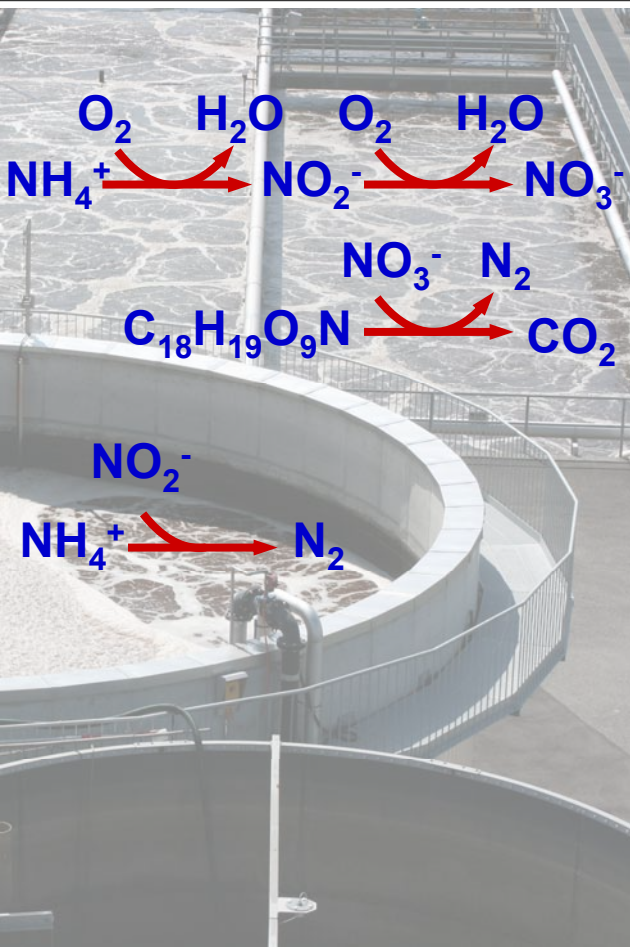


Microbiologie du traitement de l'azote

Une diversité de métabolismes et mécanismes de sélection



David Weissbrodt, dr. ir. ir.

Ph.D. EPF Biotechnologie Environnementale

M.Sc. EPF/SIA Sciences et Ingénierie de l'Environnement

Ingénieur chimiste HES Technologies du Vivant

Membre du comité de l'ARPEA

david.g.weissbrodt@gmail.com

Journée technique GRESE de formation sur le thème du
Traitement de l'azote des eaux usées

