

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

Cours Traitements mécaniques

Nico Derlon | 28.11.2024

# EPFL Visite station d'épuration (STEP) Yverdon-les-bains

11 Décembre:

- 13h00 RDZ ECUBLENS, EPFL, Av. Piccard, arrêt bus
- 13h15 Départ via Bavois pour YVERDON
- 13h50 Env., arrivée à YVERDON, STEP, Av. des Sports 7
- 14: Visite
- 16h00 Départ et retour pour ECUBLENS
- 16h35 Env., arrivée à ECUBLENS – Fin

**INSCRIVEZ-VOUS !**



## COURS 10 | Caractérisation des Eaux Usées (20 Nov.)

Introduction (45 min)

Caractérisation des Eaux Usées

Paramètres du dimensionnement

## COURS 11 | Traitement Mécanique (27 Nov.)

Traitement  
mécanique

Généralités et dégrilleurs  
Dessableurs et décantation  
primaire

## COURS 12 | Traitement biologique #1 (04. Déc.)

Traitement biologique – pollution organique

## COURS 13 | 11.12.2022

Visite de la station d'épuration d'Yverdon (voir diapo.  
« visite »)

## COURS 14 | Traitement Biologique #2 (18. Déc.)

Traitement biologique – pollution azotée (nitrification et  
azote total)

Traitement pollution phosphatée

**La fraction particulaire totale de la DCO dans les eaux usées brutes est typiquement :**

A. 5–10 %, B. 20–30 %, C. 40–60 %, D. 80 %

**La DCO est toujours un bon indicateur de la DBO5.**

Vrai / Faux

**Quel paramètre caractérise le mieux la pollution azotée d'une eau usée ?**

A. DCO, B.  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , C. MES, D. NTK

**Le dimensionnement d'une STEP s'effectue aux températures estivales, quand les bactéries croissent le plus rapidement**

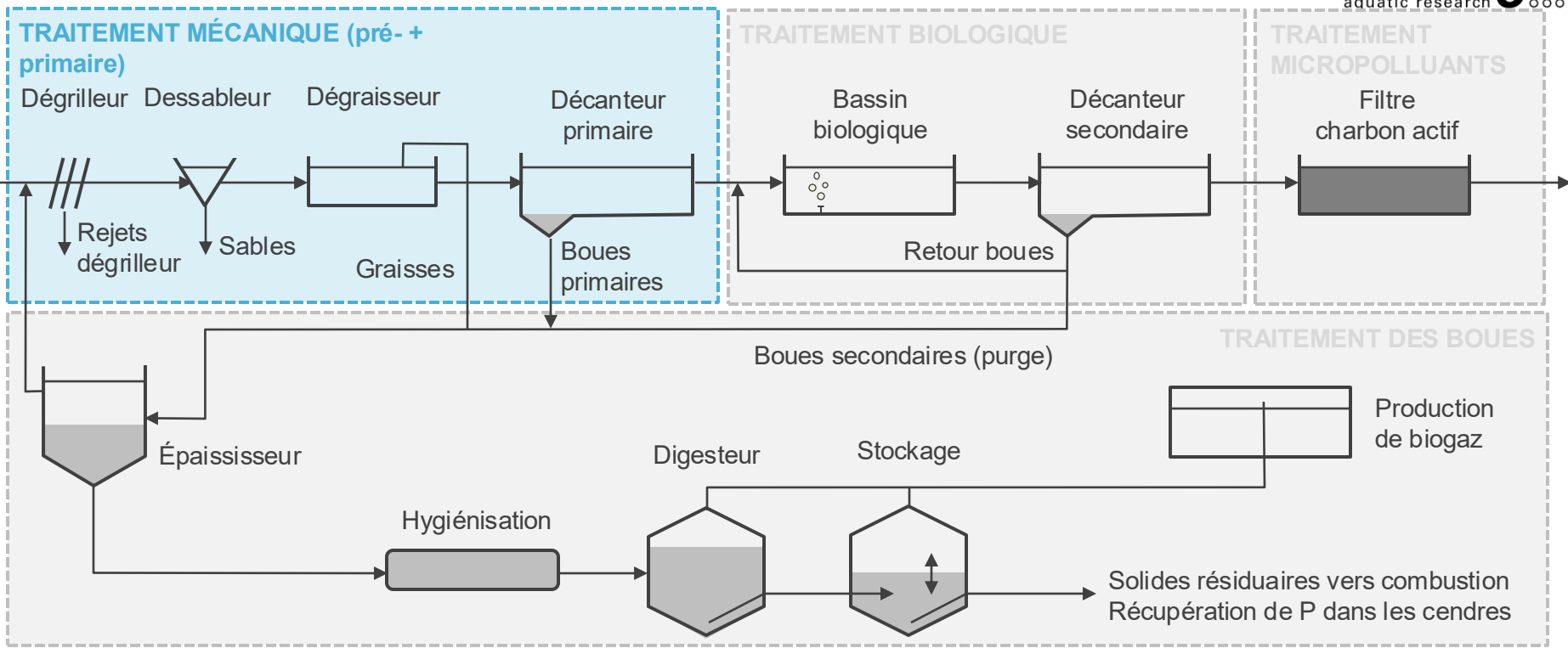
Vrai / Faux

**La totalité de l'azote entrant dans une STEP suisse est éliminée sous forme d'azote gazeux ( $\text{N}_2$ ).**

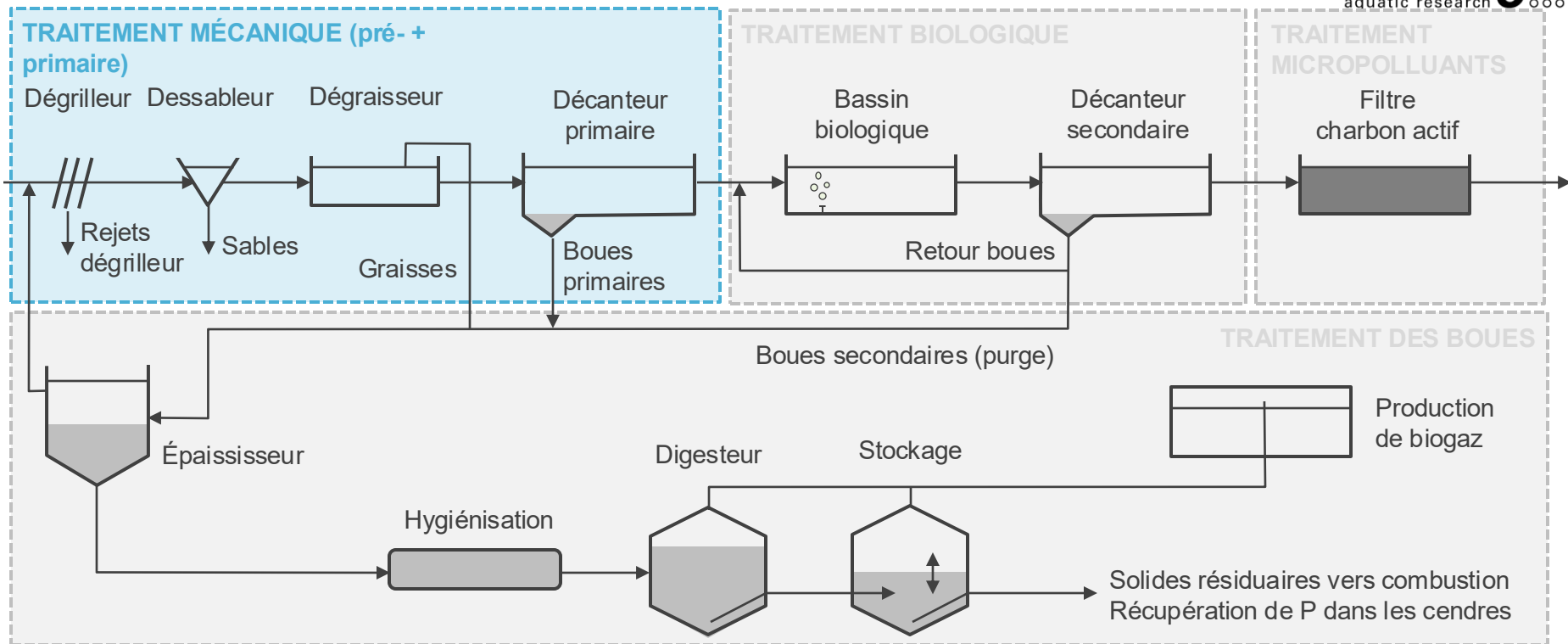
Vrai / Faux

**Quelle est la différence entre DCO soluble et DCO particulaire ? Donner un exemple pour chaque.**

**Citer deux ressources valorisables présentes dans les eaux usées municipales.**



- Connaissance de la chaîne de traitement globale et des différentes étapes du traitement mécanique (ou traitement primaire)
- Objectifs de traitement et efficacité du traitement mécanique (élimination MES, DBO, etc.)
- Connaitre les approches de dimensionnement
  - Désableur
  - Décanteur primaire
- Nouvelles technologies (micro-tamissage)



# EPFL Un siècle de traitement des ERU

TRAITEMENT  
MÉCANIQUE

Année	Polluant ciblé	Impact sur l'environnement
1920	MES	Consommateur d'oxygène, sédimentation
1950	DBO <sub>5</sub>	Consommateur d'oxygène
1965	Phosphore	Eutrophisation
1975	Ammonium	Toxicité pour poissons
1980	Métaux lourds	Accumulation dans les sols
1990	Nitrates	Eutrophisation dans la mer du Nord
2004	Prions	Présence dans les boues de STEP
2010	Micropolluants	Traitement tertiaire

← Si combiné  
avec  
traitement  
physico-  
chimique

ERU = Eaux Résiduaires Urbaines

# Traitement mécanique sur petite STEP

Traitement  
des boues

Traitement  
primaire

Pré-traitement





# Relevage des ERUs

Vis  
d'Archimède



# EPFL Le dégrillage Pourquoi et comment ?

**Objectif** | Éliminer les matières solides les plus grosses qui pourraient :

- (1) Endommager / boucher les autres unités de traitement (obstruction conduites...)
- (2) Diminuer les performances globales / fiabilité du traitement
- (3) Contaminer l'eau

