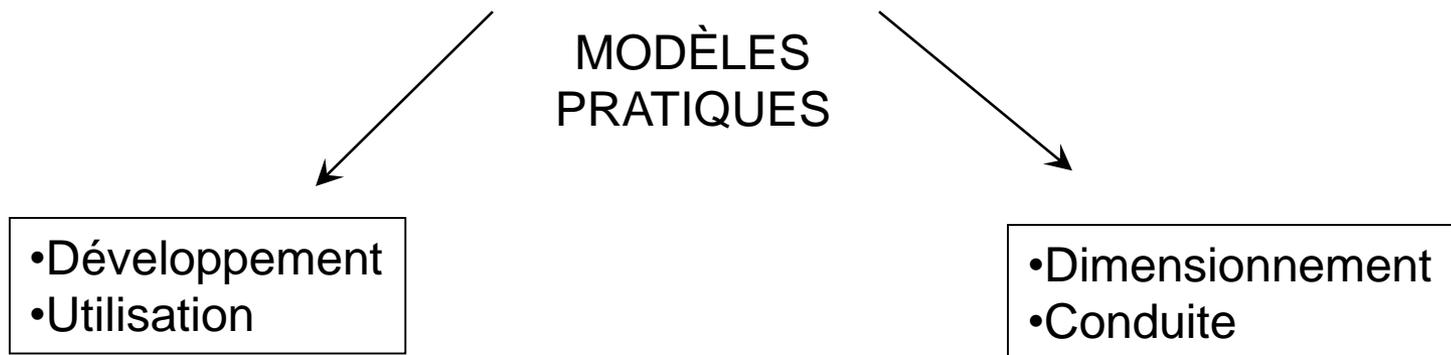


# ASM – History 1

- 1983 Groupe de Travail IWA (International Water Association – Ex: IAWPRC puis IAWQ)

Systemes de Traitements Biologiques des Eaux Usées (WWTP)  
Bassin à Boues Activées



# ASM – History 2

## 1987 IAWQ Activated Sludge Model 1ASM 1

- Revue « State of the Art » dans le domaine
- Choix d'un consensus pour un modèle mathématique **le plus simple** pour le traitement de la charge polluante C et N
- Caractéristiques:
  - Oxydation du Carbone
  - Nitrification
  - Dénitrification

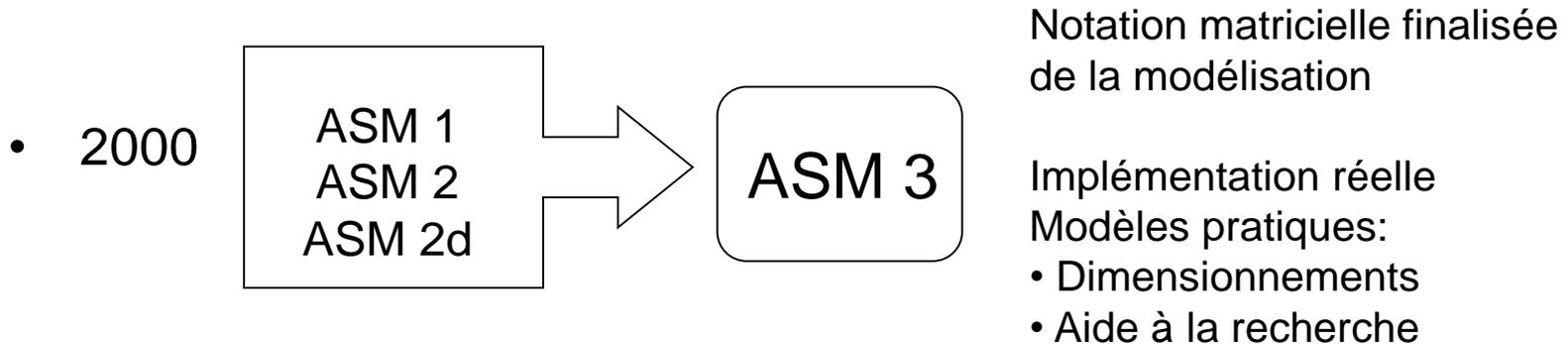
### Objectifs du modèle ASM 1

1. Déterminer les **besoins dynamiques de l'oxygène** (accepteur d'e<sup>-</sup> final) dans la STEP dans le temps et dans l'espace
2. Déterminer **la production de boues** (et par conséquent les traitements de BA nécessaires)

(Note: 2 des postes les plus importants du coût de fonctionnement)

# ASM – History 3

- 1987 IAWQ Activated Sludge Model 1 - ASM 1
  - Même si peu utilisé
  - Convainc pour 2 aspects principaux:
    - Une modélisation basée sur des **cinétiques biologiques**
    - Une **conception/représentation matricielle** puissante autorisant une forte complexité
- 1995 ASM 2 : Intégrant la déphosphatation biologique
- 1999 ASM 2d : Intégrant la dénitrification par les PAOs (Phosphate Accumulating Organisms)



ASM 3 reste aujourd'hui la base des TOUS les principaux logiciels de simulation pour WWTP

# ASM – History 4

ASM 1 – Base sur la modélisation UCT  
(Université de Cape Town – Pf. Marais)  
3 des 4 hypothèses de bases conservées

1. Hypothèse Bi-Substrat : La pollution organique (charge COD) est composé:
  - Substrat directement assimilable soluble (**readily biodegradable**)
  - Substrat difficilement assimilable (**slowly biodegradable**) « **insoluble** » macromolécules et particules) après hydrolyse par les enzymes extracellulaires
2. Cinétiques biologiques « Monod » pour des populations hétérotrophes et autotrophes

# ASM – History 5

ASM 1 – Base sur la modélisation UCT  
(Université de Cape Town – Pf. Marais)  
3 des 4 hypothèses de bases conservées

## 3. Hypothèse de mortalité et régénération (Death-Regeneration)

Observation: La respiration importante des boues activées passant de conditions anaérobies à des conditions aérobies...

- Le modèle de Monod et de la respiration endogène n'étant pas satisfaisant
- La mortalité des microorganismes (cell decay) par la lyse bactérienne génère une fraction non biodégradable (inerte) et une fraction assimilable difficilement biodégradable (la ré-aération des boues activées oxyde la fraction de matière organique)

## 4. (Hypothèse non conservée) Charge polluante particulaire (biodegradable particulate COD) seraient adsorbée et stockée puis hydrolysée (cinétique d'adsorption et de stockage)...