De la Microbiologie aux Nouvelles Technologies

Groupement romand des exploitants de stations d'épuration des eaux

Yverdon-les-Bains, 6 juin 2013

Traitement biologique intégral des nutriments

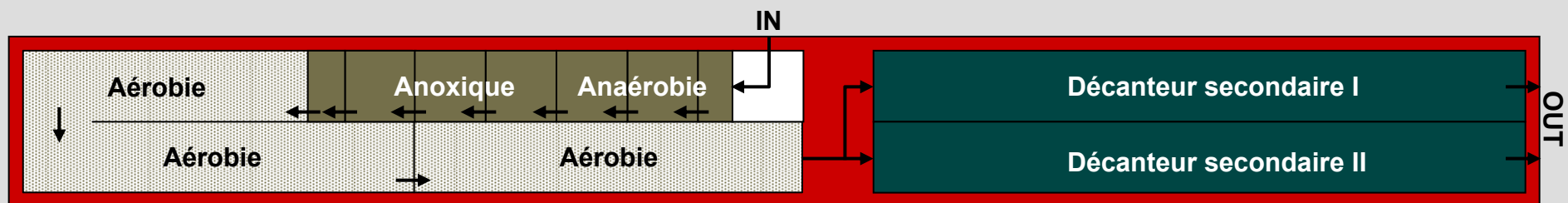
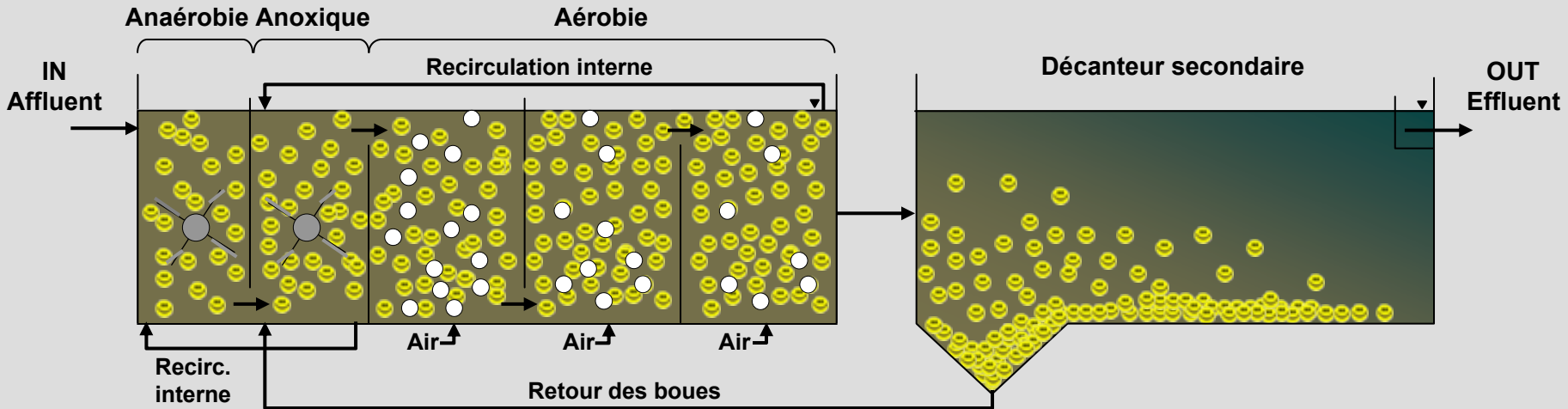
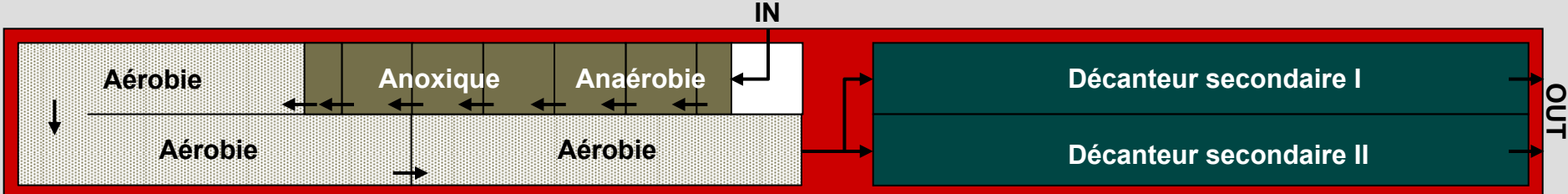


Schéma de procédé



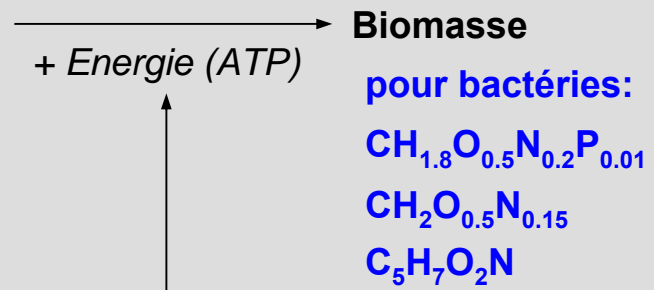
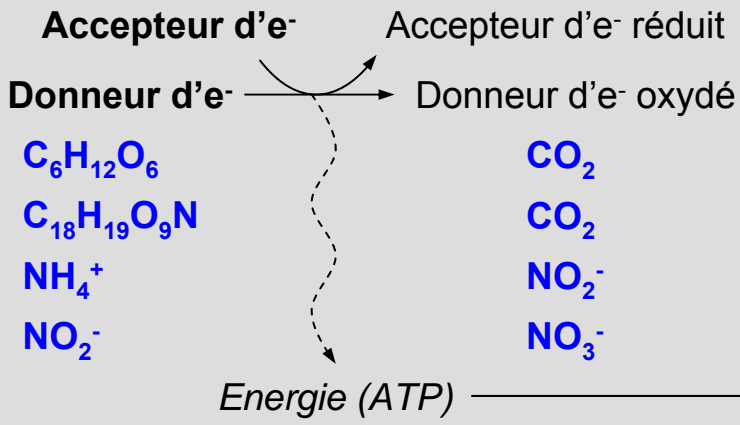
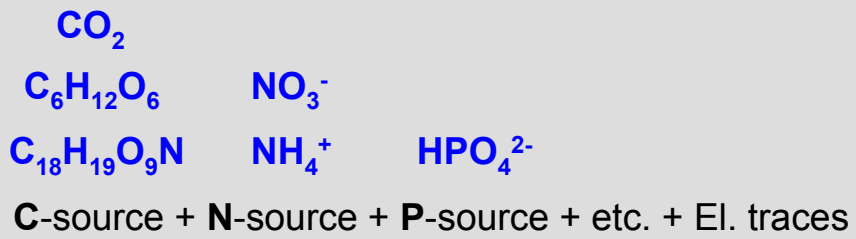
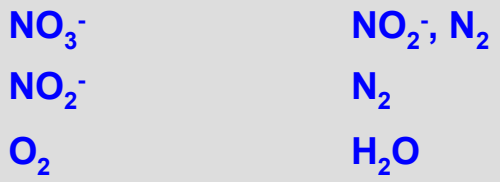
Croissance cellulaire