## Types de dégrilleurs

- Pré-dégrillage : > 40 mm
- Dégrillage moyen : 10 à 40 mm
- Dégrillage fin : 6 à 10 mm
- Tamisage : 0,5 à 6 mm

**Gestion des produits de dégrillage** | pressage puis incinération

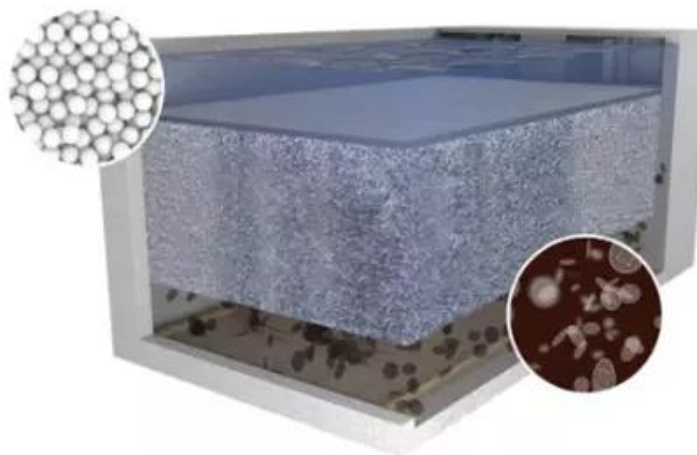
## Membrane Aerated Biofilm Reactor

Membrane polymère = support pour biofilm  
+ aération



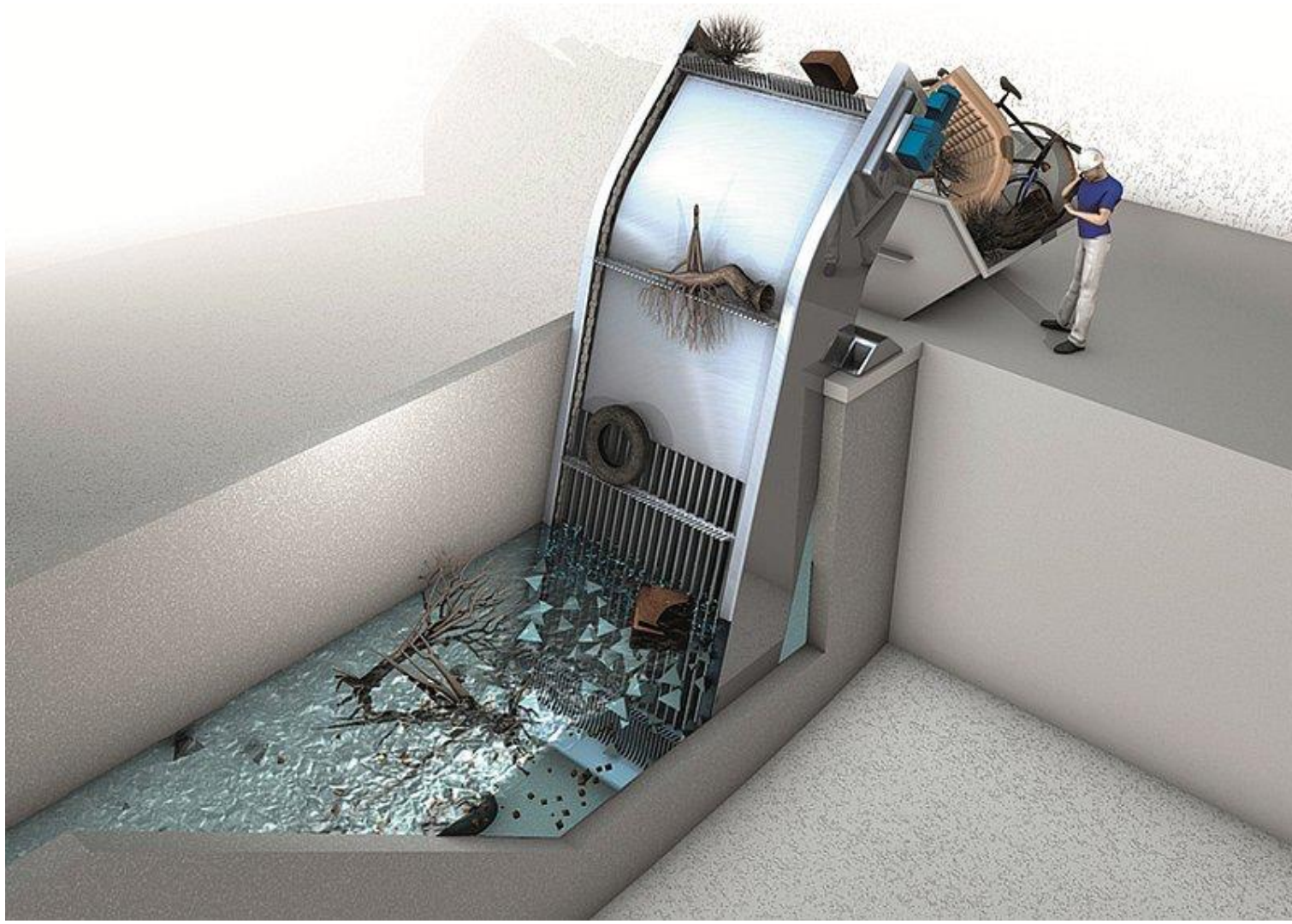
## Biostyr system Veolia.

Problème de colmatage du lit+biofilm filtrant



# Dégrilleurs

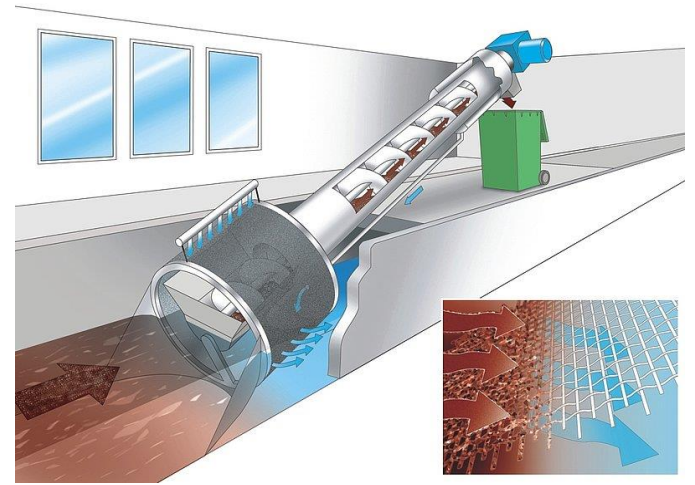
Dégrilleur à  
barreaux avec  
râteau de  
nettoyage  
(entrefer:  
20mm)



# Dégrilleurs

Type dégrilleur fin rotatif (Rotamat de Huber)

Intégration optimisée (dégrillage, lavage, , transport et compactage)



# Produits de dégrillage (grossier)

roches,  
branches,  
morceaux de  
bois, feuilles,  
papier, racines  
d'arbres,  
plastiques,  
bouteilles, boîtes  
de conserve,  
chiffons, etc.



# Lingettes

Lingette, fléau  
des réseaux  
d'assainissement  
/ STEP

« Le 10 octobre 2021, un problème au niveau de la pompe de relevage de la station d'épuration des Argoulets avait été à l'origine d'une **pollution** qui avait causé la mort de dizaines de poissons. »



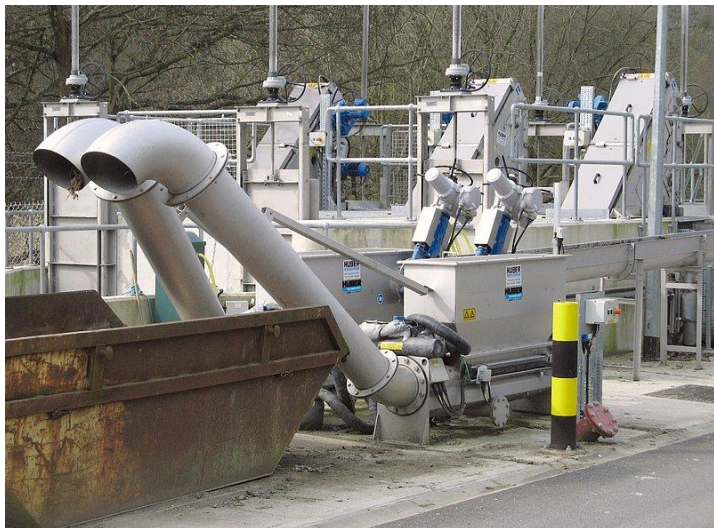
... aussi  
dans les  
refus de  
dégrilleurs



**Principe** | Choisir un écartement des barreaux permettant d'enlever un maximum de déchets solides sans pour autant provoquer un colmatage excessif (→ réduire les interventions manuelles)

**Vitesse de passage entre les barreaux** | 0,5 à 1 m/s (1,2 m/s au débit max.) (*applicable à la section vide des barreaux, i.e., section non-colmatée*)

**Sécurité et santé des exploitants** | Prévoir un système de gestion des déchets permettant d'éviter la prolifération de bactéries pathogènes, d'insectes et la propagation excessive d'odeurs



Technologie de séparation	Écartement (mm)	Production spécifique (m <sup>3</sup> EH <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	
		Avant presse (8% MS)	Après presse (25% MS)
Dégrillage grossier	50	0,003	0,001
Dégrillage fin	15	0,012	0,004
Tamisage	3	0,022	0,007



Siccité (%) = matières sèches. Exprimée en % (masse / masse)

La STEP de Sihltal (capacité : **30'000 EH**) est équipée d'un système de **dégrillage à 15 mm** dont les refus (siccité de 8%) partent vers une presse permettant d'atteindre une **siccité de 30%**. Un équivalent habitant produit env.  $1,2 \text{ kg}_{\text{MS}}/\text{an}/\text{EH}$  de refus > 15 mm.

