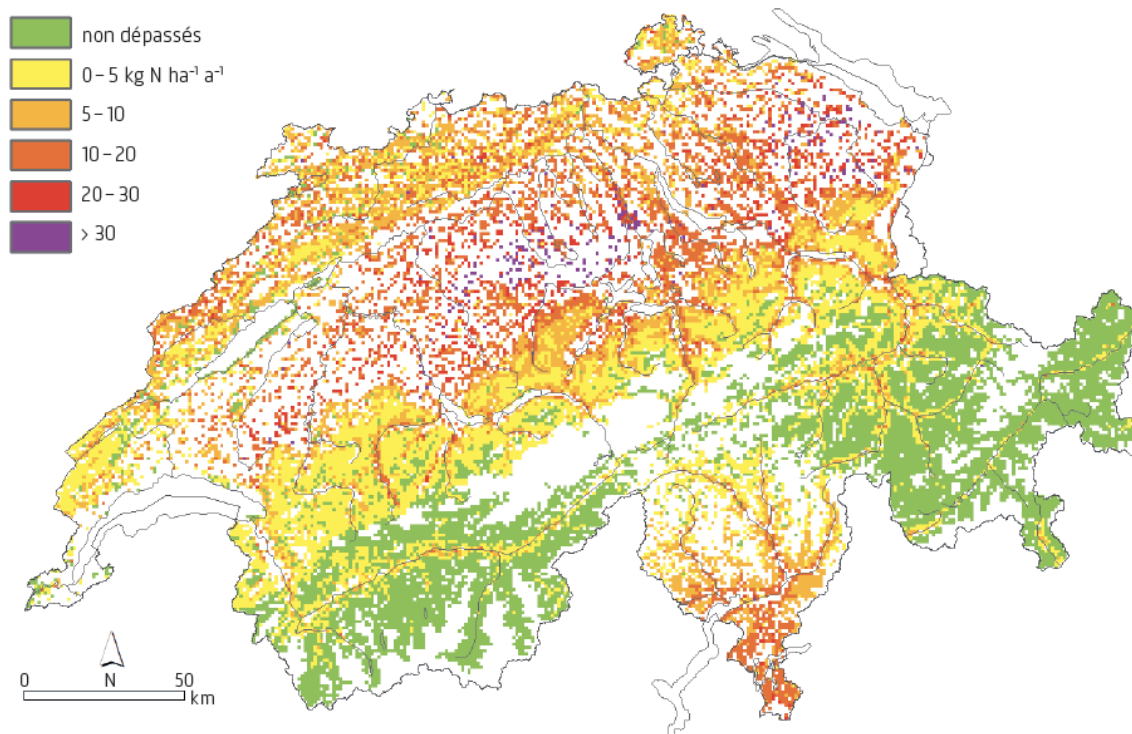
	Bilan sur l'azote		
	Unité	Entrée	Sortie
NTK	mgN/L	27	3
NO ₂ -N	mgN/L	0	0,3
NO ₃ -N	mgN/L	0	17,5
Assimilation	mgN/L	-	6,2
N _{tot}	mgN/L	27	27

$$4,5\% \text{ de la } [DBO_5]_{\text{élim}} = 0,045 \times (151 - 15)$$

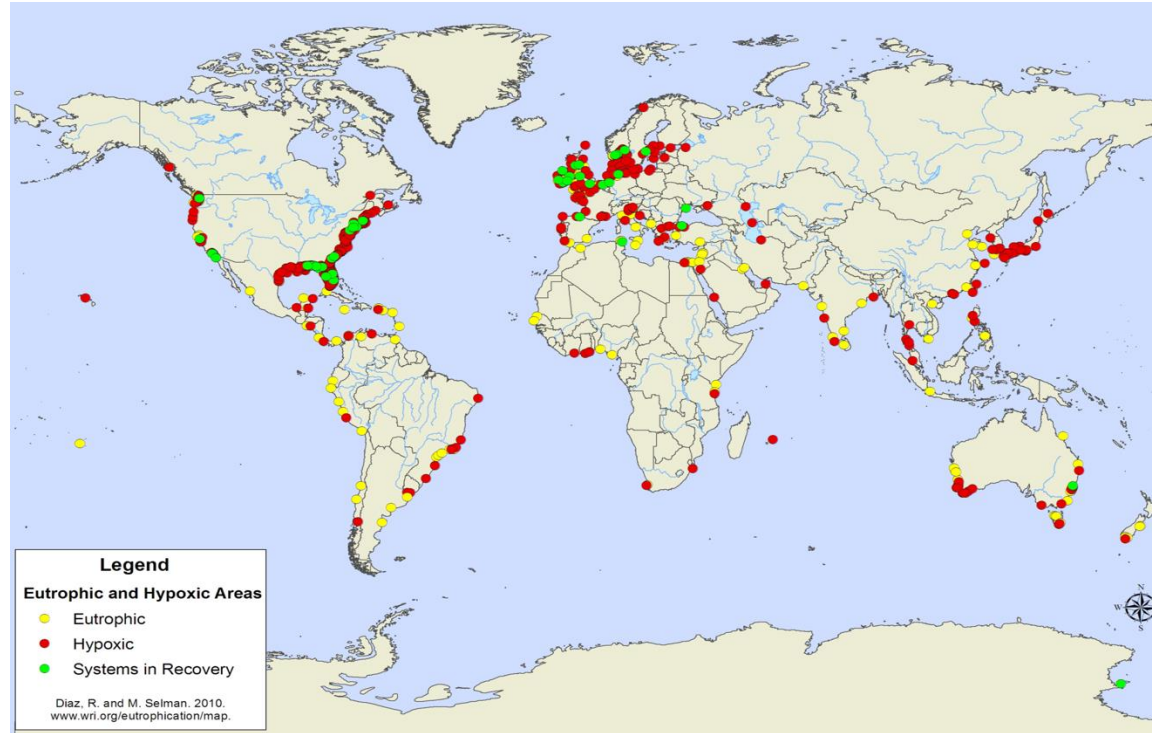
EPFL Feuille de route « Traitements des ERUs »