=

Catabolisme (énergie, réaction redox)

Anabolisme (assimilation, synthèse de biomasse)

+

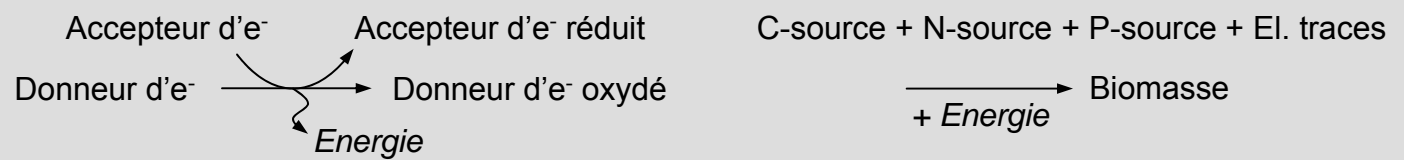


POGR

Perte d'e⁻ = Oxydation
Gain d'e⁻ = Réduction

Métabolismes microbiens sous-jacents: une diversité de catabolismes

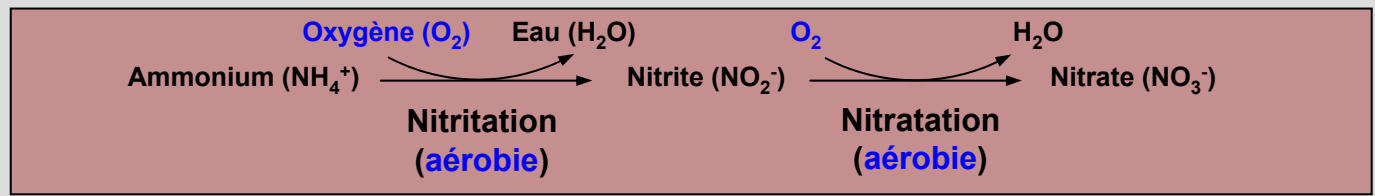
Croissance cellulaire = **Catabolisme (énergie)** + **Anabolisme (synthèse de biomasse)**



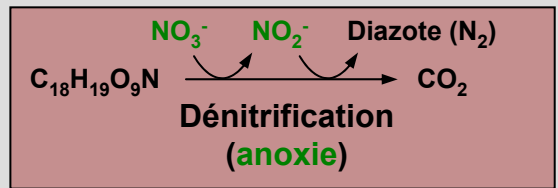
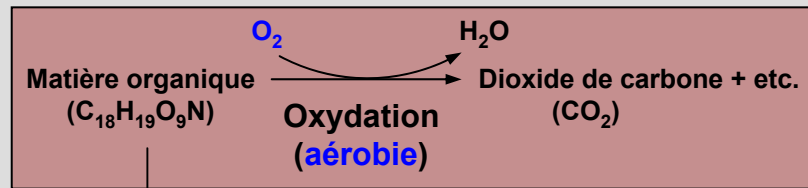
Croissance = Catabolisme



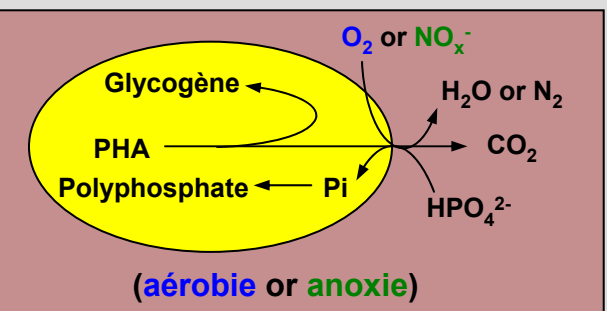
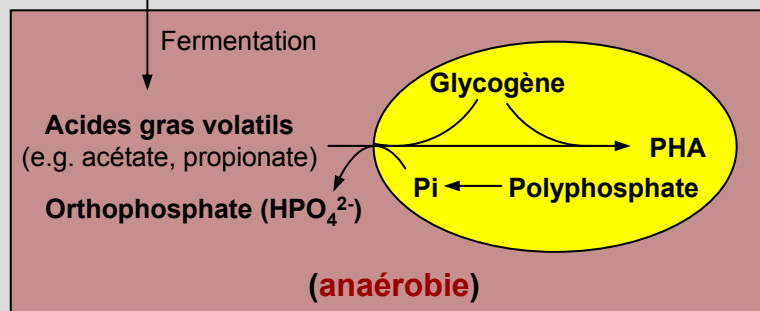
Nitrification
Nitrifiantes