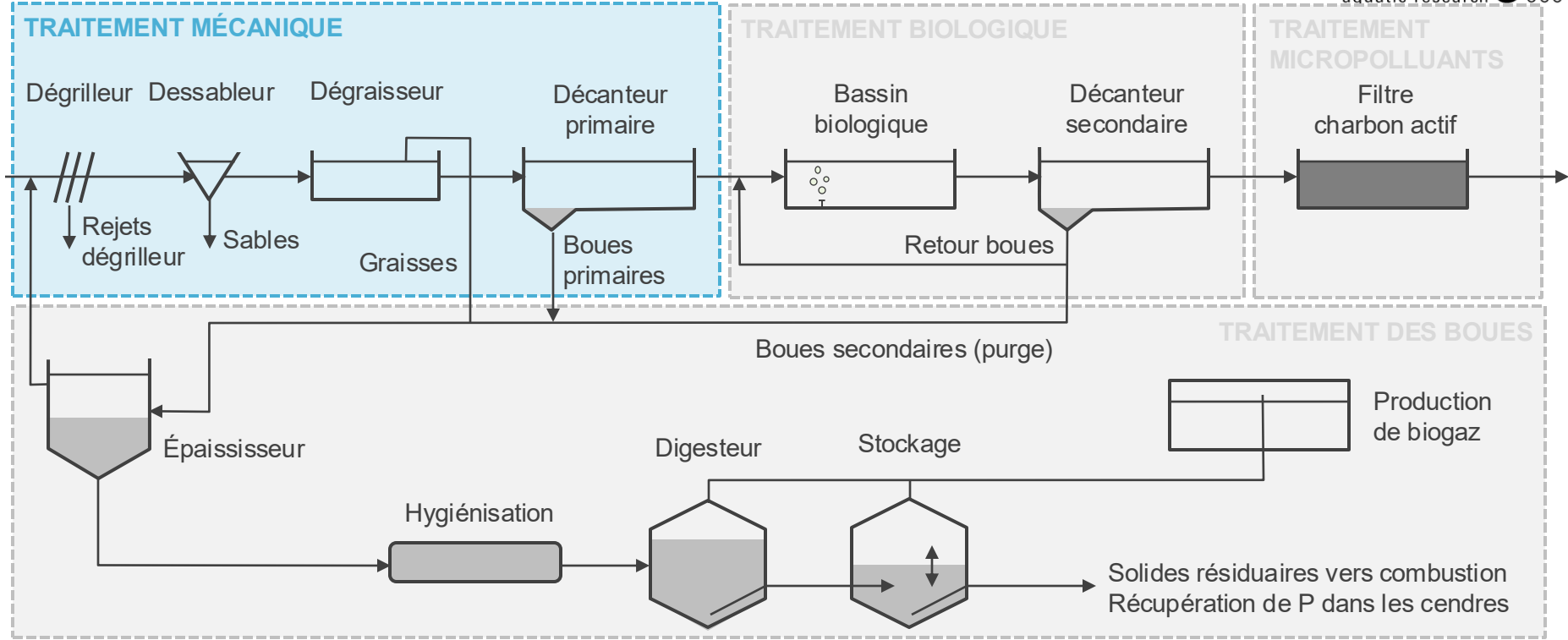
**Q1. Calculer la masse de déchets avant et après pressage**

**Q2. Calculer les coûts associés au traitement de ces refus (pour la STEP et par EH)?**

Donnée: 600 CHF / tonne de refus

Production (masse) de refus / an /EH:	1,2 kgMS / an / EH 36 tonnes MS / an pour 30 000 EH
Production de refus / an / EH: (à 8% de siccité)	15 kg / an / EH 450 tonnes / an pour 30 000 EH
Production de refus / an / EH: (à 30% de siccité)	4 kg / an / EH 120 tonnes / an pour 30 000 EH
Coûts:	
Sans presse	9 CHF / an / EH 270 000 CHF / an pour 30 000 EH
Avec presse	2,4 CHF / an / EH 72 000 CHF / an pour 30 000 EH

# EPFL La station d'épuration (STEP)







# EPFL Le dessablage Pourquoi et comment ?

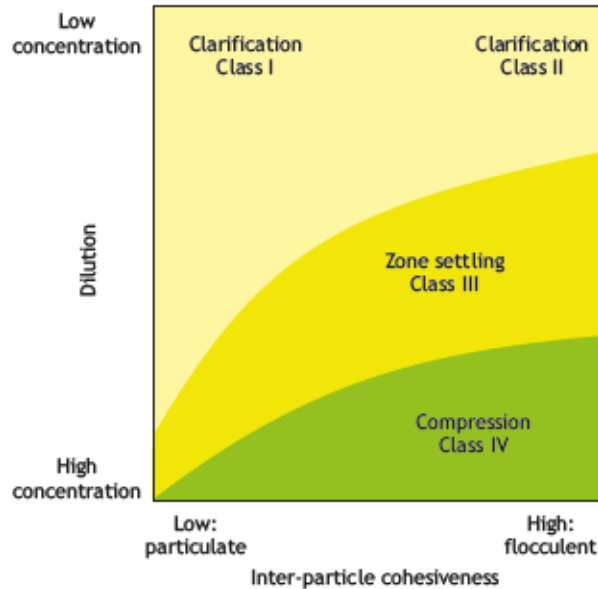
**Objectif** | Extraire les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines par décantation (sans extraire les matières organiques) pour :

- (1) Minimiser l'encrassement des canalisations
- (2) Éviter l'abrasion des pompes
- (3) Minimiser les matières minérales dans les boues primaires

**Dimensionnement** | 100% de rétention du sable (vitesse de sédimentation  $v_s > 0,01$  m/s) et 100% de passage de particules organiques à travers le dessableur (vitesse d'écoulement  $v_e = 0,3$  m/s. TSH: env. 1 min.)

**Domaine d'application** | Se limite généralement aux particules  $> 200 \mu\text{m}$

**Efficacité** | rendement d'élimination des sables  $> 95\%$

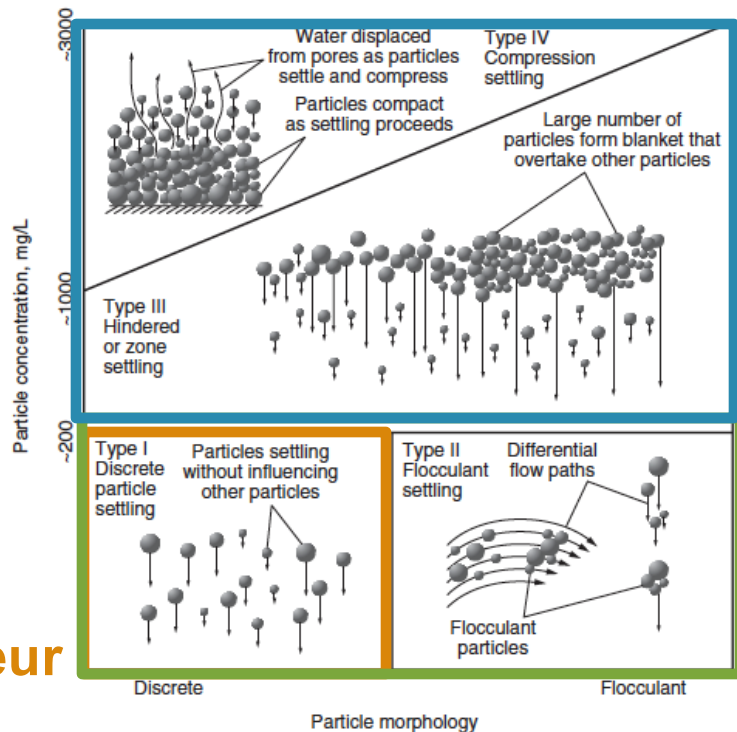


**Type I: discrete particle settling** sédimentation de particules individuelles sans interactions entre elles

**Type II: flocculant settling** sédimentation de particules flocculées – interactions entre particules

**Type III: hindered settling** concentration élevée en particules flocculées, qui forment un lit de boue, celui-ci interceptant d'autres particules

**Type IV: compression settling** compaction du lit de boue, entraînant le déplacement ascendant du surnageant)

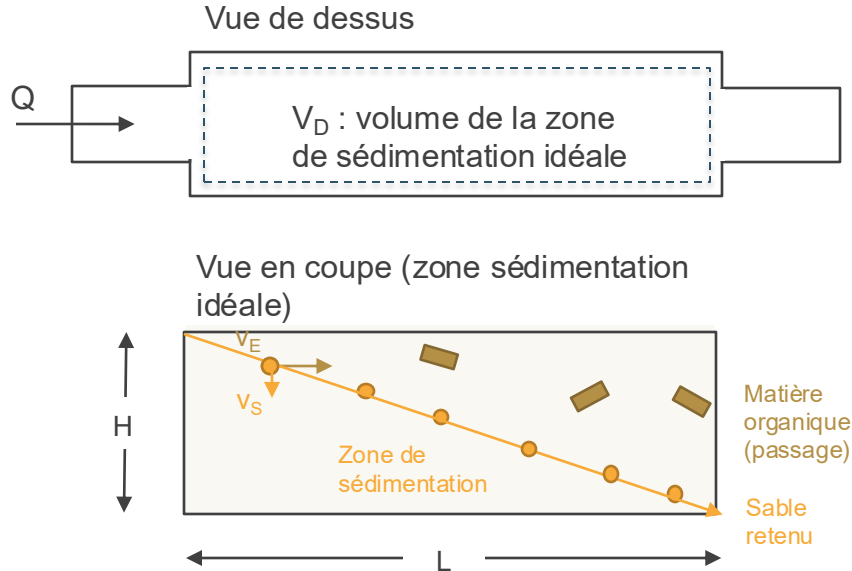


Décanteur  
secondaire

Décanteur  
primaire

Dessableur

### Comment déterminer les dimensions d'un dessableur (L x l x H) ?



## HYPOTHÈSES

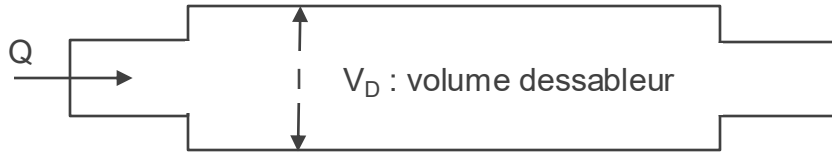
- Solides répartis uniformément sur la section d'écoulement
- Écoulement de type piston
- Solides sphériques / pas de floculation (sédimentation particules individuelles)
- Vitesse d'écoulement constante sur l'horizontale
- Solides sédimentés ne sont pas remis en suspension.