				Valeurs relevées après			
Catégorie	Paramètres	Unité	ERU	DP (2h)	BA (C)	BA (N)	TT
Solides	MES	mg/L	250	109	< 15	< 15	< 15
Pollution organique	DBO ₅	mgO ₂ /L	230	151	< 15	< 15	< 15
	DCO	mgO ₂ /L	500	327	< 45	< 45	< 45
Pollution azotée	NTK	mgC/L	30	27	20,8	< 3	< 3
	NH ₄ ⁺	mg/L	20	20	13,8	< 2	< 2
	NO ₂ ⁻	mg/L	0	0	0	< 0,3	< 0,3
	NO ₃ ⁻	mg/L	0	0	0	17,5	
Pollution phosphorée	Ptot	mg/L	6	5,4	4	4	< 0,8
Micropolluants	Micropolluant	%	-	< 10	< 20	< 20	> 80

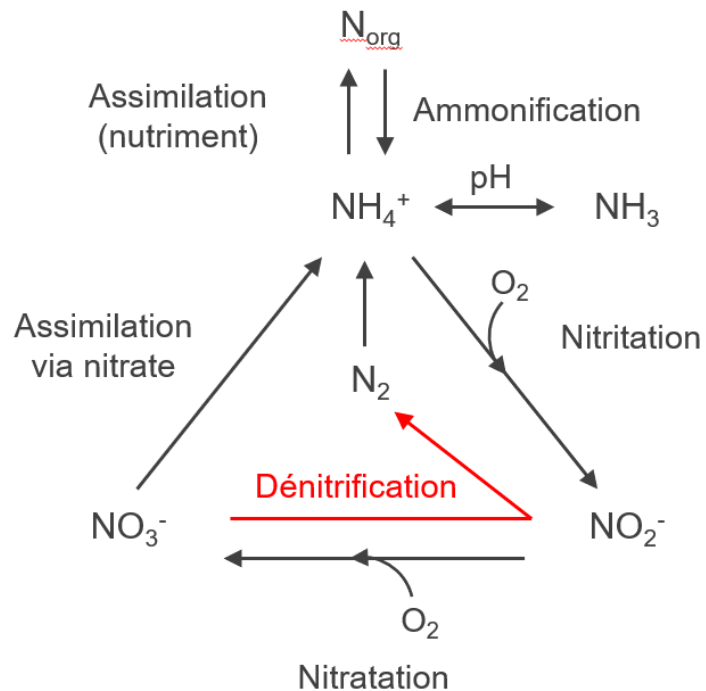
EPFL Dépassement des apports d'azote en Suisse en 2015



EPFL Eutrophisation des estuaires marins



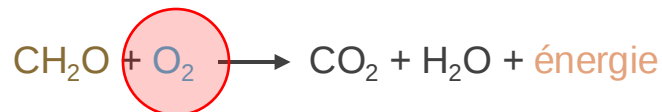
EPFL Cycle simplifié de l'azote dans l'eau



DÉNITRIFICATION | bactéries hétérotrophes anoxiques

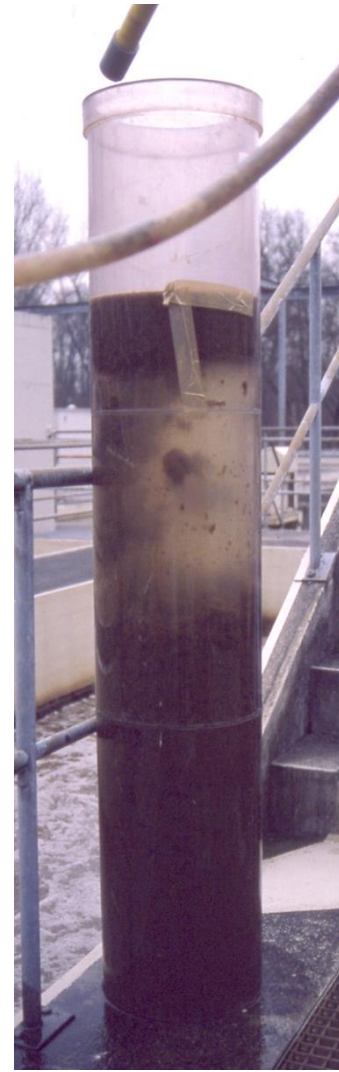
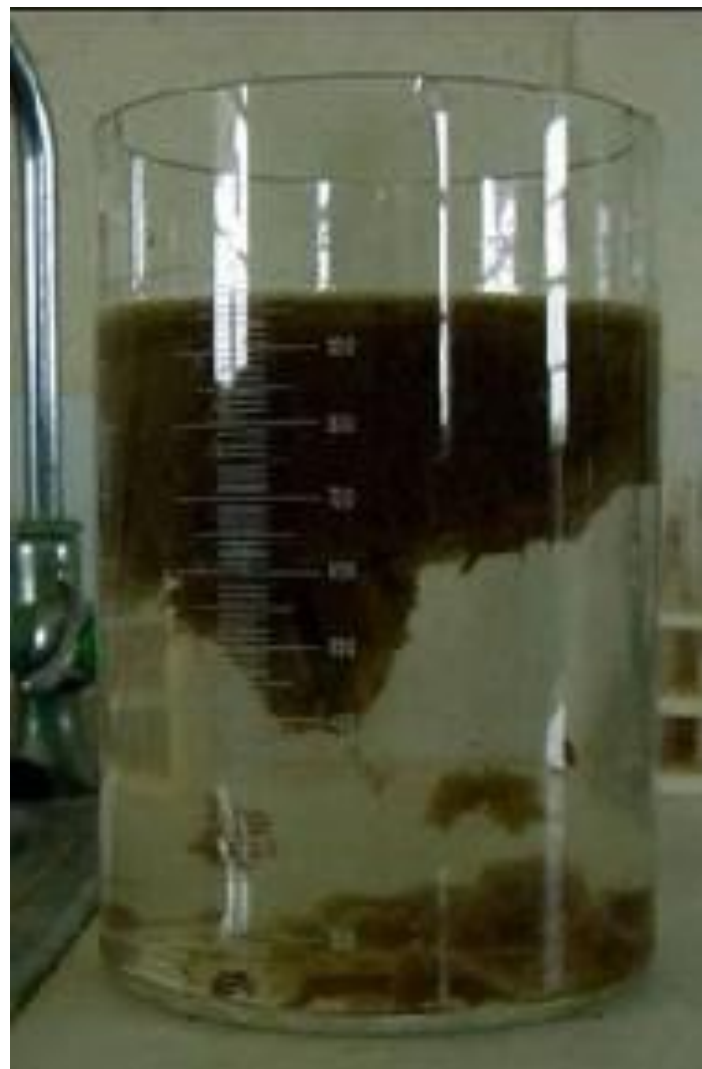