Au final le modèle ASM1 fut plus simple que le modèle UCT et légèrement modifié (Death-Regeneration):

- 13 variables d'état au lieu de 14
- 8 cinétiques au lieu de 14

# ASM – History 6

- COD !!! Tout est exprimé en Demande Chimique en Oxygène (la pollution organique, la biomasse et l'O<sub>2</sub> en gO<sub>2</sub>/L) et permet:
  - De raisonner en « électron équivalent » (c.f.  $\gamma$  Degree of reduction)
  - Faciliter la consistance des unités
  - Faciliter la vérification de la conservation des bilans de masse
- Généralisation des « Monod-Like switch function », permettant une bascule graduelle des cinétiques (Ex: entre conditions anaérobies et aérobies)

# ASM – History 7

		Continuity →				
Mass Balance ↓	Component →	<i>i</i>				
	<i>j</i> Process ↓		1 $X_B$	2 $S_S$	3 $S_O$	Process Rate, $\rho_j$ [ $ML^{-3} T^{-1}$ ]
	1 Growth		1	$-\frac{1}{Y}$	$-\frac{1-Y}{Y}$	$\frac{\hat{\mu} S_S}{K_S + S_S} X_B$
	2 Decay		-1		-1	$b X_B$
	Observed Conversion Rates $ML^{-3} T^{-1}$		$r_i = \sum_j r_{ij} = \sum_j v_{ij} \rho_j$			
Stoichiometric Parameters: True growth yield: $Y$		Biomass [ $M(COD) L^{-3}$ ]	Substrate [ $M(COD) L^{-3}$ ]	Oxygen (negative COD) [ $M(-COD) L^{-3}$ ]	Kinetic Parameters: Maximum specific growth rate: $\hat{\mu}$ Half-velocity constant: $K_S$ Specific decay rate: $b$	

## « Matrix formulation »

Cette représentation structurale du modèle permet de prendre en compte la complexité du « know how » dans le traitement biologique des eaux usées et rend la modélisation plus lisible.

Note: Représentation issue des Matrices de Peterson

# ASM – Matrix formulation 1

Considérons un « simplissime » bassin  
à « Boues Activées »

Une **biomasse**  $X_B$  y dégrade en conditions  
aérobies ( $O_2$ ) une charge polluante (**Substrat**  $S_S$ )

Note: Sans considérer la configuration de l'installation et en  
ne considérant **que les biocinétiques concernées**

# ASM – Matrix formulation 2

- Composants du Modèle  $C_i$ :

	S=Soluble	X=Particulaire
Substrat S	$S_S$	
Biomasse B		$X_B$
Oxygène O <sub>2</sub>	$S_O$	

Ils constituent **les colonnes de la matrice**  
dans la formulation du modèle



# ASM – Matrix formulation 4

- Cinétiques “Process Rate”  $\rho_i$ :

- Croissance aérobie de la Biomasse (Monod)

$$\frac{\hat{\mu}S_S}{K_S + S_S} X_B$$

- Mortalité de la biomasse (Herbert)

$$bX_B$$

Ils constituent **les lignes de la matrice**  
dans la formulation du modèle

# ASM – Matrix formulation 5

- Cinétiques “Process Rate”  $\rho_i$ :

Component	$\rightarrow$	$i$				
$j$	Process	$\downarrow$	1	2	3	Process Rate, $\rho_j$ [ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup> ]
1	Growth		$X_B$	$S_S$	$S_O$	$\frac{\hat{\mu}S_S}{K_S + S_S} X_B$
2	Decay					$bX_B$
			Biomass [M(COD) L <sup>-3</sup> ]	Substrate [M(COD) L <sup>-3</sup> ]	Oxygen (negative COD) [M(-COD) L <sup>-3</sup> ]	

# ASM – Matrix formulation 6

- Les coefficient stoichiométriques  $v_{ij}$ :

Ils déterminent les interactions et leur relations massiques entre les Composant  $C_i$  et les Cinétiques  $\rho_i$

(+) = Production : (-) = Consommation

Ils constituent **les éléments de la matrice** dans la formulation du modèle

- Les paramètres du modèle :
  - Paramètres des cinétiques:
    - $\mu$  : Taux de croissance maximum
    - $K_S$  : Constante de Monod (Half velocity constant)
    - $b$  : Taux de mortalité spécifique
  - Paramètres stoichiométriques:
    - $Y$  : Rendement de la croissance ( $Y_{SX\dots}$ )

# ASM – Matrix formulation 7

- Les coefficient stoichiométriques  $v_{ij}$
- Les paramètres du modèle :

Component →	$i$				
$j$ Process ↓		1 $X_B$	2 $S_S$	3 $S_O$	Process Rate, $\rho_j$ [ $ML^{-3}T^{-1}$ ]
1 Growth		1	$-\frac{1}{Y}$	$-\frac{1-Y}{Y}$	$\frac{\hat{\mu}S_S}{K_S + S_S} X_B$
2 Decay		-1		-1	$bX_B$
Observed Conversion Rates [ $ML^{-3}T^{-1}$ ]					Kinetic Parameters: Maximum specific growth rate: $\hat{\mu}$ Half-velocity constant: $K_S$ Specific decay rate: $b$
Stoichiometric Parameters: True growth yield: $Y$		Biomass [ $M(COD) L^{-3}$ ]	Substrate [ $M(COD) L^{-3}$ ]	Oxygen (negative COD) [ $M(-COD) L^{-3}$ ]	

# ASM – Matrix formulation 8

- **Bilan de masse** (l'intérieur d'un système aux limites définies)  
**[ACCUmulation] = [INPUT] - [OUTPUT] + [REACTIONS]**
- **INPUT & OUTPUT** dépend des caractéristiques de l'installation
  - débit et volume des bassins
  - configuration du procédé
  - Natures des effluents
- Le terme **REACTION** du système pour un composant **C<sub>i</sub>** est donné par la somme colonne des produits des coefficients stoechiométriques  $\nu_{ij}$  par les cinétiques  $\rho_j$

NON PRIS EN COMPTE !!!

$$r_i = \sum_j r_{ij} = \sum_j \nu_{ij} \rho_j$$

# ASM – Matrix formulation 9

- Soit pour le 3 composants du modèle simplifié

$$r_i = \sum_j r_{ij} = \sum_j \nu_{ij} \rho_j$$

- Biomasse:  $r_{X_B} = \frac{\mu \cdot S_S}{K_S + S_S} X_B - b \cdot X_B$

- Substrat:  $r_{S_S} = -\frac{1}{Y} \frac{\mu \cdot S_S}{K_S + S_S} X_B$

- Oxygène dissous:  $r_{S_O} = -\left(\frac{1-Y}{Y}\right) \frac{\mu \cdot S_S}{K_S + S_S} X_B - b X_B$

# ASM – Matrix formulation 10

- Vérification de la continuité du modèle (aisée)

Rien ne se crée ou disparaît spontanément,  
Tout se transforme !!!