# EPFL Le dessablage

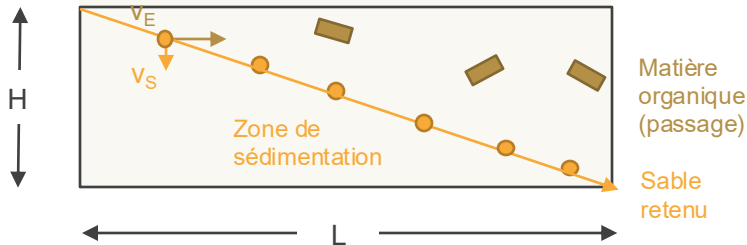
## Dimensionnement

Comment déterminer les dimensions  
d'un dessableur (L x l x H) ?

Vue de dessus



Vue en coupe



**Condition #1 Temps de sédimentation ( $t_S$ ) inférieur ou égal au temps de séjour hydraulique ( $t_{SH}$ )**

$$t_S \leq t_{SH} \text{ et } v_S = 0,01 \text{ m/s}$$

$$t_{SH} = \frac{L \times l \times H}{Q} \quad \text{et} \quad t_S = \frac{H}{v_S} \quad \longrightarrow \quad v_S \geq \frac{Q}{L \times l} = v_C$$

$v_C$  : vitesse critique de sédimentation (pour qu'une particule qui arrive à la hauteur H soit retenue juste avant sa sortie du décanteur =  $H / t_{SH}$  = charge surfacique dessableur |  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ )

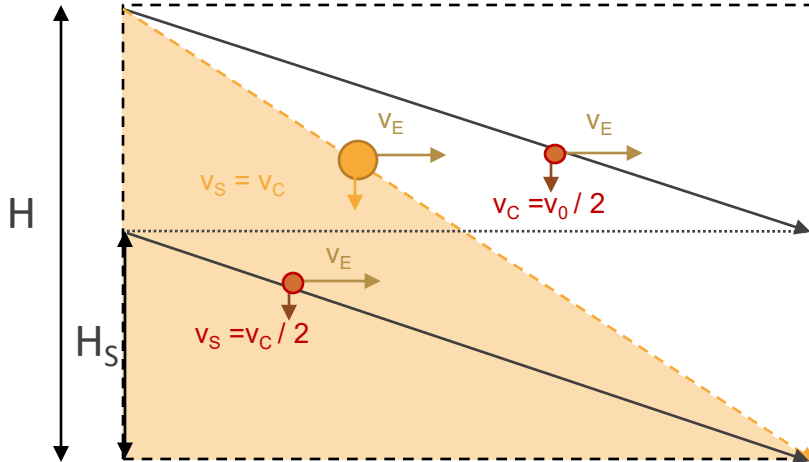
**Condition #2 Vitesse d'écoulement ( $v_E$ ) = 0,3 m/s**

$$v_E = \frac{Q}{l \times H} = 0,3 \text{ m/s}$$

**Condition #3 Ratio entre la longueur et la largeur**

$$L = 10 l$$

Exemple pour particules avec  $V_S = V_0 / 2$   
dans zone sédimentation idéale



$V_S = V_C / 2 \rightarrow$  50% des particules sont éliminées

Population de particules avec différentes  $V_S$ :

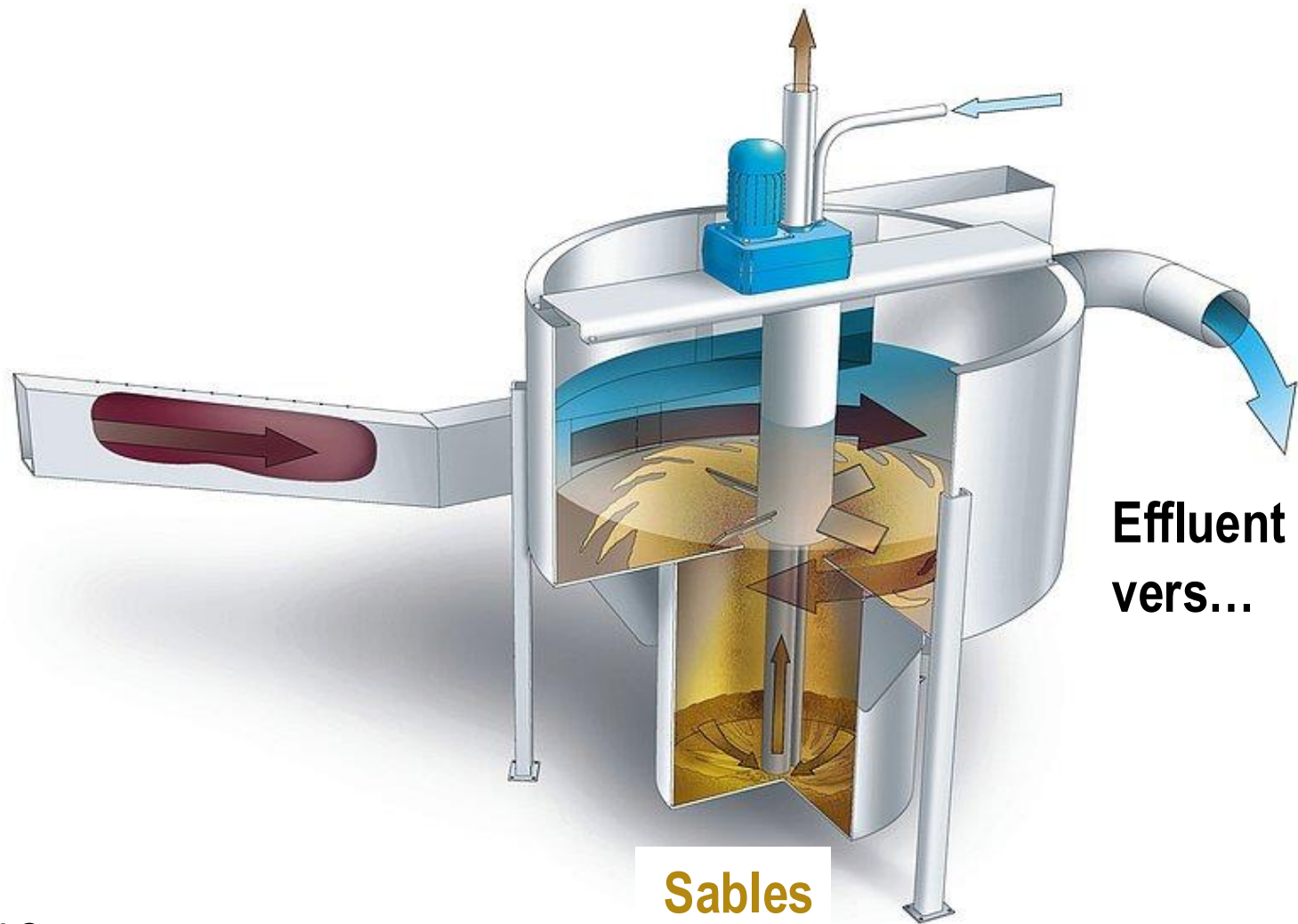
$$\text{Fraction éliminée (total)} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_{n_i}}{V_C} (n_i)}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

$V_{n_i}$  : la vitesse moyenne de sédimentation dans la classe de vitesse  $i$

$n_i$  : le nombre de particules dans la classe  $i$

# Dessableur circulaire

Eaux  
usées



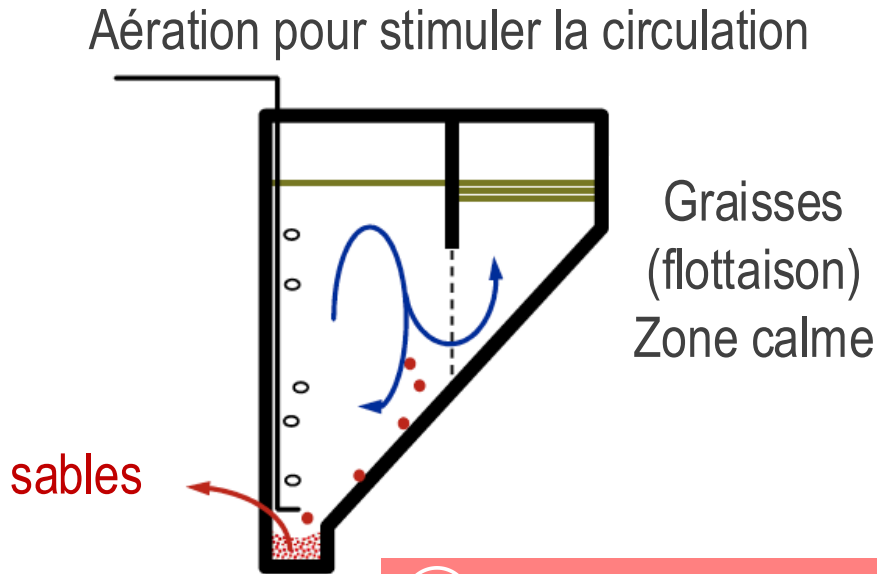
Effluent  
vers...