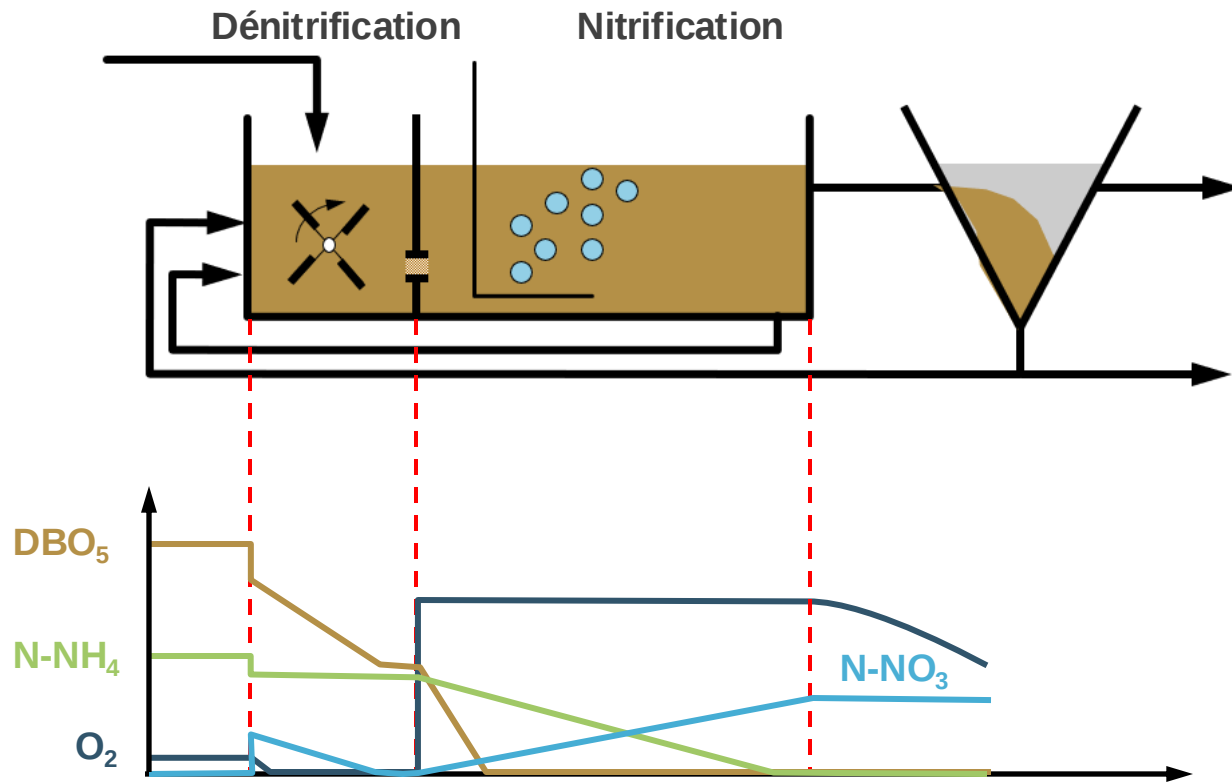
TRAITEMENT C (rappel) | bactéries hétérotrophes aérobies



EPFL Dénitrification

Production de N_2
pendant la
dénitrification peut
amener les boues à
flotter





EPFL Bassin à boue activée Nitrification/Dénitrification



STATION EPURATION DE WINTHERTUR

Bassin anoxique suivi du bassin aérobie | ratio volumes ~ 25/75



STATION EPURATION DE WERDHÖLZLI

Aération séquentielle sur tous les bassins

Attention à l'agitation / aération dans le bassin anoxique !



EPFL Bassin dénitrification Dimensionnement

Capacité de dénitrification Y_D @ 10 – 12°C	Ratio V_{ANOX}/V_{BA}	Âge de boue θ_x @ 10°C [j]
0,11	0,2	10 – 12
0,13	0,3	11 – 14
0,14	0,4	13 – 17
0,15	0,5	16 – 20

Y_D | Capacité de dénitrification [gN-NO₃/gDBO_{5,entrée}]
 V_{ANOX} | Volume du bassin anoxique pour la dénitrification [m³]
 V_{BA} | Volume du bassin de boues activées **aérobie** [m³]
 θ_x | Âge de boue [j]

EPFL EXERCICE 1. Bassin de nitrification et dénitrification

On veut dimensionner les bassins biologiques d'une STEP de **10'000 EH** traitant le carbone et l'azote (nitrification + dénitrification). L'eau en entrée des bassins biologiques présente les caractéristiques suivantes :

- $Q = 3'000 \text{ m}^3/\text{j}$
- $[\text{DBO}_5]_E = 150 \text{ gDBO}_5/\text{m}^3$
- $[\text{NTK}]_E = 33 \text{ gN}/\text{m}^3$
- $T = 10^\circ\text{C}$

A noter que l'objectif pour la STEP est d'éliminer 2/3 de l'azote entrant. On considèrera pour ça que la nitrification est totale.