Oxydation de la matière organique
Hétérotrophes

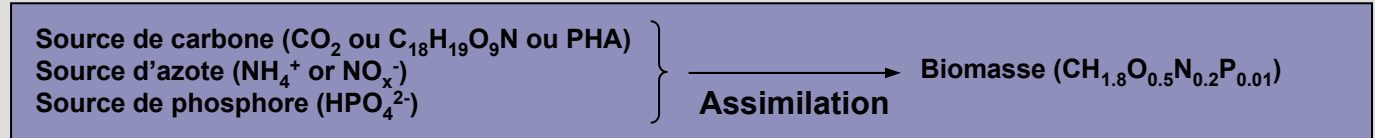


Déphosphatation biologique
Polyphosphate-accumulating organisms



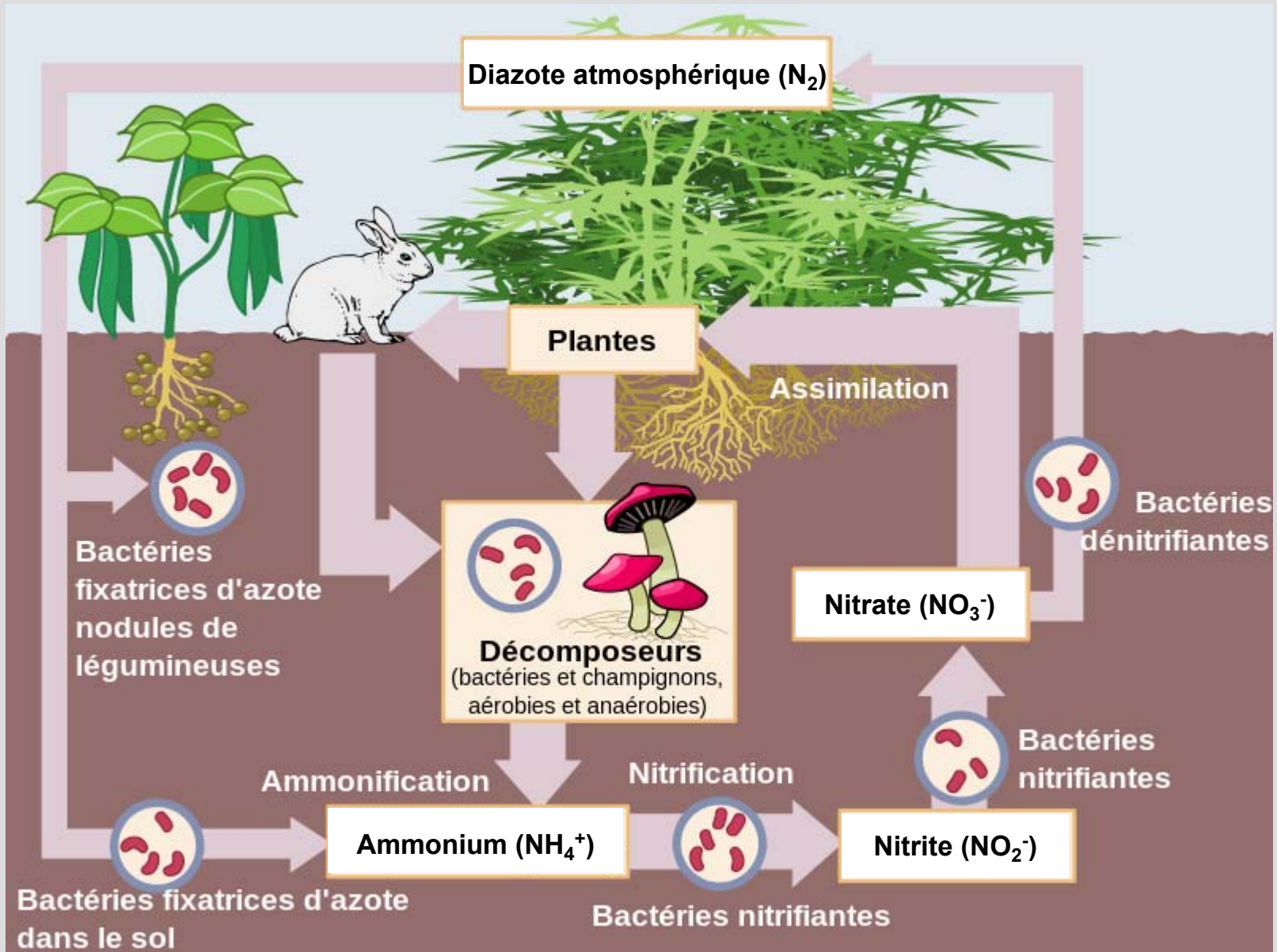
Anabolisme