Sables

# Dessableur circulaire



# Dessableur- dégraisseur



Oxygénation → dégradation de  
BOD<sub>5</sub>

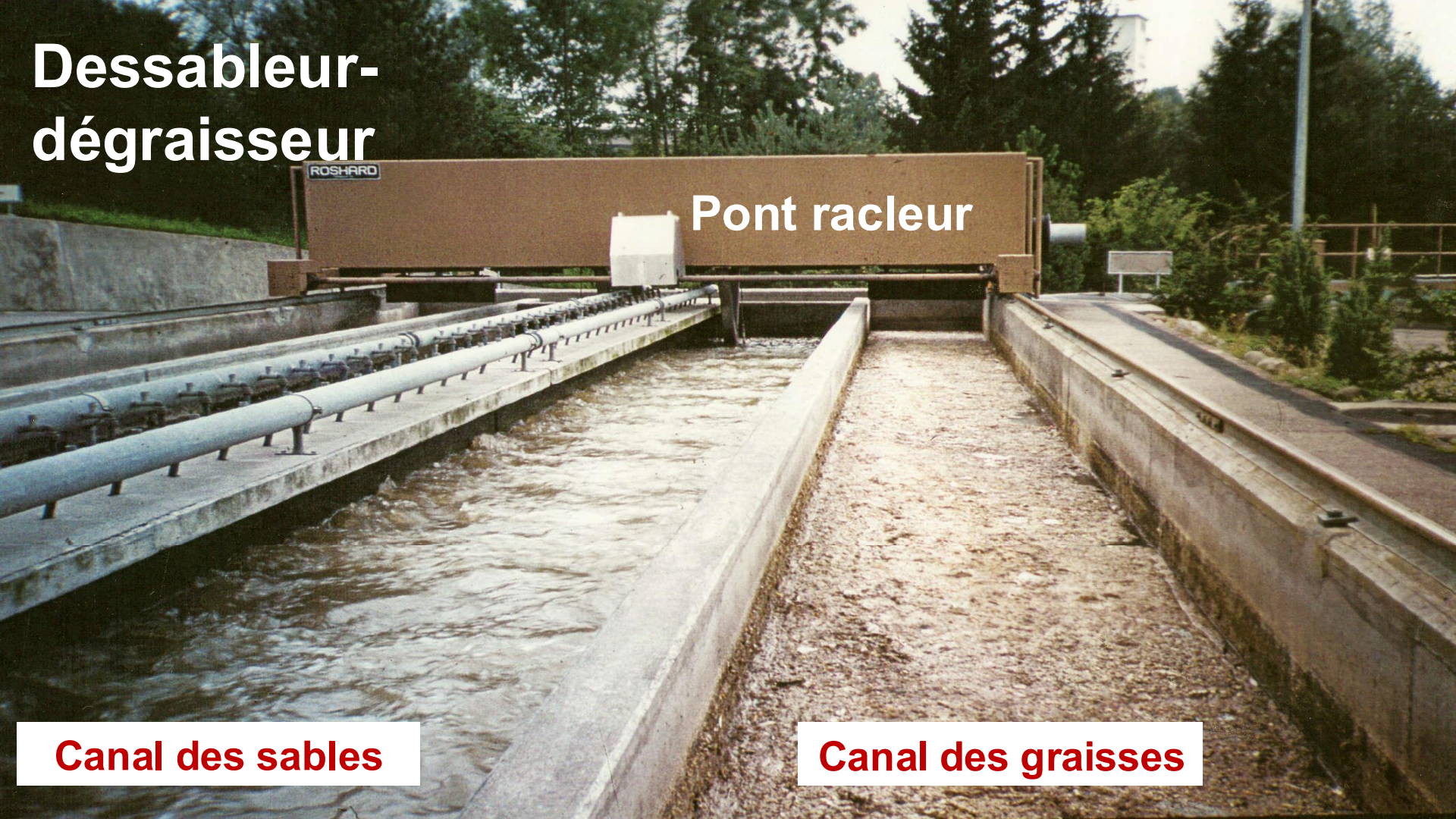


# Dessableur- dégraisseur

Pont racleur

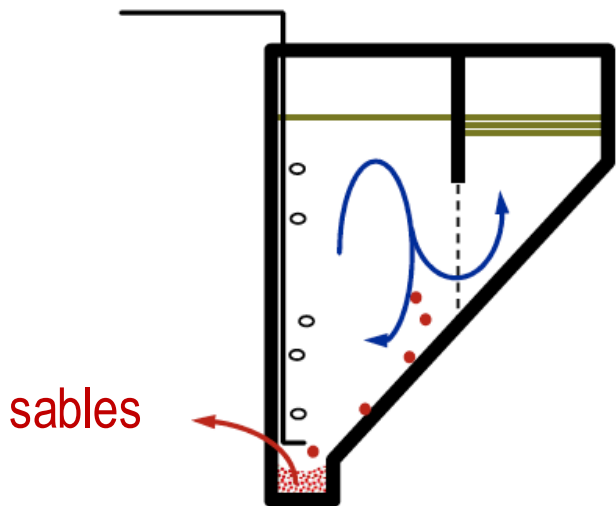
Canal des sables

Canal des graisses

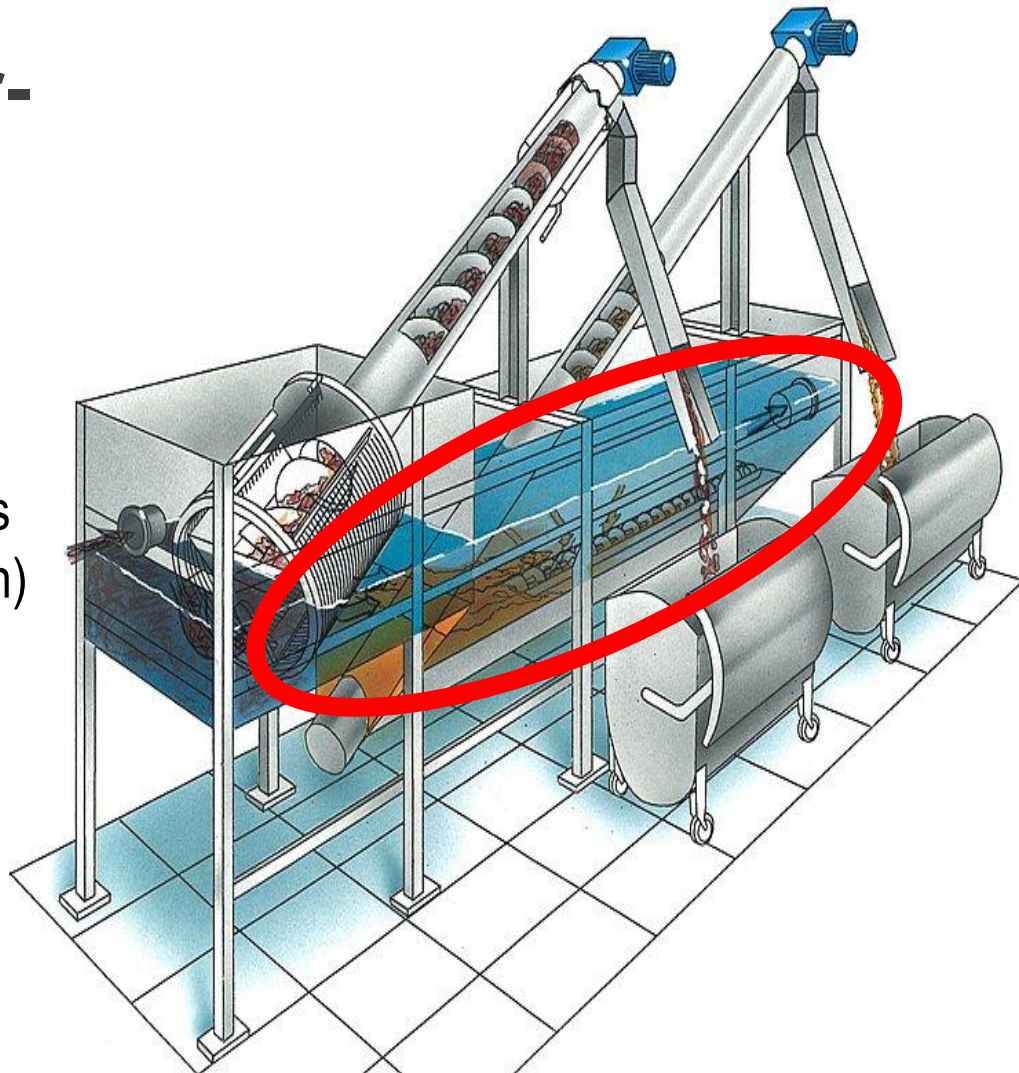


# Dégrilleur-Dessableur-dégraisseur

Aération pour stimuler la circulation



Graisses  
(flottaison)

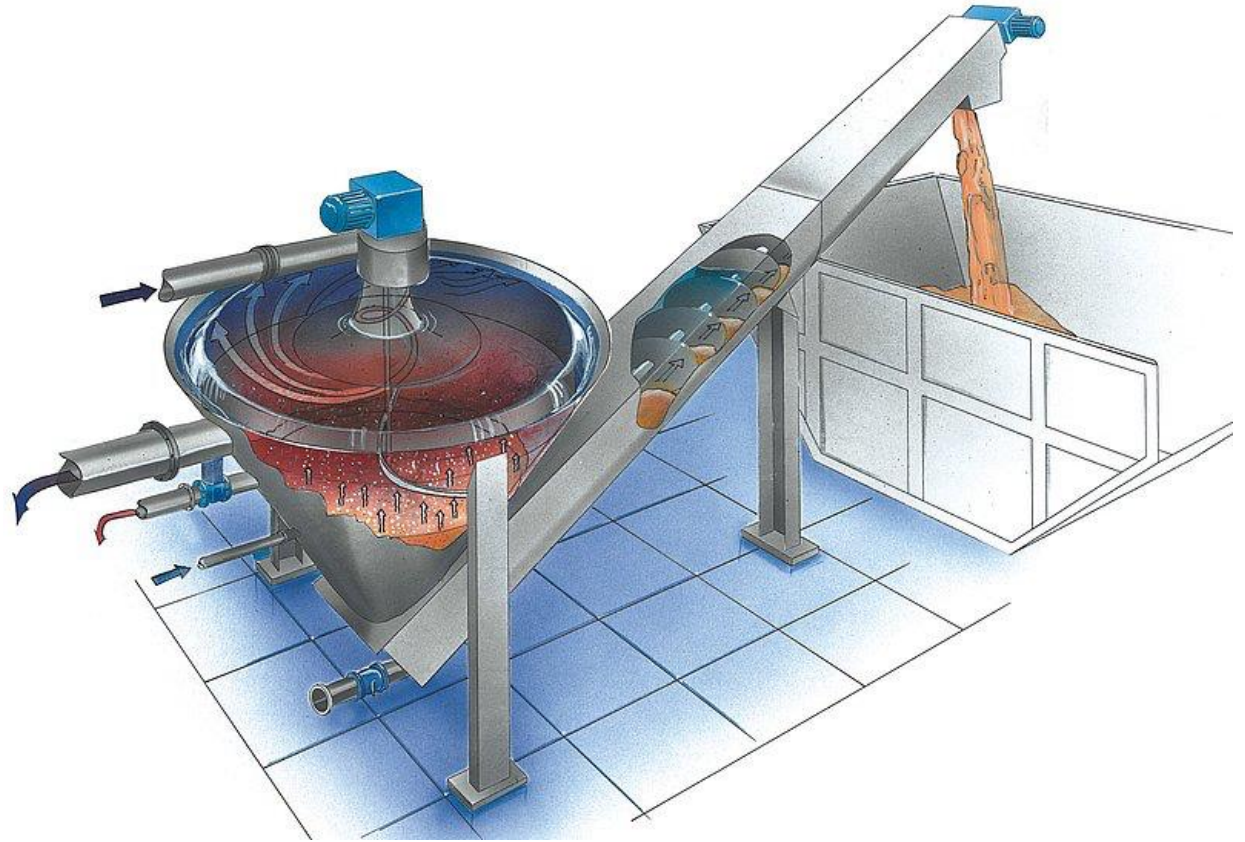


# Nettoyage des sables

élimination de la matière  
organique piégée

éviter odeurs, éviter  
d'attirer insectes /  
rongeurs

Atteindre une faible  
concentration en MVS (<  
qq %)