$$\sum_j v_{ij} = 0$$

- Comme tout est exprimé en M-COD.L<sup>-1</sup>, la somme des coefficients stoechiométriques est égale à 0 (valable pour C<sub>i</sub> exprimé en COD pas pour les composés azotés, ni l'alcalinité qui ont d'autres unités)
- Ainsi pour la croissance, si le rendement de croissance Y vaut 0.75:
- pour **(1)** 1 part de COD de biomasse X<sub>B</sub> synthétisée les microorganismes vont consommer **(-1/Y)** 1.33 parts COD de substrat S<sub>S</sub>.
- De ces 1.33 parts de COD substrat S<sub>S</sub> ,
  - (1)** 1 ont été stockées sous forme de biomasse X<sub>B</sub>
  - [(1/Y)-1]** ont été oxydé en CO<sub>2</sub> par une respiration consommant 0.33 parts de d'oxygène **-[(1-Y)/Y)** COD (négative)

Component	→	i	1	2	3	Process Rate, ρ <sub>i</sub> [ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup> ]
j	Process	↓	X <sub>B</sub>	S <sub>S</sub>	S <sub>O</sub>	
1	Growth		1	-1/Y	(1-Y)/Y	$\frac{\mu S_S}{K_S + S_S} X_B$
2	Decay		-1		-1	bX <sub>B</sub>

$$\text{COD Balance : } -1 \cdot S_{[\text{gCOD}]} - Y_{\text{O}} \cdot \text{O}_2_{[\text{g}(-)\text{gCOD}]} + Y_{\text{COD}} \cdot X_{[\text{gCOD}]}$$

$$\rightarrow Y_{\text{O}} = Y_{\text{COD}} - 1$$

$$\text{COD Balance : } -1/Y_{\text{COD}} \cdot S_{[\text{gCOD}]} - (Y_{\text{COD}} - 1)/Y_{\text{COD}} \cdot \text{O}_2_{[\text{g}(-)\text{gCOD}]} + 1 \cdot X_{[\text{gCOD}]}$$

# ASM – Matrix formulation 11

## Respiration ENDOGENE / DEATH REGENERATION

Cette modélisation simpliste prenant en compte le demande oxygène du à la mortalité de la biomasse peut être modifiée par le concept «DEATH REGENERATION».

Mass Balance ↓

Component →	<i>i</i>	1	2	3	Process Rate, $\rho_j$ [ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup> ]
<i>j</i> Process ↓		$X_B$	$S_S$	$S_O$	
1 Growth		1	$-\frac{1}{Y}$	$-\frac{1-Y}{Y}$	$\frac{\hat{\mu} S_S}{K_S + S_S} X_B$
2 Decay		-1	1	-1	$b X_B$
Observed Conversion Rates ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup>		$r_i = \sum_j r_{ij} = \sum_j v_{ij} \rho_j$			Kinetic Parameters: Maximum specific growth rate: $\hat{\mu}$ Half-velocity constant: $K_S$ Specific decay rate: $b$
Stoichiometric Parameters: True growth yield: $Y$		Biomass [M(COD) L <sup>-3</sup> ]	Substrate [M(COD) L <sup>-3</sup> ]	Oxygen (negative COD) [M(-COD) L <sup>-3</sup> ]	

Ce concept permet de prendre en compte, un pseudo «cannibalisme» des microorganismes à même de croître sur de la biomasse morte! Dans le présent modèle, la biomasse morte devient du substrat à nouveau consommé pour reproduire à nouveau de la biomasse.

Note: L'assignment #1 DBO5, simulant ces 2 modélisations, montrera leur similarité...!

# ASM – Matrix formulation 12

		Continuity →				
Mass Balance	Component →	<i>i</i>				
	<i>j</i> Process ↓		1 $X_B$	2 $S_S$	3 $S_O$	Process Rate, $\rho_j$ [ $ML^{-3} T^{-1}$ ]
	1 Growth		1	$-\frac{1}{Y}$	$-\frac{1-Y}{Y}$	$\frac{\hat{\mu} S_S}{K_S + S_S} X_B$
	2 Decay		-1	1 ←	-1	$b X_B$
	Observed Conversion Rates $ML^{-3} T^{-1}$		$r_i = \sum_j r_{ij} = \sum_j v_{ij} \rho_j$			
Stoichiometric Parameters: True growth yield: $Y$		Biomass [ $M(COD) L^{-3}$ ]	Substrate [ $M(COD) L^{-3}$ ]	Oxygen (negative COD) [ $M(-COD) L^{-3}$ ]	Kinetic Parameters: Maximum specific growth rate: $\hat{\mu}$ Half-velocity constant: $K_S$ Specific decay rate: $b$	

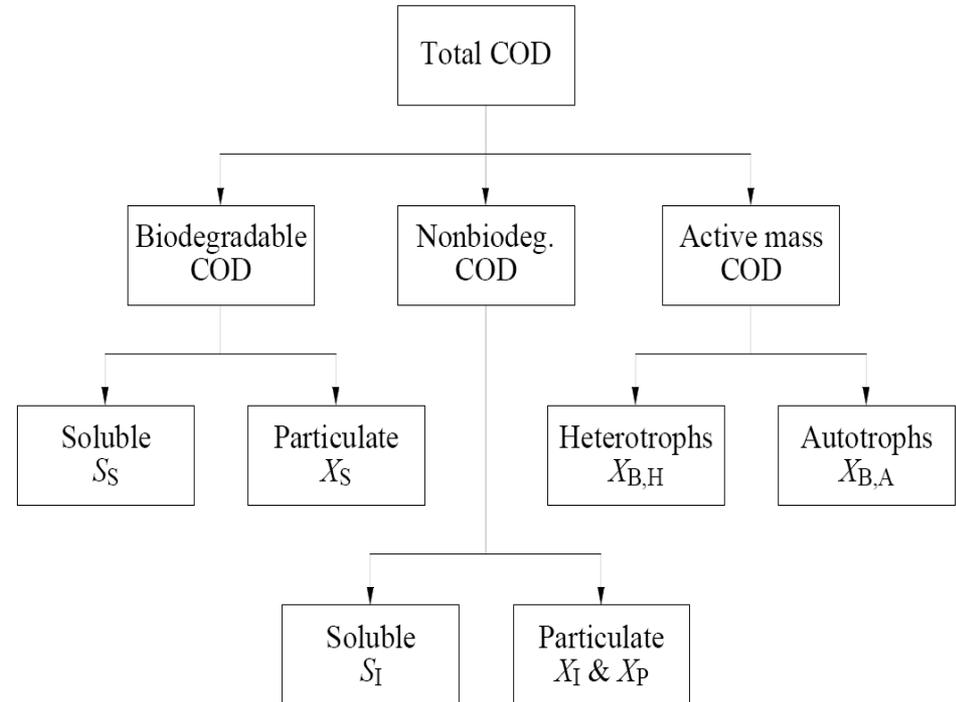
Cette représentation structurale du modèle permet de prendre en compte la complexité du « know how » dans le traitement biologique des eaux usées et la rend plus lisible