Q1. Calculer le volume du bassin aérobie avec nitrification (V_{BA})

Q2. Calculer le volume du bassin anoxique pour la dénitrification (V_{ANOX})

EPFL CORRECTION 1. Bassin de nitrification et dénitrification

1. Déterminer le taux de croissance ($\mu_{\max}$) des bactéries nitrifiantes

$$\mu_{\max} @ 10^{\circ}\text{C} = 0,29 \text{ j}^{-1}$$

2. Déterminer l'âge de boue ($\theta_{x,\text{dim}}$)

$$\theta_{x,\text{dim}} = FS / \mu_{\max} = 2,5 / 0,29 = 9 \text{ j}$$

3. Calculer la production de boue (P_x)

$$P_x = a_m \cdot X_{\text{DBO5}} = 0,8 \times 0,150 \times 3'000 = 360 \text{ kgMES/j}$$

4. Choisir une concentration en boue activée ($[\text{MES}]_{\text{BA}}$)

$$[\text{MES}]_{\text{BA}} = 3 \text{ kgMES/m}^3$$

5. Calculer le volume du bassin à boue activée (V_{BA})

$$V_{\text{BA}} = \theta_{x,\text{dim}} \cdot P_x / [\text{MES}]_{\text{BA}} = 9 \times 360 / 3 = 1'080 \text{ m}^3$$

6. Calculer le temps de séjour hydraulique (t_{SH})

$$t_{\text{SH}} = V_{\text{BA}} / Q = 1'080 / 3'000 = 0,33 \text{ j ou } 8,6 \text{ h } (> 8\text{h donc OK})$$

7. Calculer le coefficient de charge massique (C_m)

$$C_m = X_{\text{DBO5}} / V_{\text{BA}} \cdot [\text{MES}]_{\text{BA}} = 0,150 \times 3'000 / (1'080 \times 3) = 0,14 \text{ kgDBO}_5 / (\text{kgMES} \cdot \text{j})$$

Le coefficient de charge massique permet une bonne nitrification

EPFL CORRECTION 1. Bassin de nitrification et dénitrification

8. Déterminer la quantité d'azote dénitrifiée (N_{DENIT})

$$[N]_{\text{tot}}_E = [N]_{\text{ASS}} + [N]_{\text{DENIT}} + [N]_S$$

$[N]_{\text{tot}}_E = [N_{\text{TK}}]_E$ car pas de nitrate et nitrite en entrée du bassin biologique

$$[N]_{\text{ASS}} = 0,045 \cdot [\text{DBO}_5] = 0,045 \times 150 = 6,8 \text{ gN/m}^3$$

$$[N]_S = [N\text{-NO}_3]_S = [N]_{\text{NON-DENIT}} = 1/3 [N]_{\text{tot}}_E = 1/3 \times 33 = 11 \text{ gN/m}^3$$

$$[N]_{\text{DENIT}} = 33 - 11 - 6,8 = 15,2 \text{ gN/m}^3$$

9. Déterminer le volume du bassin anoxique (V_{ANOX})

$$\gamma_D = 15,2 / 150 = 0,1 \text{ gN/gDBO}_5$$

$$V_{\text{ANOX}}/V_{\text{BA}} = 0,2$$

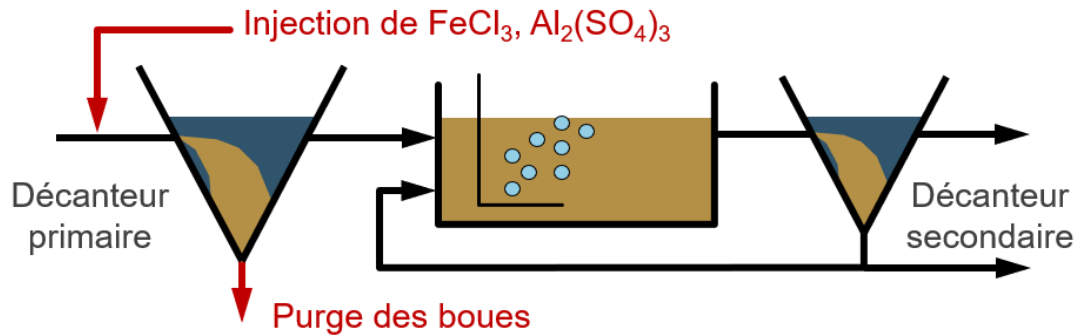
$$V_{\text{ANOX}} = 1080 \times 0,2 = 216 \text{ m}^3$$