# Nettoyage des sables



# Nettoyage des sables



# EPFL Le dessablage

## *Valorisation des sables*

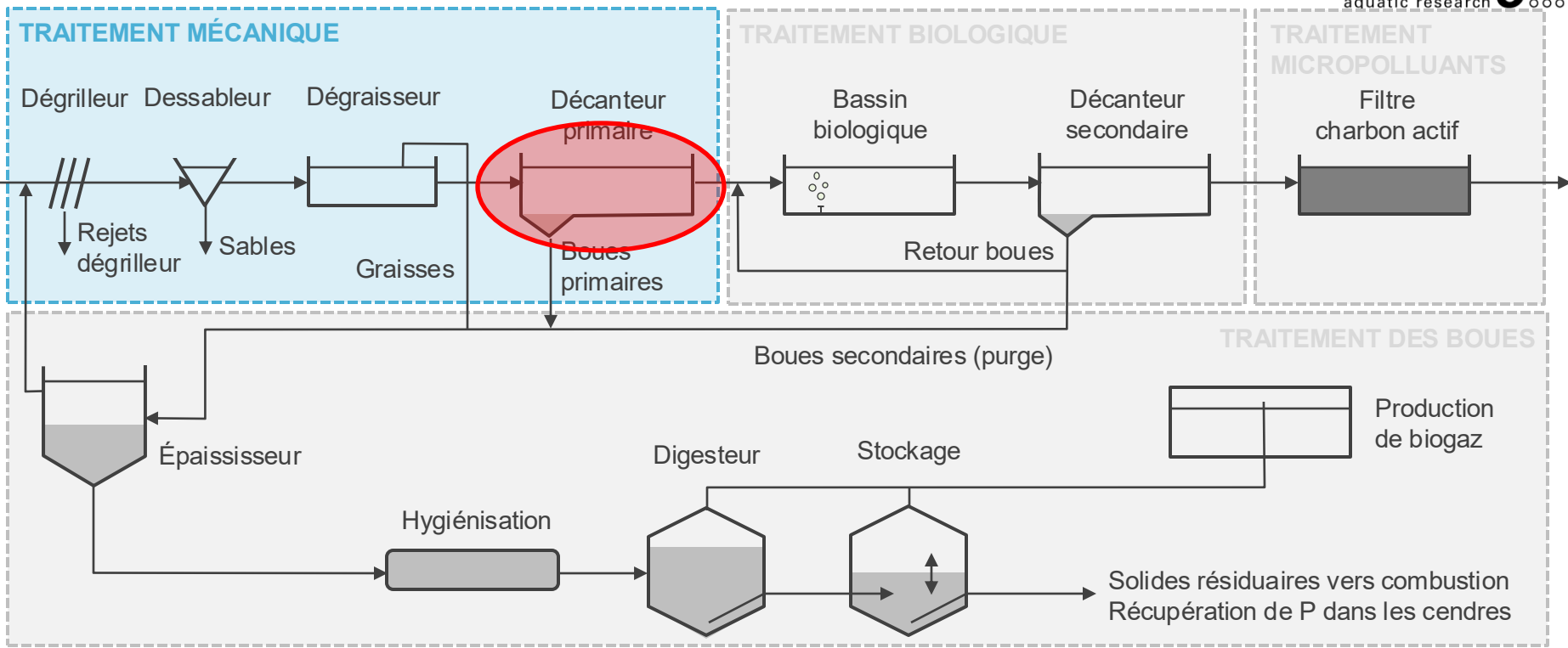
Sables avec une teneur  
en matières organiques  
inférieures à 3%

0,1 - 3 kg / EH / an

STEP 250 000 EH aux Pays-  
Bas: 840 tonnes de sables /  
an (source: STOWA)

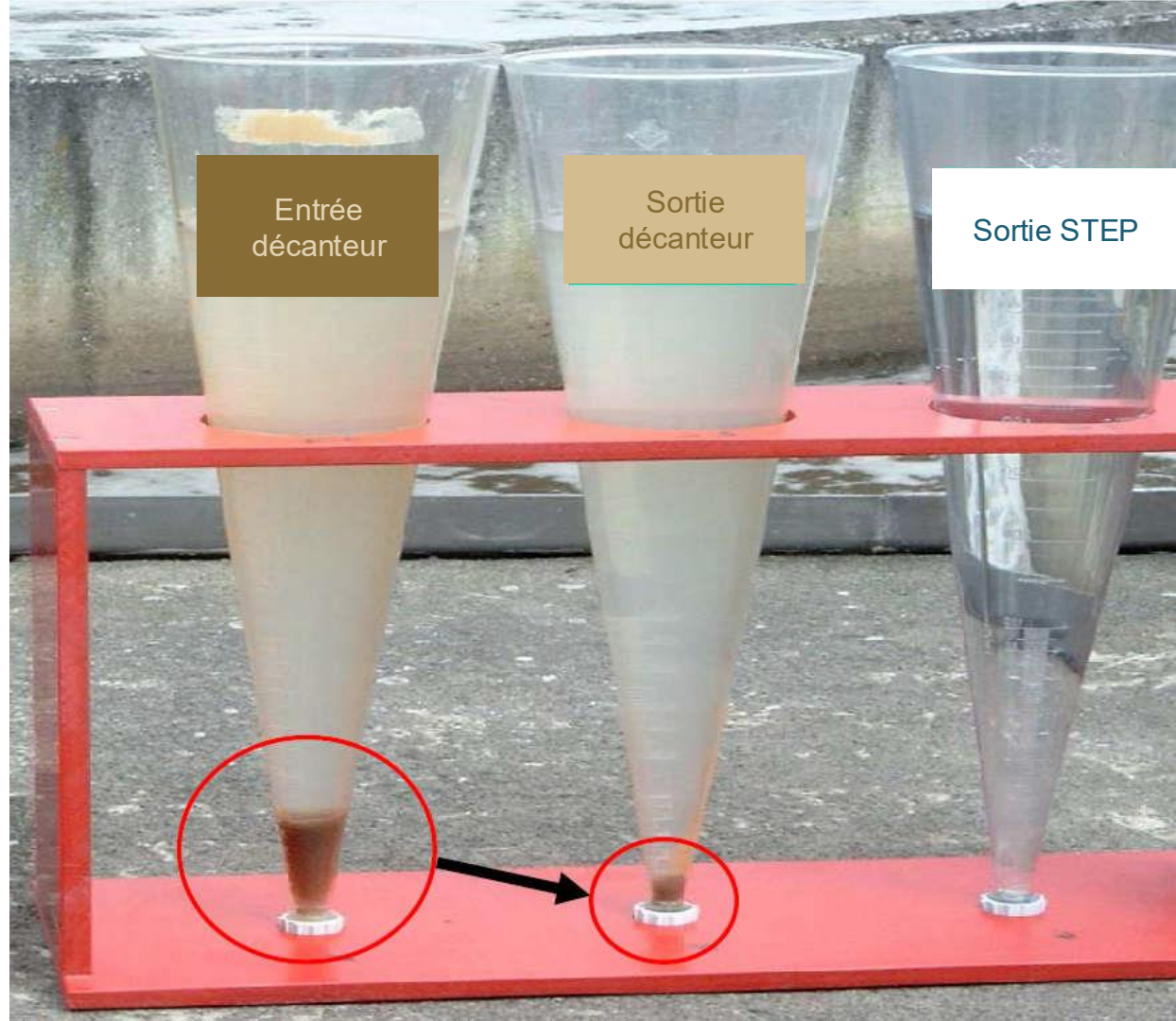


# EPFL La station d'épuration (STEP)



# Le décanteur primaire

*Pourquoi et comment ?*



**Objectif** | Éliminer les matières facilement décantables pour :

- (1) Minimiser les dysfonctionnements causés par les matières particulaires
- (2) réduire la consommation d'O<sub>2</sub> lors du traitement biologique
- (3) augmenter la production de biogaz en retirant un maximum de matières organiques
- (4) Ne pas avoir une élimination trop poussée
  - Sédimentation des boues secondaires (boues biologiques)
  - Dénitrification

**Conditions recommandées** | décanteur circulaire avec une vitesse de sédimentation ( $v_s$ ) entre 1,5 et 2 m/h en vitesse moyenne et 4 m/h en vitesse de pointe avec un temps de séjour hydraulique de 0,5 à 2,5 h (valeur typique 1,5 m/h)

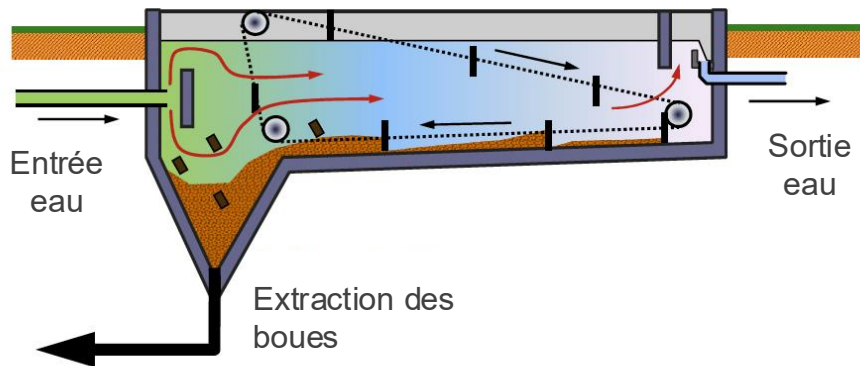


$V_s$  de 0,01 m/s pour un dessableur (36 m/h) contre 1,5-2 m/h pour un décanteur primaire