# ASM – Full Matrix formulation

Component →	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Process Rate, $\rho_i$ [ $ML^{-3} T^{-1}$ ]	
j ↓	Process ↓	$S_I$	$S_S$	$X_I$	$X_S$	$X_{B,H}$	$X_{B,A}$	$X_P$	$S_O$	$S_{NO}$	$S_{NH}$	$S_{ND}$	$X_{ND}$	$S_{ALK}$		
1	Aerobic growth of heterotrophs		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\hat{\mu}_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) X_{B,H}$	
2	Anoxic growth of heterotrophs		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{2.86 Y_H}$		$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2.86 Y_H}$ $-\frac{i_{XB}}{14}$	$\hat{\mu}_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right)$ $\times \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \eta_R X_{B,H}$	
3	Aerobic growth of autotrophs						1		$-\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$			$\frac{i_{XB}}{14} - \frac{1}{7 Y_A}$	$\hat{\mu}_A \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{S_O}{K_{O,A} + S_O} \right) X_{B,A}$	
4	'Decay' of heterotrophs				$1 - f_P$	-1		$f_P$					$i_{XB} - f_P i_{XP}$		$b_H X_{B,H}$	
5	'Decay' of autotrophs				$1 - f_P$		-1	$f_P$					$i_{XB} - f_P i_{XP}$		$b_A X_{B,A}$	
6	Ammonification of soluble organic nitrogen										1	-1		$\frac{1}{14}$	$k_a S_{ND} X_{B,H}$	
7	'Hydrolysis' of entrapped organics		1		-1										$k_h \frac{X_S / X_{B,H}}{K_X + (X_S / X_{B,H})} \left[ \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + \eta_h \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_{B,H}$	
8	'Hydrolysis' of entrapped organic nitrogen											1	-1		$\rho_7 (X_{ND} / X_S)$	
Observed Conversion Rates [ $ML^{-3} T^{-1}$ ]		$r_i = \sum_j v_{ij} \rho_j$														
Stoichiometric Parameters: Heterotrophic yield: $Y_H$ Autotrophic yield: $Y_A$ Fraction of biomass yielding particulate products: $f_P$ Mass N/Mass COD in biomass: $i_{XB}$ Mass N/Mass COD in products from biomass: $i_{XP}$		Soluble inert organic matter [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Readily biodegradable substrate [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Particulate inert organic matter [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Slowly biodegradable substrate [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Active heterotrophic biomass [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Active autotrophic biomass [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Particulate products arising from biomass decay [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Oxygen (negative COD) [ $M(-COD)L^{-3}$ ]	Nitrate and nitrite nitrogen [ $M(N)L^{-3}$ ]	$NH_4^+$ + $NH_3$ nitrogen [ $M(N)L^{-3}$ ]	Soluble biodegradable organic nitrogen [ $M(N)L^{-3}$ ]	Particulate biodegradable organic nitrogen [ $M(N)L^{-3}$ ]	Alkalinity – Molar units	Kinetic Parameters: Heterotrophic growth and decay: $\hat{\mu}_H, K_S, K_{O,H}, K_{NO}, b_H$ Autotrophic growth and decay: $\hat{\mu}_A, K_{NH}, K_{O,A}, b_A$ Correction factor for anoxic growth of heterotrophs: $\eta_R$ Ammonification: $k_a$ Hydrolysis: $k_h, K_X$ Correction factor for anoxic hydrolysis: $\eta_h$	

# ASM – States Variables 1

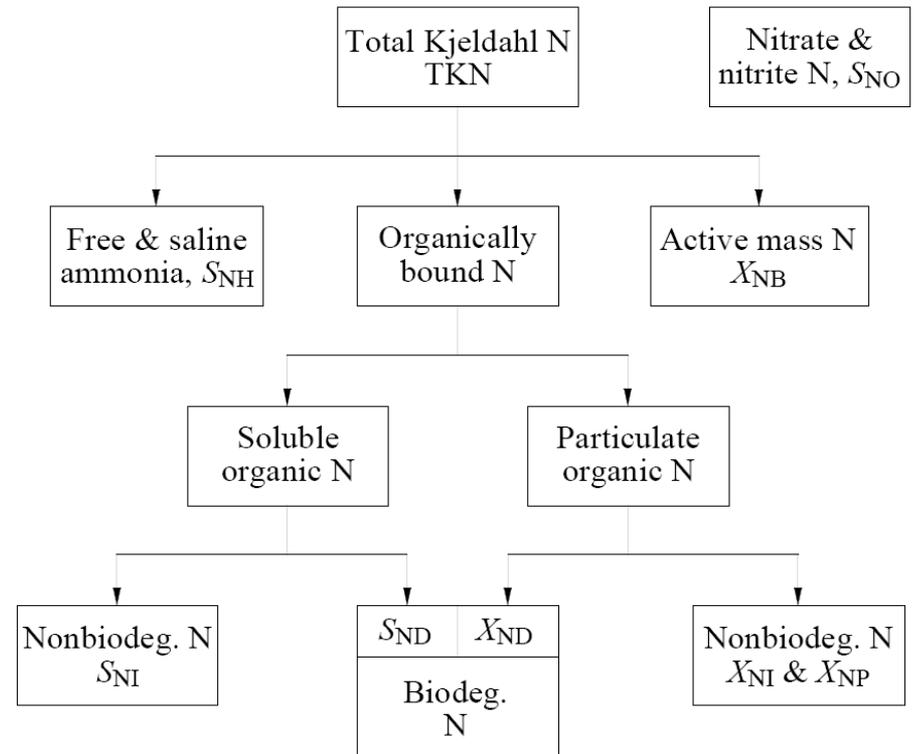
- Caractérisation de matière organique (Total COD)
  - Dégradable, non-biodégradable et active (=Biomasse)
  - Les composés solubles  $S_i$  et particulaires  $X_i$



$$COD_{tot} = S_I + S_S + X_S + X_{B,H} + X_{B,A} + X_I + X_P$$

# ASM – States Variables 2

- Caractérisation des matières azotées
- 2 autres Var. d'état
  - $S_O$  la concentration en oxygène dissous (exprimé en COD négatives...)
  - $S_{ALK}$  l'alcalinité du milieu



# ASM – Dynamic Processes 1

1. **Croissance aérobie** des populations **hétérotrophes**
2. **Croissance anoxique** des populations **hétérotrophes**
3. **Croissance aérobie** de populations **autotrophes**
4. **Croissance anoxique** des populations **autotrophes**
5. **Mortalité** de populations **hétérotrophes**
6. **Mortalité** de populations **autotrophes**
7. **Ammonification** des matières organiques solubles azotées
8. **Hydrolyse des matières organiques** difficilement biodégradables (hydrolyse extracellulaire dans les flocs)
9. **Hydrolyse des matières azotées** difficilement biodégradables

# ASM – Dynamic Processes 10

Unité des cinétiques:

$\text{ML}^{-3}\text{T}^{-1}$   
ou  
 $\text{g COD.m}^{-3}.\text{day}^{-1}$

Paramètres cinétiques:

- Croissance et mortalité de la biomasse hétérotrophe :  $\mu_H, K_S, K_{O,H}, K_{NO}, b_H$
- Croissance et mortalité de la biomasse autotrophe :  $\mu_A, K_{NH}, K_{O,A}, b_A$
- Facteur de correction pour la croissance anoxique (hétérotrophe) :  $\eta_g$
- Ammonification :  $k_a$
- Hydrolyse :  $k_H, K_X$
- Facteur de correction pour l'hydrolyse en condition anoxique :  $\eta_h$

# ASM – Full Matrix formulation

Component →	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Process Rate, $\rho_j$ [ $ML^{-3}T^{-1}$ ]	
j ↓	Process ↓	$S_I$	$S_B$	$X_I$	$X_B$	$X_{B,H}$	$X_{B,A}$	$X_P$	$S_O$	$S_{NO}$	$S_{NH}$	$S_{ND}$	$X_{ND}$	$S_{ALK}$		
1	Aerobic growth of heterotrophs		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\mu_H \left( \frac{S_B}{K_S + S_B} \right) \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) X_{B,H}$	
2	Anoxic growth of heterotrophs		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{2.86 Y_H}$		$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2.86 Y_H}$ $-\frac{i_{XB}}{14}$	$\mu_H \left( \frac{S_B}{K_S + S_B} \right) \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right)$ $\times \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \eta_E X_{B,H}$	
3	Aerobic growth of autotrophs						1		$-\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$			$\frac{i_{XB}}{14} - \frac{1}{7 Y_A}$	$\mu_A \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{S_O}{K_{O,A} + S_O} \right) X_{B,A}$	
4	'Decay' of heterotrophs				$1 - f_P$	$-1$		$f_P$					$i_{XB} - f_P i_{XP}$		$b_H X_{B,H}$	
5	'Decay' of autotrophs				$1 - f_P$		$-1$	$f_P$					$i_{XB} - f_P i_{XP}$		$b_A X_{B,A}$	
6	Ammonification of soluble organic nitrogen										1	$-1$		$\frac{1}{14}$	$k_A S_{ND} X_{B,H}$	
7	'Hydrolysis' of entrapped organics		1		$-1$										$k_h \frac{X_B / X_{B,H}}{K_X + (X_B / X_{B,H})} \left[ \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + \eta_B \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_{B,H}$	
8	'Hydrolysis' of entrapped organic nitrogen											1	$-1$		$\rho_T (X_{ND} / X_B)$	
Observed Conversion Rates [ $ML^{-3}T^{-1}$ ]		$r_i = \sum_j v_{ij} \rho_j$														
Stoichiometric Parameters: Heterotrophic yield: $Y_H$ Autotrophic yield: $Y_A$ Fraction of biomass yielding particulate products: $f_P$ Mass N/Mass COD in biomass: $i_{XB}$ Mass N/Mass COD in products from biomass: $i_{XP}$		Soluble inert organic matter [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Readily biodegradable substrate [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Particulate inert organic matter [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Slowly biodegradable substrate [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Active heterotrophic biomass [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Active autotrophic biomass [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Particulate products arising from biomass decay [ $M(COD)L^{-3}$ ]	Oxygen (negative COD) [ $M(-COD)L^{-3}$ ]	Nitrate and nitrite nitrogen [ $M(N)L^{-3}$ ]	$NH_4^+$ + $NH_3$ nitrogen [ $M(N)L^{-3}$ ]	Soluble biodegradable organic nitrogen [ $M(N)L^{-3}$ ]	Particulate biodegradable organic nitrogen [ $M(N)L^{-3}$ ]	Alkalinity – Molar units	Kinetic Parameters: Heterotrophic growth and decay: $\mu_H, K_S, K_{O,H}, K_{NO}, b_H$ Autotrophic growth and decay: $\mu_A, K_{NH}, K_{O,A}, b_A$ Correction factor for anoxic growth of heterotrophs: $\eta_E$ Ammonification: $k_A$ Hydrolysis: $k_h, K_X$ Correction factor for anoxic hydrolysis: $\eta_B$	

# ASM – Model equations 1

- Avec la matrice du modèle ASM1
- Considérant le bilan de masse d'un système borné

$$[\text{ACCUmulation}] = [\text{INput}] - [\text{OUTput}] + [\text{REACTION}]$$

- En s'intéressant (pour l'instant) qu'au terme [REACTION] la dynamique de chaque composants  $C_i$  est donné par:

$$r_i = \sum_j r_{ij} = \sum_j \nu_{ij} \rho_j$$

- Où l'on pressent la complexité cachée derrière la formulation matricielle...

# ASM – Model equations 2

- $X_{B,H}$ , biomasse hétérotrophe
  1. Croissance aérobie doublement limitée par le substrat  $S_S$  et l'oxygène dissous  $S_O$  (Switch function)
  2. Croissance anoxique (Dénitrification) doublement limitée par le substrat, et l'accepteur d'électrons  $S_{NO}$  plus une (Switch function) sur l'oxygène  $S_O$
  3. La mortalité : cinétique d'ordre 1

$$\frac{dX_{B,H}}{dt} = \left[ \hat{\mu}_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left\{ \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + \eta_g \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right\} - b_H \right] X_{B,H}$$