EPFL Synthèse des besoins des traitements biologiques

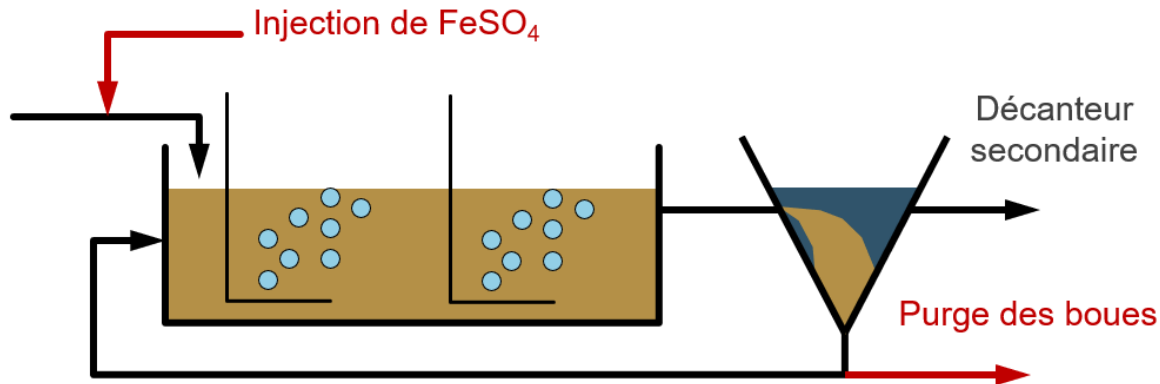
	Élimination de la DBO ₅	Nitrification	Dénitrification
O ₂	X	X	Inhibiteur
DCO/DBO ₅	X	-	X
Bactéries hétérotrophes	X	-	X
Bactéries autotrophes	-	X	-
N-NH ₄	-	X	-
N-NO ₃	-	Production	X
Alcalinité (HCO ₃ ⁻)	-	X	Production
Âge de boue	< 5 j	7 – 10 j	12 – 18 j

EPFL Déphosphatation chimique dans le bassin à BA

Précipitation simple

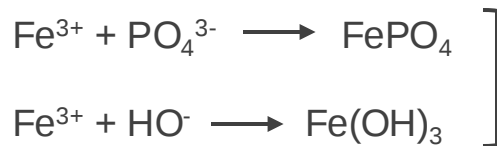


Précipitation simultanée



EPFL Déphosphatation chimique dans le bassin à BA

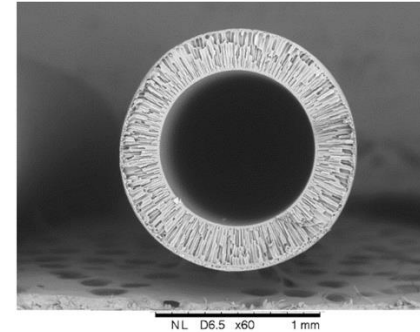
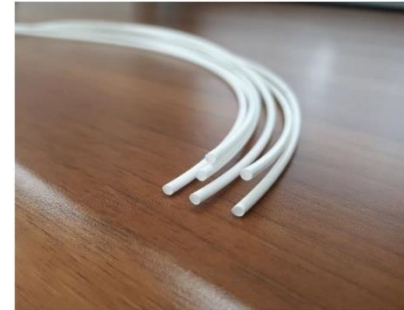
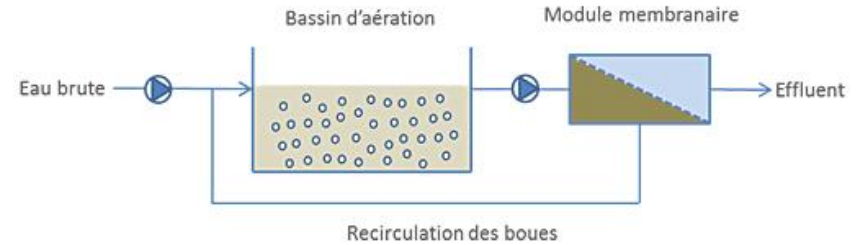
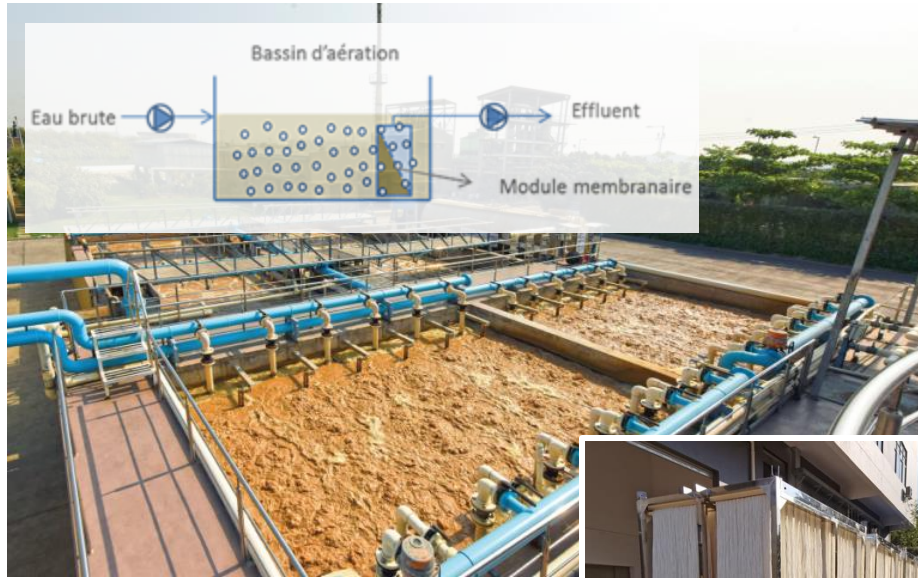
DÉPHOSPHATATION AU SULFATE DE FER (FeSO_4)