# EPFL Le décanteur primaire

## *Le décanteur rectangulaire*

Décanteur primaire avec racleur à chaînes



**Avantage** : surface au sol plus faible et meilleure intégration à la chaîne de traitement

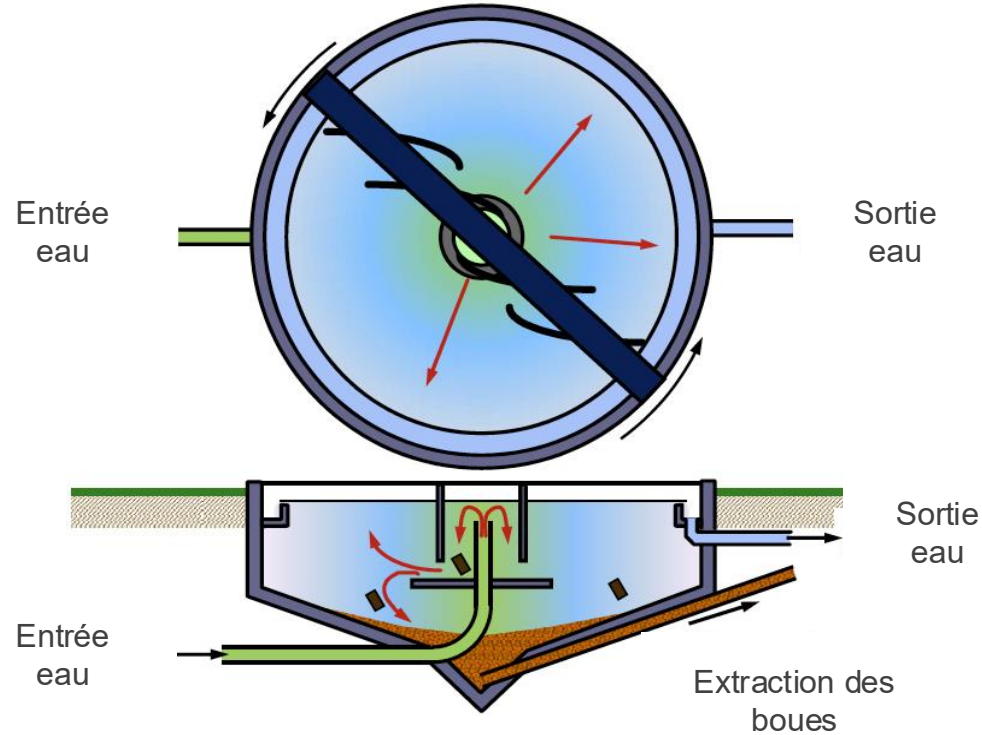
**Inconvénient** : moins économiques



# EPFL Le décanteur primaire

## *Le décanteur rectangulaire*





**Etape #1** Déterminer la profondeur (H)

A. Sélectionner une charge surfacique ( $v_C$ ) adaptée et calculer l'aire du bassin de décantation

$$v_S > v_C \quad \text{et} \quad v_C = \frac{Q}{A_D}$$

B. Sélection un temps de séjour hydraulique ( $t_{SH}$ ) adapté et calculer la profondeur du bassin de décantation (H)

$$t_{SH} = \frac{A_D H}{Q}$$

Sans autres informations, on utilisera le percentile 80% pour déterminer le débit de dimensionnement (Q)

**Etape #2** Déterminer la largeur (l)

Sélectionner une vitesse d'écoulement adaptée ( $v_E$ )

$$v_E = \frac{Q_{MAX}}{l \times H} \leq 0,05 \text{ m/s}$$

Pour rappel  
0,3 m/s pour les sables

**Etape #3** Déterminer la longueur (L)

Utiliser l'aire du décanteur ( $A_D$ ) et la largeur (l) et vérifier que  $L \geq 8 l$

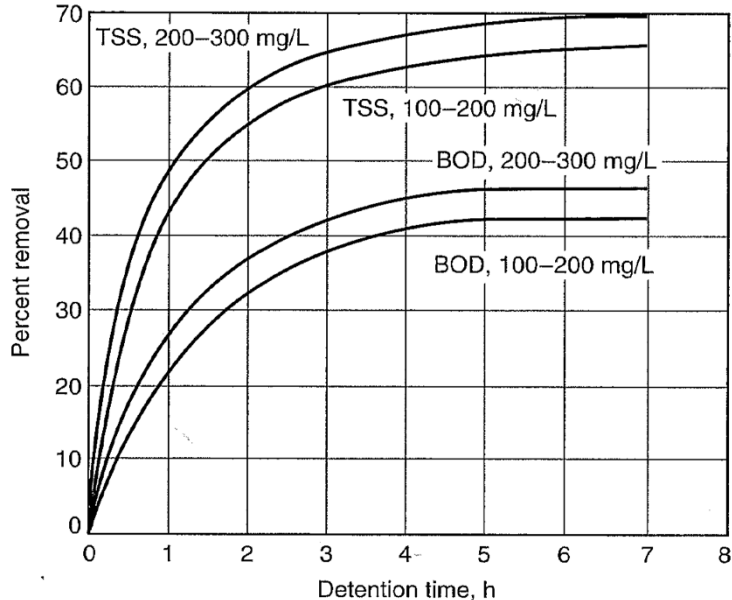
Ajuster  $v_E$  pour avoir un ratio L/l supérieur à 8

## Décanteur primaire rectangulaire

	Unité	Gamme de valeurs	Valeur typique
<b>Temps de séjour hydraulique   <math>t_{SH}</math></b>	H	1,5 – 2,5	2,0
<b>Charge surfacique   <math>v_C</math></b>	$m^3/(m^2/h)$	1,3 – 2,1	1,7
<b>Charge surfacique limite   <math>v_L</math></b>	$m^3/(m^2/h)$	5 – 20	10
<b>Vitesse d'écoulement   <math>v_E</math></b>	m/s	0,01 – 0,02	0,015
<b>Profondeur   H</b>	m	3 – 4,9	4,3
<b>Longueur   L</b>	m	15 – 90	24 – 90
<b>Largeur   l</b>	m	3 – 24	4,9 – 9,8

# EPFL Le décanteur primaire Calcul de performances

**Élimination des MES et de la DBO<sub>5</sub>**  
Dépendance du temps de séjour hydraulique  
et de la concentration dans l'ERU | Greeley (1938)



**Calcul empirique de l'élimination des MES et de la DBO<sub>5</sub>**  
Equation de Crites et Tchobanoglous | 1998

$$\% \text{ élimination} = \frac{t_{SH}}{a + b * t_{SH}}$$

**MES** |  $a = 0,0075$  et  $b = 0,014$

**DBO<sub>5</sub>** |  $a = 0,018$  et  $b = 0,020$



L'élimination de l'azote Kjeldal (NTK) et du phosphore total ( $P_{tot}$ ) est estimée à 10% quel que soit le temps de séjour hydraulique

# EPFL Feuille de route « Traitements des ERUs »

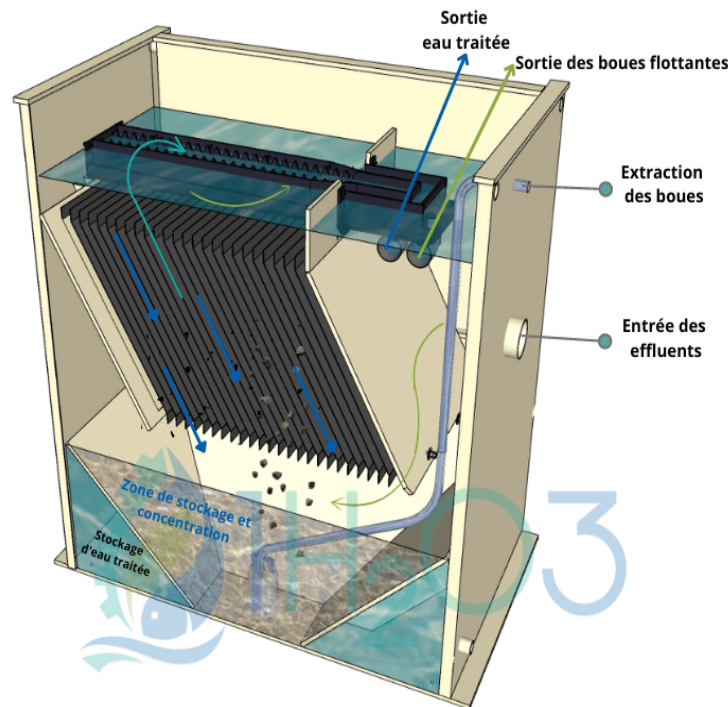
Catégorie	Paramètres	Unité	ERU	Valeurs relevées après			
				DP (2h)	BA (3 j)	BA (10 j)	TT
Solides	MES	mg/L	250	109			15
Pollution organique	DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	230	151			15
	DCO	mgO <sub>2</sub> /L	500	327			45
Pollution azotée	NTK	mgN/L	30	27			3
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mgN/L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