# ASM – Parameters 2

IAWQ model parameters	symbol	unit	20 °C	10 °C	literature
<i>Stoichiometric parameters</i>					
Heterotrophic yield	$Y_H$	g cell COD formed (g COD oxidized) <sup>-1</sup>	0.67	0.67	0.38-0.75
Autotrophic yield	$Y_A$	g cell COD formed (g N oxidized) <sup>-1</sup>	0.24	0.24	0.07-0.28
Fraction of biomass yielding particulate products	$f_P$	dimensionless	0.08	0.08	–
Mass N/mass COD in biomass	$i_{XB}$	g N (g COD) <sup>-1</sup> in biomass	0.086	0.086	–
Mass N/mass COD in products from biomass	$i_{XP}$	g N (gCOD) <sup>-1</sup> in endogenous mass	0.06	0.06	–
<i>Kinetic parameters</i>					
<b>Kinetic parameters Assignment #1 BOD<sub>5</sub></b>					
Heterotrophic max. specific growth rate	$\hat{\mu}_H$	day <sup>-1</sup>	6.0	3.0	0.6-13.2
Heterotrophic decay rate	$b_H$	day <sup>-1</sup>	0.62	0.20	0.05-1.6
Half-saturation coefficient (hsc) for heterotrophs	$K_S$	g COD m <sup>-3</sup>	20	20	5-225
Oxygen hsc for heterotrophs	$K_{O,H}$	g O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup>	0.20	0.20	0.01-0.20
Nitrate hsc for denitrifying heterotrophs	$K_{NO}$	g NO <sub>3</sub> -N m <sup>-3</sup>	0.50	0.50	0.1-0.5
Autotrophic max. specific growth rate	$\hat{\mu}_A$	day <sup>-1</sup>	0.80	0.30	0.2-1.0
Autotrophic decay rate	$b_A$	day <sup>-1</sup>	0.20	0.10	0.05-0.2
Oxygen hsc for autotrophs	$K_{O,A}$	g O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup>	0.4	0.4	0.4-2.0
Ammonia hsc for autotrophs	$K_{NH}$	g NH <sub>3</sub> -N m <sup>-3</sup>	1.0	1.0	–
Correction factor for anoxic growth of heterotrophs	$\eta_g$	dimensionless	0.8	0.8	0.6-1.0
Ammonification rate	$k_a$	m <sup>3</sup> (g COD day) <sup>-1</sup>	0.08	0.04	–
Max. specific hydrolysis rate	$k_h$	g slowly biodeg. COD (g cell COD day) <sup>-1</sup>	3.0	1.0	–
Hsc for hydrolysis of slowly biodeg. substrate	$K_X$	g slowly biodeg. COD (g cell COD) <sup>-1</sup>	0.03	0.01	–
Correction factor for anoxic hydrolysis	$\eta_h$	dimensionless	0.4	0.4	–

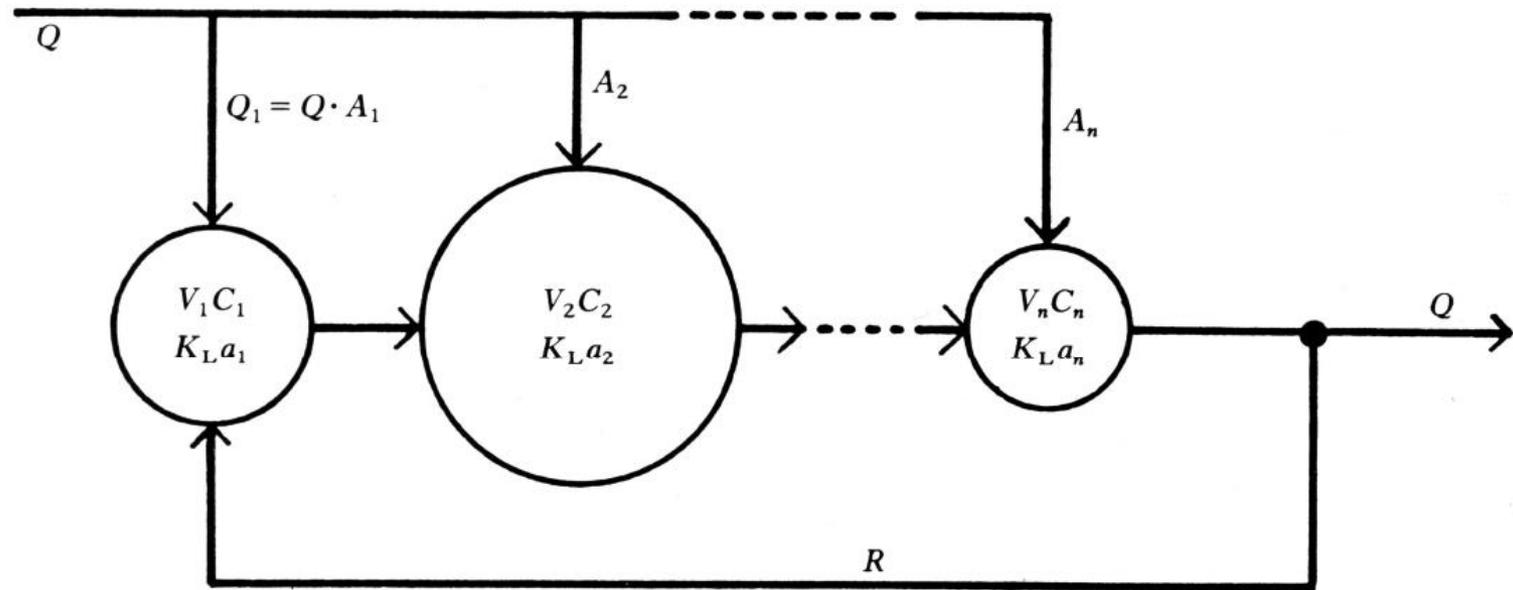
# ASM – Implémentation 1

- L'objectif ultime de ASM 1 est la **simulation de la dynamique** de systèmes de traitement biologiques des eaux complexes en conditions transitoires, « non steady state ».
- Implémentation intégrant les **processus biologiques** et ceux de **transports et de conversions** sur des système de CSTR. Il est possible d'obtenir un ensemble d'équations différentielles ODE (biocinétiques non linéaires)

Dans les années 80', avec les nouvelles possibilités de la micro-informatique (BASIC ), le groupe de travail a aussi proposé des recommandations pour l'implémentation du modèle ASM 1, pour la simulation de systèmes WWTP plus complexes