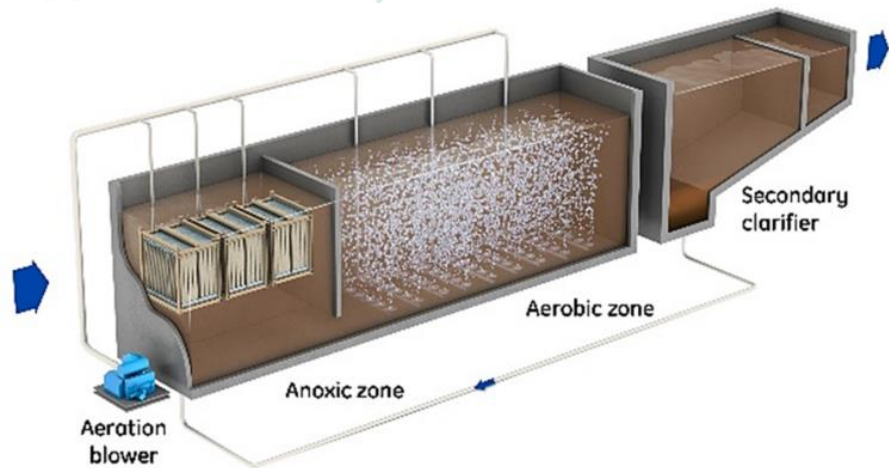
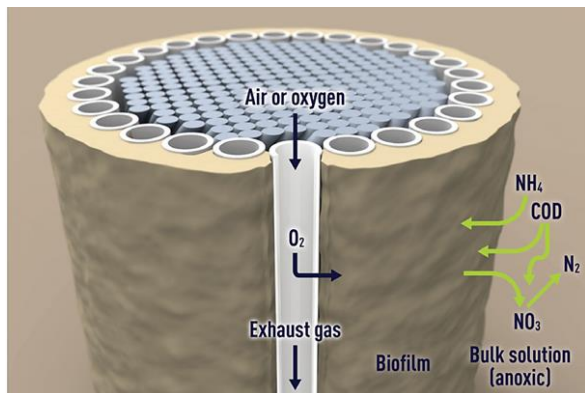
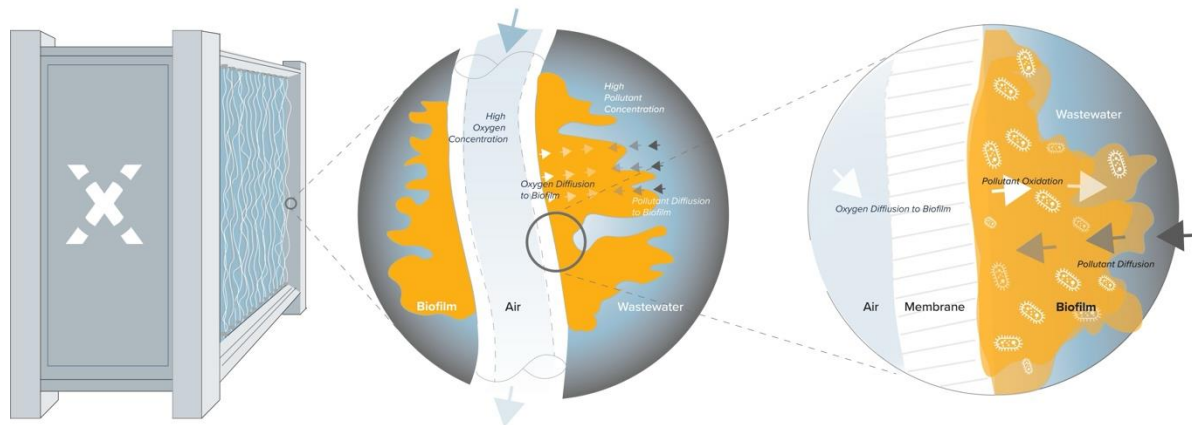


Il faut donc au minimum 1 mole de Fe^{3+} pour précipité 1 mole de PO_4^{3-} (ratio appelé β)

En général, **β est compris entre 1,2 et 2,5 mole Fe^{3+} /mole P** pour être certain de précipiter tous les phosphates malgré la formation de $\text{Fe}(\text{OH})_3$