Synthèse de nouvelle biomasse



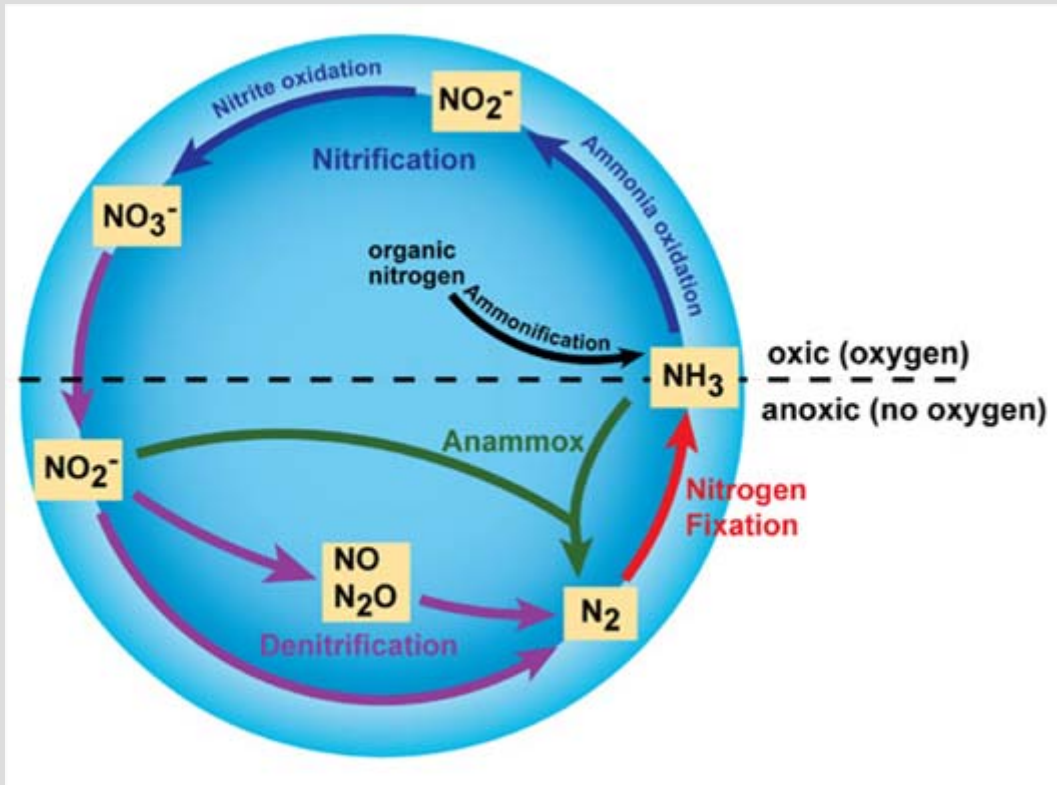
PHA: polyhydroxyalcanoates
Pi: résidus d'orthophosphate

Cycle de l'azote



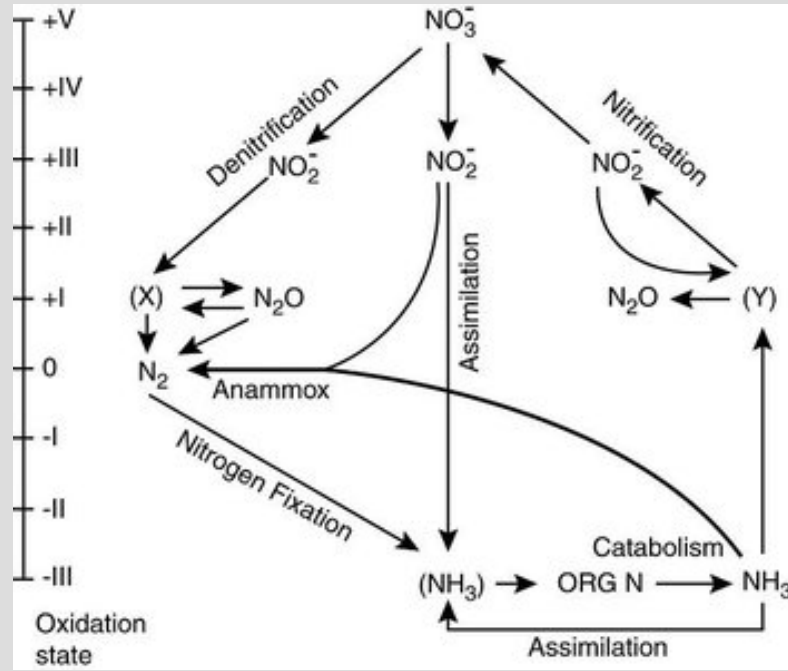
De et adapté de Dréo (2006)