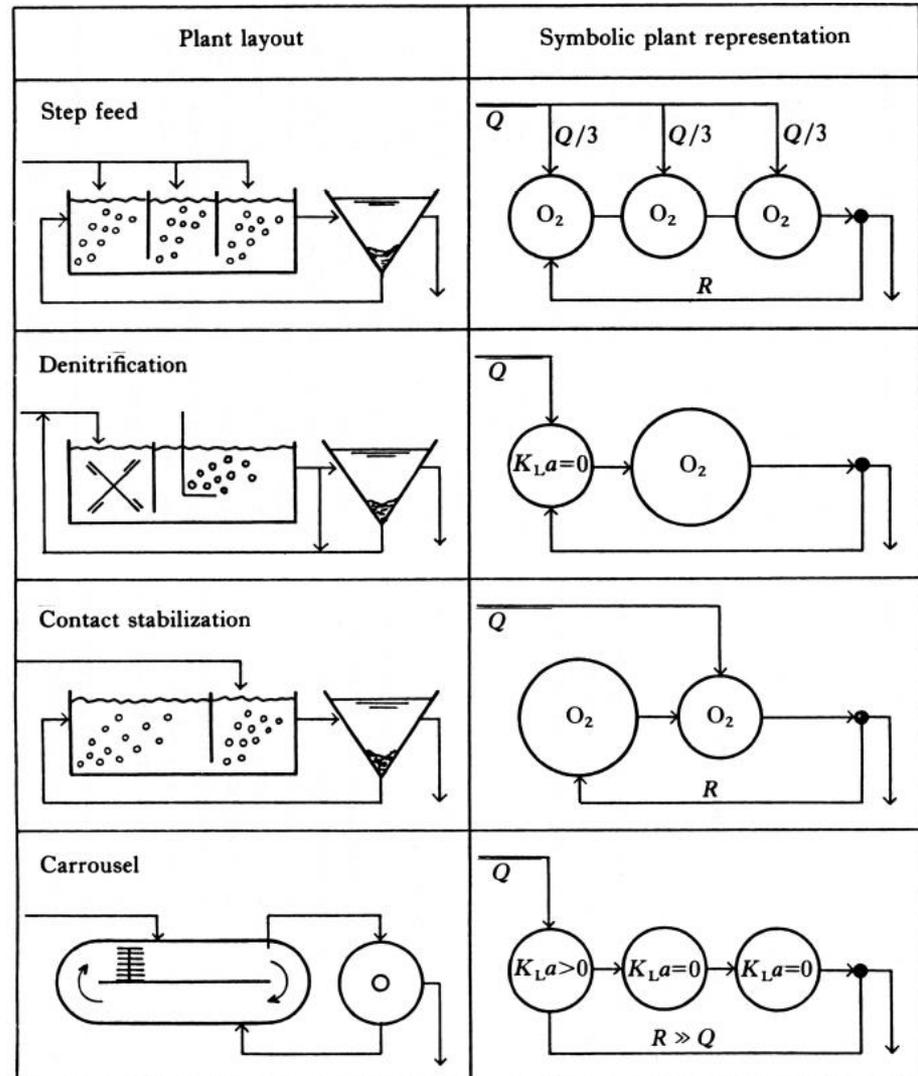
# ASM – Implementation 2

- Le groupe propose de « simplifier » les divers systèmes de traitement à boues activées par une succession de réacteur CSTRs



# ASM – Implementation 3

- Définition des différents systèmes selon la configuration généralisée



# ASM – Evolution

- Depuis (1980's) le modèle a évolué pour sa version 3 (Enhanced Nutrient removal + PAO Phosphate Accumulating Microorganisms) mais l'approche de modélisation est par essence conservée.
- Le puissance de la « **Matrix Formulation** » eu égard à la complexité des biosystèmes considérés n'a jamais été remise en cause.
- Aujourd'hui, **pas de nouvelle approche** pour les traitements à boues activées
- Cette modélisation constitue la base des processus biologiques implémenter dans tous les outils professionnelles actuels, qui sont utilisés pour la simulation de systèmes de traitements biologiques des eaux.
- L'universalité de la « **Matrix Formulation** » ASM a été appliquée au domaine de la digestion anaérobie pour donner ADM 1 (2000's)

“**ADM 1** Anaerobic Digestion Model 1”

# ASM – Environnement de simulation

- On trouve commercialement pour usage professionnel (2000-15000\$):
  - ASIM (Activated Sludge SIMulation Program-EAWAG)  
<http://www.asim.eawag.ch/>
  - BioWin™ EnviroSim Associates, Canada
  - GPS-X™ Hydromantis Inc., Canada
  - STOAT™ WRC plc, United Kingdom
  - WEST® HEMMIS N.V., Belgium
- En R&D et monde académique
  - Aquasim <http://www.aquasim.eawag.ch>
  - Programmation Matlab/Simulink ou Fortran

# Cost « Simulation benchmark » Manual 1

- Ce travail est la suite directe de 2 programmes COST
  1. COST682 « Integrated Wastewater Management » 1992-1998 portant sur **l'optimisation du dimensionnement** et de la **conduite des processus** dynamiques dans les systèmes de traitementa biologiques des eaux usées
  2. COST624 « optimisation des performances et de la rentabilité des systèmes de traitement des eaux usées » 1998-2002 visant à augmenter la connaissance de système microbiens et des systèmes de traitements intégrés impliqués dans la **stratégie de traitement des eaux usées** afin de pouvoir répondre aux besoins du **développement durable de la société**
- COST « Simulation BenchMark » Manual

Note: Disponible sur Moodle, dossier Readings

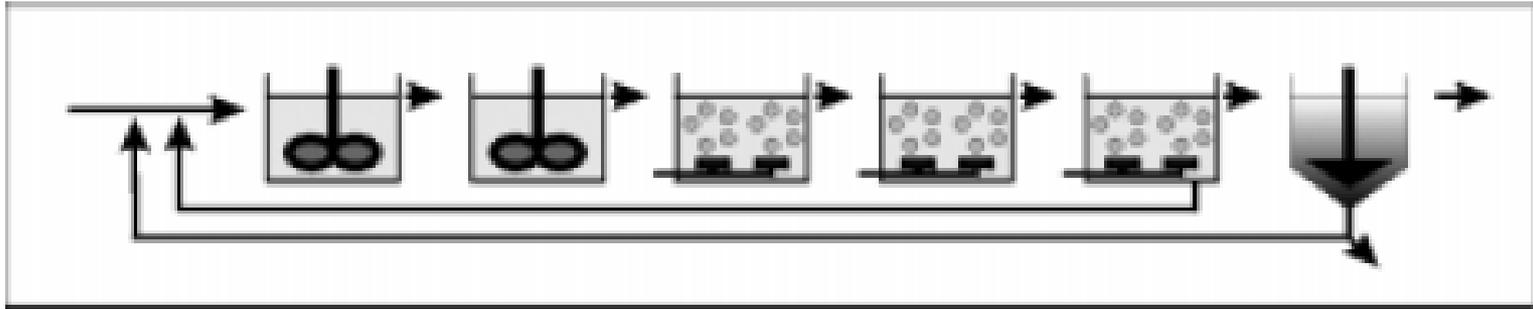
# Cost « Simulation benchmark »

## Manual 2

- COST « Simulation BenchMark » Manuel définissant complètement un protocole pour l'évaluation des stratégies de conduite des systèmes de traitement à boues activées
  1. Description du système de test « STEP de simulation »
  2. Description de l'implémentation sur plusieurs plateformes de simulation (avec les spécificités, adaptations, réglages et altérations...)
  3. Comparaison des états d'équilibre (steady state) et des réponses dynamiques
  4. Outils pour la comparaison des performances de simulation et qualité des simulateurs pour la conduite

# Simulation Benchmark Overview

## Simulation Plant



Configuration de la STEP simulée : 5 réacteurs biologiques en série traitant un affluent de  $18466 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  avec un décanteur secondaire

### Biologie:

- Volume total des bassin biologiques  $5999 \text{ m}^3$  respectivement  $2 \times 100 \text{ m}^3$  et  $3 \times 1333 \text{ m}^3$
- Les bassin 1 et 2 sont agités mais non aérés
- Les bassins 3 et 4 sont agités et mixés et permettent un coefficient de transfert d' $\text{O}_2$   $k_L a$  de  $10 \text{ h}^{-1}$ , le bassin 5 permet un  $k_L a$  de  $3.5 \text{ h}^{-1}$
- La concentration de saturation d'oxygène dissous est de  $8 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$