EPFL Autres procédés biologiques Bioréacteur à membrane

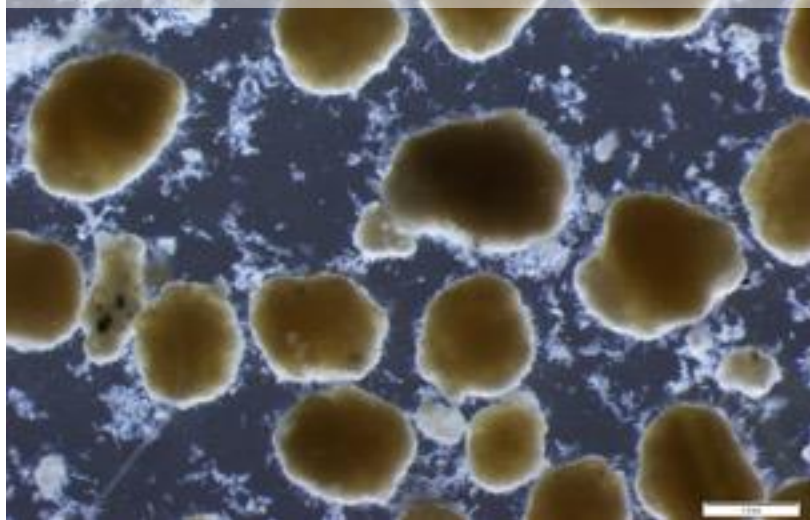




EPFL Autres procédés biologiques Boues granulaires

BACTÉRIES EN FORME DE GRANULES | $> 250 \mu\text{m}$

Sous des conditions de croissance particulières



VITESSE DE SÉDIMENTATION TRÈS RAPIDE

Permet d'augmenter la $[\text{MES}]_{\text{BA}}$



Réacteurs de type biofilm

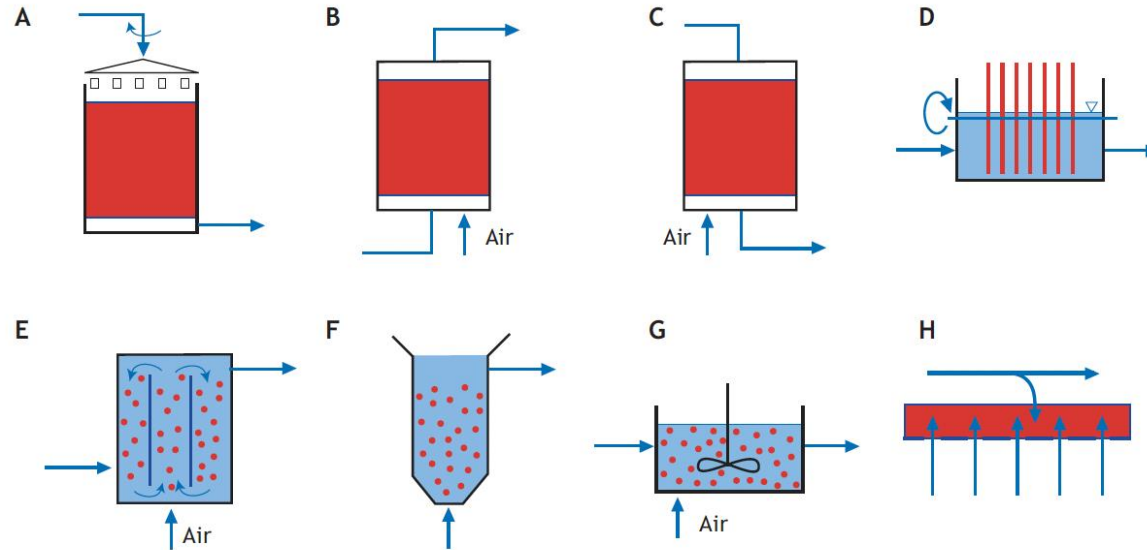
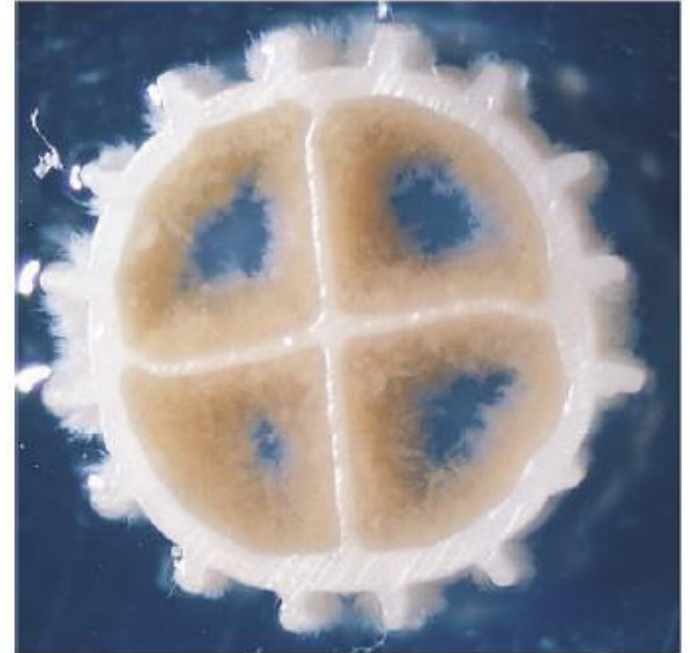
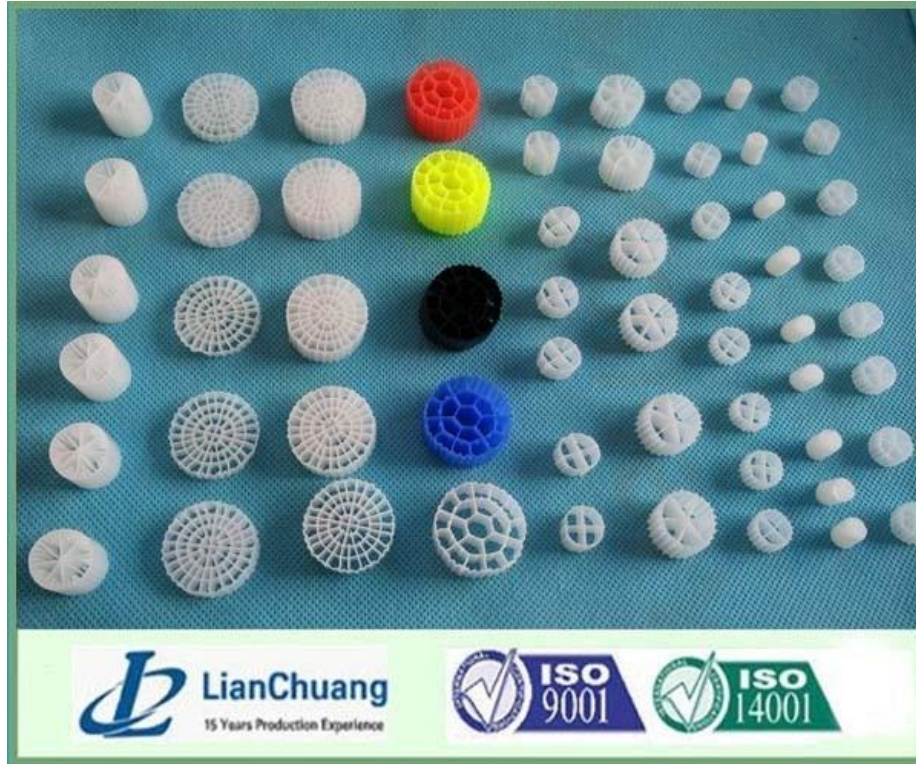


Figure 18.2 Types of biofilm reactors: (A) trickling filter (TF), (B) submerged fixed-bed biofilm reactor operated as upflow or (C) downflow, (D) rotating biological contactors (RBC), and (E) suspended biofilm reactor including an air lift reactor, (F) fluidized-bed reactor, (G) moving-bed biofilm reactor (MBBR) and aerobic granular sludge (AGS), and (H) membrane-attached biofilm reactors (modified from Wanner *et al.*, 2006).