Cycle de l'azote (mécanismes simplifiés)



Bernhard (2012) Nature

Etats d'oxydation



Codispoti et al. (2001); (X et Y: intermédiaires intracellulaires)

Réactions cataboliques du cycle de l'azote

Fixation de l'azote

e.g. *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Anabena*, etc.

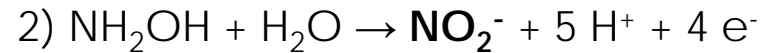
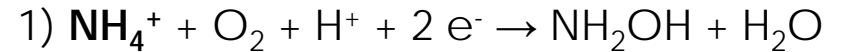


Oxydation de l'ammonium

Formation de *nitrite*

(Nitrification I: *nitritation*, *nitritification*)

e.g. *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus*

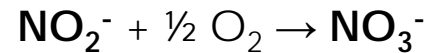


Oxydation du nitrite

Formation de *nitrate*

(Nitrification II: *nitratation*, *nitratification*)

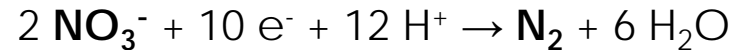
e.g. *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*



Dénitrification

e.g. *Aquaspirillum*, *Rhodocyclaceae* (*Azoarcus*, *Zoogloea*, *Thauera*, *Dechloromonas*, *Rhodocyclus*, "Ca. *Accumulibacter*"), *Pseudomonas*, "Ca. *Competibacter*", etc.

Etapes: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} + \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$

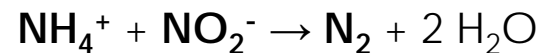


Anammox

ang. *anaerobic ammonium oxydation*

fr. *oxydation anaérobie de l'ammonium*

e.g. "Ca. *Brocardia*", "Ca. *Kuenenia*", "Ca. *Anammoxoglobus*", "Ca. *Jettenia*", "Ca. *Scalindua*", etc.



Adapté de Bernhard (2012) *Nature*, Thomsen et al. (2006), Holliger (2011) *EPFL*

Enzymes catalysant les réactions du cycle de l'azote

Table 2. The enzymes of the nitrogen cycle and the reactions they catalyze. Reactions are shown as redox half reactions where the enzyme itself acts as the primary electron acceptor or donor.

Process/enzyme	Reaction	Equation number	$E^{0'}$ (V/e ⁻)	Location
Nitrification				
Ammonia monooxygenase	$\text{NH}_4^+ + \text{O}_2 + \text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{NH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	1	0.73	Transmembrane
Hydroxylamine oxidoreductase	$\text{NH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_2^- + 5\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	2	-0.06	Periplasm
Nitrification/anammox				
Nitrite oxidoreductase	$\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	3	-0.43	Membrane associated
Hydrazine hydrolase	$\text{NH}_4^+ + \text{NO} + 2\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{N}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O}$	4	0.34	Anammoxosome
Hydrazine oxidoreductase	$\text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{N}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	5	-0.75	Anammoxosome
Denitrification & dissimilatory nitrate reduction				
Nitrate reductase	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	6	0.43	Membrane associated, periplasm or cytoplasm
Nitrite reductase	$\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	7	0.34	Periplasm
Nitric oxide reductase	$2\text{NO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	8	1.17	Transmembrane
Nitrous oxide reductase	$\text{N}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$	9	1.36	Periplasm
Dissimilatory nitrite reductase	$\text{NO}_2^- + 8\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow \text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	10	0.75	*

*Reported with the reducing activity both at the outside and inside of the cytoplasmic membrane.