### Décanteur:

- Non reactif d'un volume de  $6000$  ( $1500 \text{ m}^2$  sur une hauteur  $4 \text{ m}$ )
- Subdivisé en 10 couche, l'alimentation arrive du fond à une hauteur de  $2.2 \text{ m}$  (6ème couche)

### Recirculation:

- Nitrate recirculation du bassin 5 au 1 :  $55338 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
- RAS recirculation du décanteur au au bassin 1 :  $18466 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
- Purge des boues WAS :  $385 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$

# Simulation Benchmark Overview

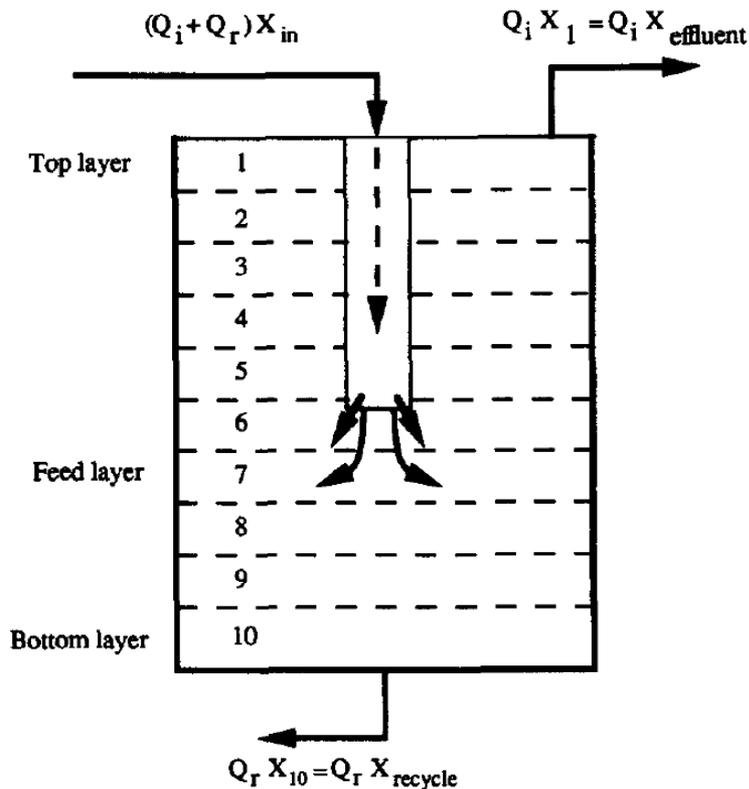
## Steady State

PLATFORM	BioWin	EFOR	FORTTRAN	GPS-X	MATLAB/ Simulink	SIMBA	STOAT	WEST
<b>Effluent</b>								
Si	30	30	30	30	30	30	30	30
Ss	0.890	0.89	0.888	0.889	0.889	0.889	0.900	0.889
Xi	4.270	4.39	4.39	4.390	4.392	4.392	6.100	4.392
Xs	0.210	0.19	0.189	0.188	0.188	0.188	0.140	0.188
Xbh	9.510	9.79	9.780	9.776	9.782	9.782	6.600	9.782
Xba	0.560	0.57	0.572	0.572	0.573	0.573	0.400	0.573
Xp	1.680	1.73	1.730	1.727	1.728	1.728	(Xi = Xi + Xp)	1.728
So	0.500	0.49	0.490	0.491	0.491	0.491	0.500	0.491
Sno	10.450	10.42	10.400	10.415	10.415	10.415	10.400	10.415
Snh	1.740	1.73	1.750	1.733	1.733	1.733	1.700	1.733
Snd	0.690	0.69	0.689	0.688	0.688	0.688	0.700	0.688
Xnd	0.010	0.01	0.014	0.013	0.013	0.013	0.000	0.013
Salk	4.120	4.12	4.130		4.126	4.126		
TSS	12.170	12.5	12.5	12.497	12.497	12.497	12.500	12.497

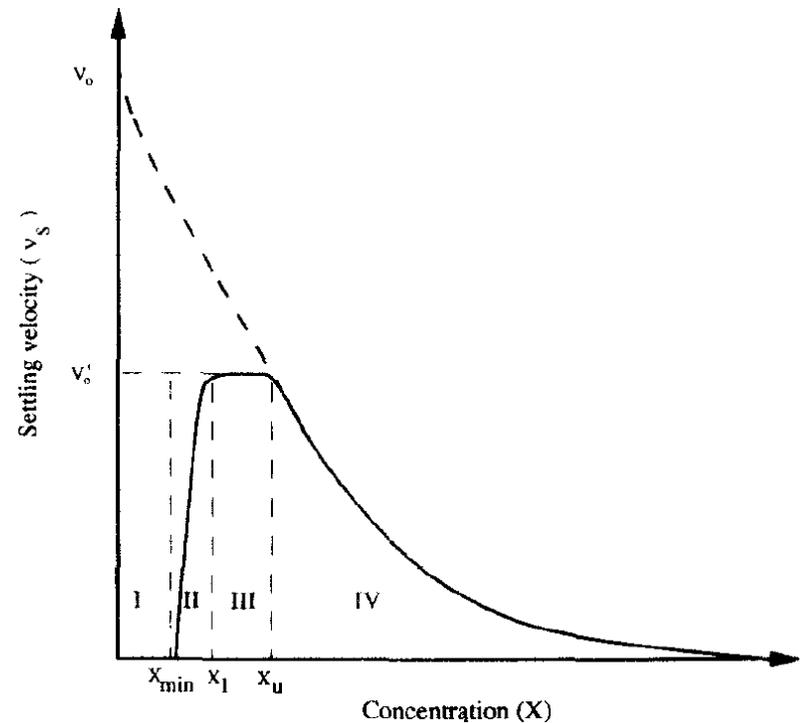
???: Si la configuration de l'installation et si les paramètres biocinétiques ASM sont identiques, d'où peuvent venir les différences?

# Sédimentation – Modélisation de Takacs

Une modélisation multicouche du décanteur



L'observation que la vitesse de sédimentation dépend de la concentration des matières en suspension



# Modélisation et Simulation in GBE – Assignmment DBO<sub>5</sub>

Afin de simuler la mesure optimale de la DBO<sub>5</sub>, qui consiste finalement en une croissance hétérotrophique de la pollution organique d'un échantillon d'eau usée, lors d'un batch de 5 jours, vous réaliserez:

1. La **modélisation** (Respiration Endogène et Death Regeneration) de **ASM 1 simplifié**
2. Les **simulations sous Aquasim**  
<http://www.aquasim.eawag.ch> de ces modélisations

→ **Afin de déterminer les conditions initiales** de la mesure de la DBO<sub>5</sub>, pour garantir la meilleure qualité de cette mesure de la demande biologique en oxygène de la pollution orgnique de l'échantillon.