Autres procédés biologiques MBBR

Moving Bed Biofilm Reactor



Autres procédés biologiques Moving Bed Biofilm Reactor



EPFL Autres procédés biologiques Biofiltres

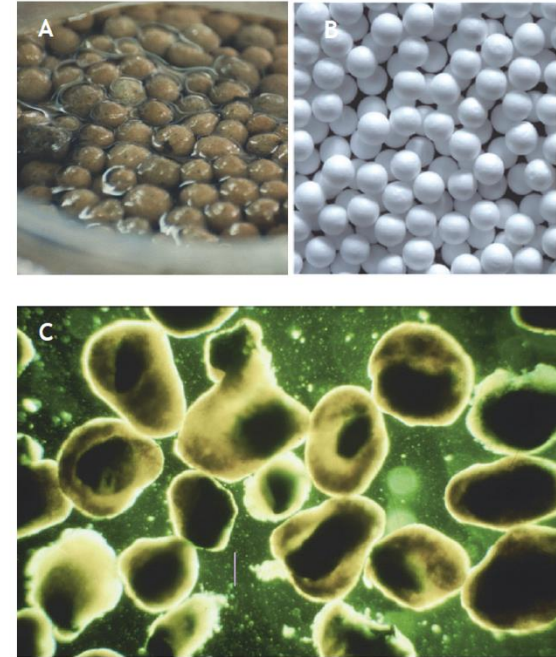
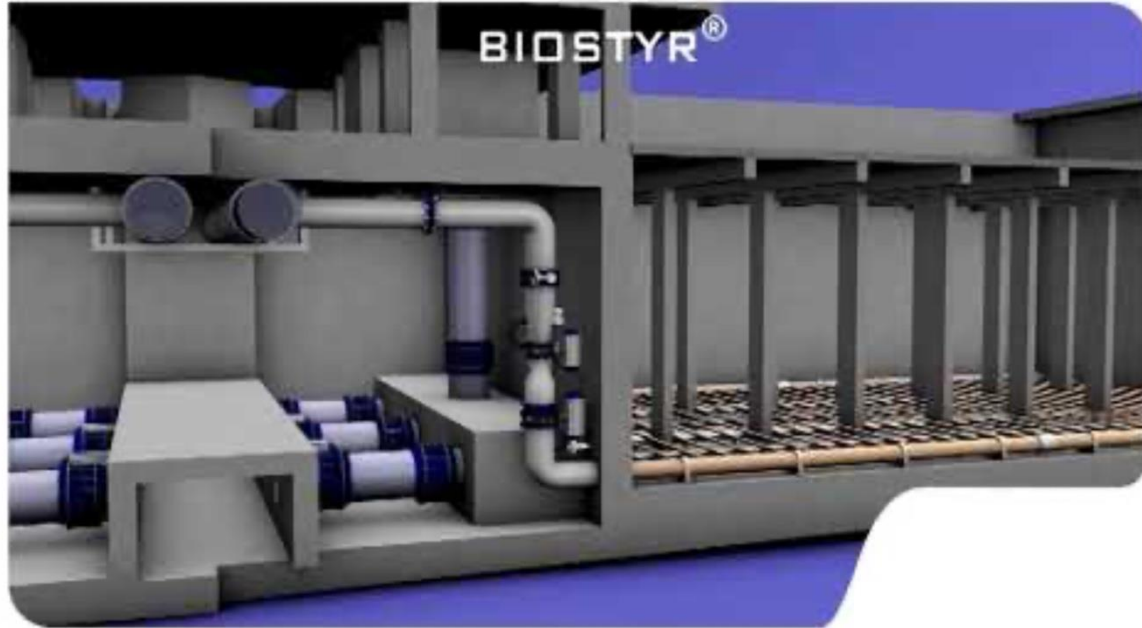


Figure 18.7 (A) Biofor® and (B) BioStyr® support media in submerged fixed-bed biofilm reactors. (C). Sand or basalt can be used as support medium in fluidized reactors. Diameter of the support medium in (A) and (B) is 4 mm and in (C) is 1 mm (photos: E. Morgenroth, Veolia, and M.C.M. van Loosdrecht, respectively).

Réacteurs de type biofilm

Table 18.1 Specific carrier surface area for different types of media and biofilm reactors.

Type of reactor	Carrier material	Size of material, mm	Specific carrier surface area (a_F), m^2/m^3	Reference
Trickling filter	Rock	40-80	50-100	ATV-DVWK, 2001
	Plastic	-	100-200	ATV-DVWK, 2001
Rotating biological contactor (RBC)	Plastic	-	100-200	ATV-DVWK, 2001
Moving-bed biofilm reactor (MBBR)	Plastic (K_1) (60% fill volume)	7-9	300	Rusten <i>et al.</i> , 2006
	Plastic (K_5) (60% fill volume)	3.5-25	480	Dezotti <i>et al.</i> , 2018
Submerged biofilter	Porous clay	1.3-8	1,000-1,400	ATV, 1997
	Porous slate	2-8	1,200-1,400	ATV, 1997
	Polystyrene	3-6	1,100	ATV, 1997
	Anthracite	2.5-3.5	1,900	ATV, 1997
	Quartz sand	0.7-2.2	3,000	ATV, 1997
	Basalt	1.4-2.2	3,600	ATV, 1997
Granular sludge	-	-	200-2,000	
Fluidized bed	Sand or basalt	0.2-0.8	3,000-4,000	Nicolella <i>et al.</i> , 2000