Ref. Jetten et al. (2009)

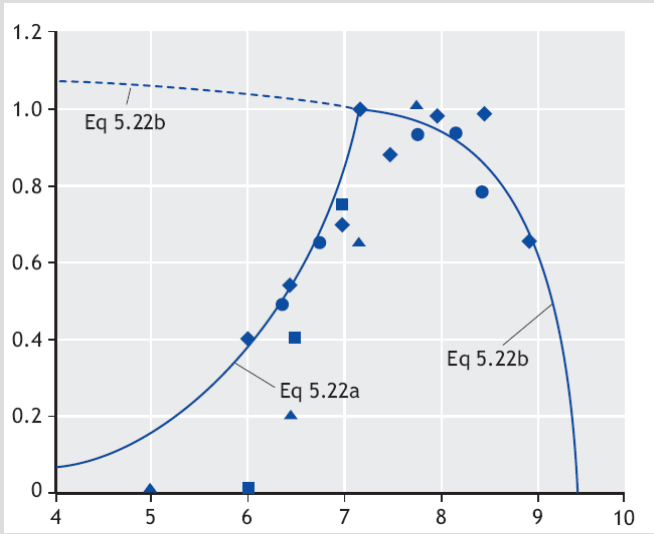
Facteurs de croissance

	Taux de croissance (μ_{max})	Temps de doublement (t_d)	Domaines de température et pH optimaux	Autres
Nitrifiantes	(10-20°C) 0.30-0.85 j ⁻¹ 0.55-1.11 j ⁻¹	(10-20°C) 55-20 h 31-18 h	T 25-40°C pH 7.0-8.0	- Inhibition à pH<7.0 et >8.0 - Impact de T sur l'âge des boues requis (été-hiver) >8-10 j - Sensibilité composés toxiques
Dénitrifiantes	3-6 j ⁻¹	6-3 h	T < 40°C pH 7.0-8.5	- Inhibition à pH<6.0 et >8.5 - Requier source de carbone
Anammox	0.03-0.06 j ⁻¹	20-11 j	T 30-35°C pH 7.5-8.3	- Anaérobies strictes (<2 $\mu\text{mol}_{\text{O}_2} \text{L}^{-1}$, i.e. 0.064 $\text{mg}_{\text{O}_2} \text{L}^{-1}$)

Adapté de Holliger (2011) EPFL, Ekama et Wentzel (2008), Jetten et al. (2009)

Influence du pH sur le taux de croissance des nitrifiantes

Fraction $\mu_{max,Nit,pH} / \mu_{max,Nit,7.2} (-)$

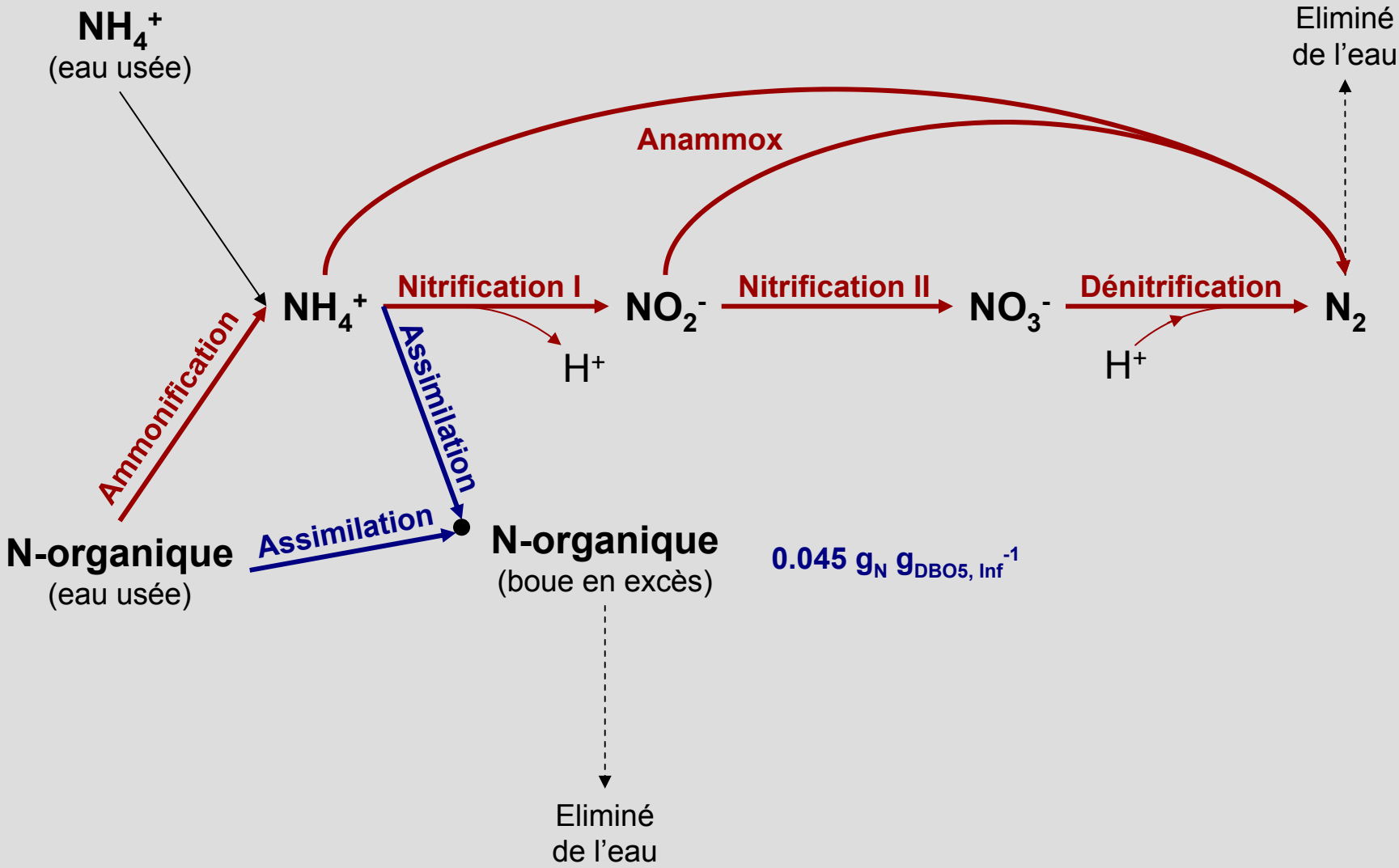


Maintenir un domaine de pH 7.0-8.0 requiert une alcalinité de 35 $\text{mg}_{\text{CaCO}_3} \text{L}_{\text{Inf}}^{-1}$

Ref. Ekama et Wentzel (2008)

pH (-)

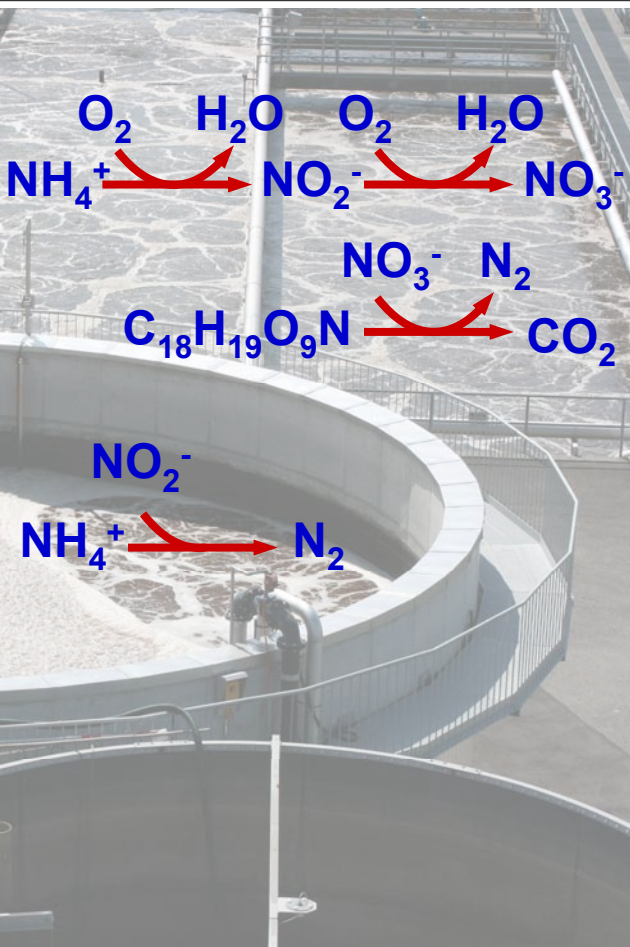
Résumé: Elimination biologique de l'azote des eaux usées



Adapté de Holliger (2011) EPFL

Microbiologie du traitement de l'azote

Une diversité de métabolismes et mécanismes de sélection



David Weissbrodt, dr. ir. ir.

Ph.D. EPF Biotechnologie Environnementale

M.Sc. EPF/SIA Sciences et Ingénierie de l'Environnement

Ingénieur chimiste HES Technologies du Vivant

Membre du comité de l'ARPEA

david.g.weissbrodt@gmail.com

Journée technique GRESE de formation sur le thème du
Traitement de l'azote des eaux usées

De la Microbiologie aux Nouvelles Technologies

Groupement romand des exploitants de stations d'épuration des eaux

Yverdon-les-Bains, 6 juin 2013