Eau usée circule à travers n-lamelles = augmentation de surface

Augmente la taille de particules (floculation) / interception

Diminuer la hauteur de sédimentation

$V_C$ : 3,8-7,5 m/h



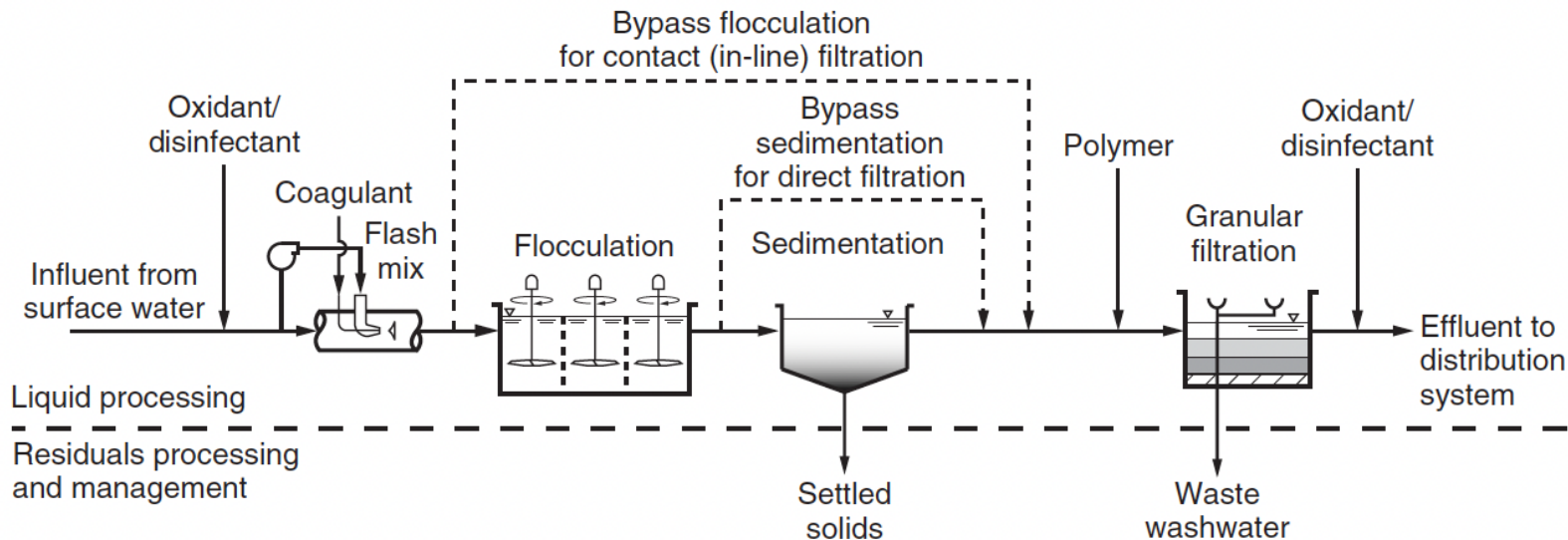
**Objectifs:** augmenter la séparation des solides (MES) et la précipitation du phosphore.

Ajout de **coagulants/floculants** (souvent des sels de fer ou d'aluminium, éventuellement polymères pétro- ou bio-sourcés)

Coagulant: réaction rapide dans réacteur très agité

Floculant: réaction lente dans réacteur peu agité

Décanteur primaire similaire à décanteur primaire sans ajout de coag./floc.



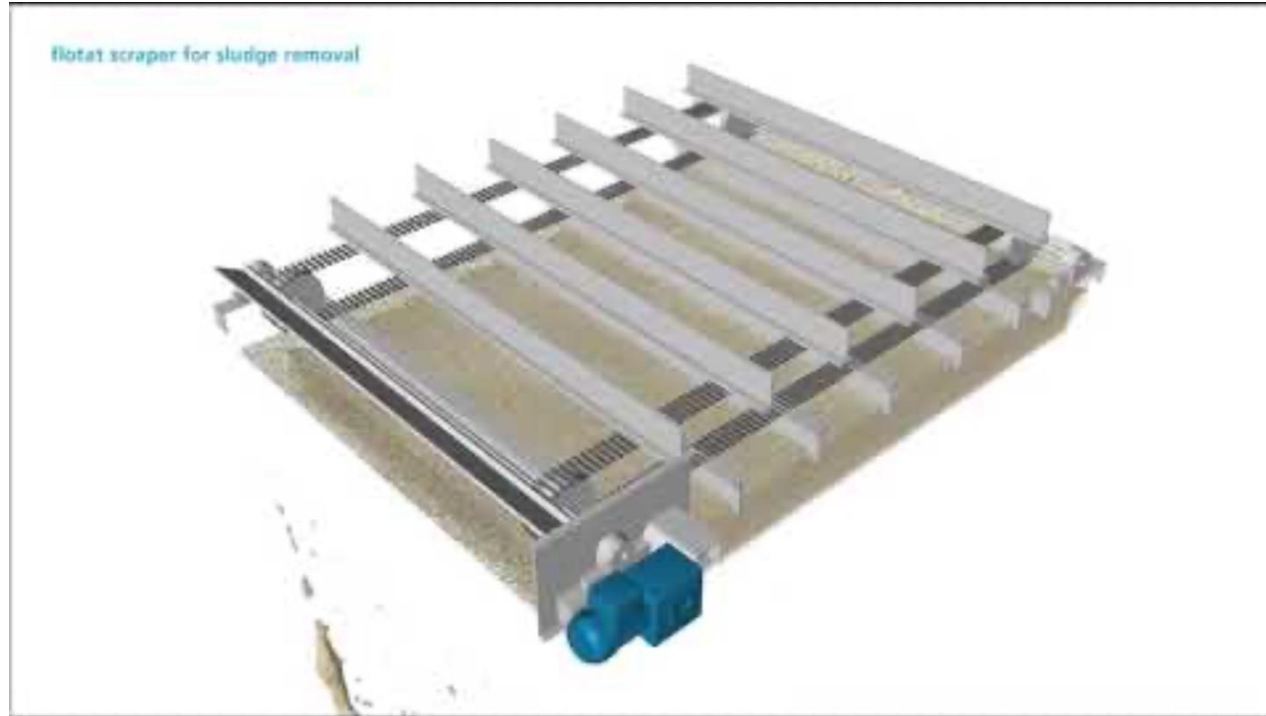
Efficacité d'élimination [%]					Dosage	Concentration boues
MES	DCO	DBO <sub>5</sub>	N <sub>tot</sub>	P <sub>tot</sub>	[mg/L]	[g/L]
80 - 90	55 - 75	40 - 80	10 - 20	60 - 80	20 – 60 (coagulant) 0,2 – 2 (floculant)	1,3 – 2,1

**Objectif** | Augmenter les rendements d'élimination des particules ayant une faible vitesse de décantation en ajoutant de l'air dissous et en faisant flotter les MES

**Implications techniques** | Nécessite l'injection de 30 L d'air dissous @ 1 bar par m<sup>3</sup> d'eau à traiter

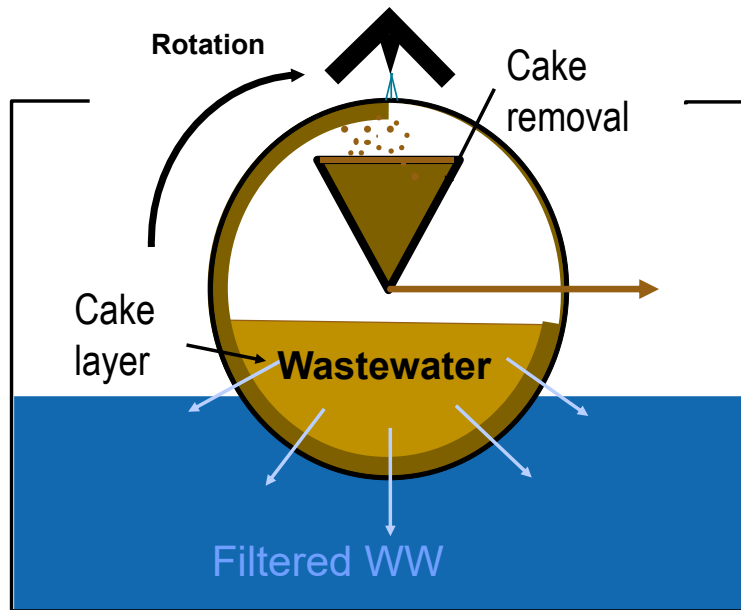
**Problématique** | Peut oxyder certaines matières

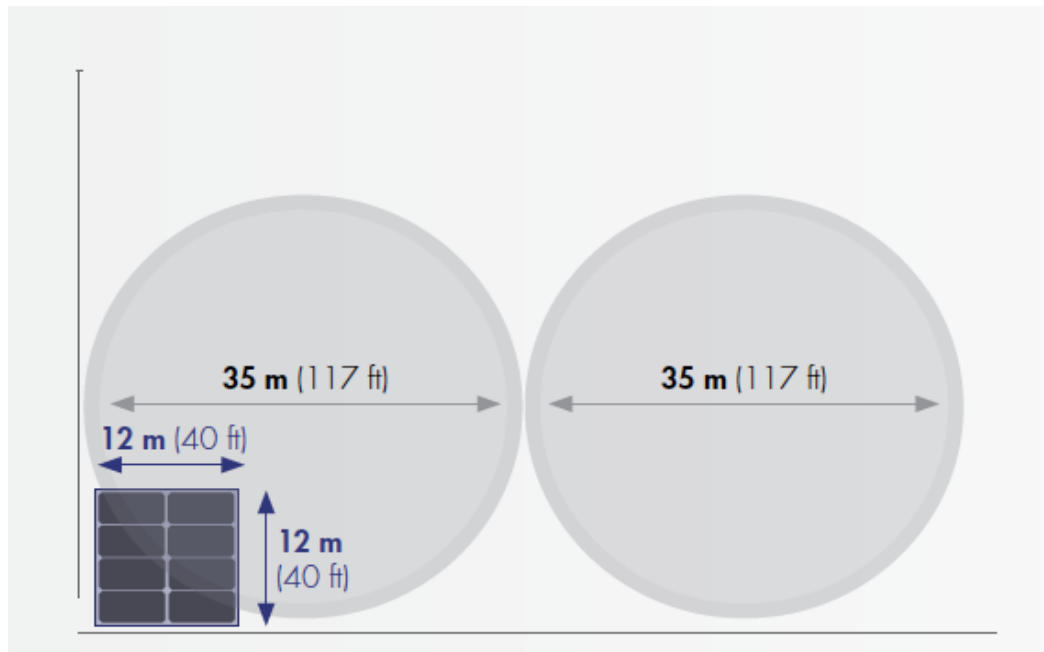
# EPFL Flottation à air dissous



# EPFL Flottation à air dissous Conditions et efficacité

Dosage coagulant	Efficacité d'élimination [%]					Concentration boues
	MES	DCO	DBO <sub>5</sub>	N <sub>tot</sub>	P <sub>tot</sub>	[g/L]
sans	32 - 82	71	51	44	53	-
avec	80 - 90	30 - 84	-	-	92 - 96	environ 6,5





2 décanteurs primaires vs 3 filtres à bandes SF6000 Salsnes®

Débit moyen: 1650 m<sup>3</sup>/h

Charges:

- Décanteur primaire: env. 1900 m<sup>2</sup> → **0.9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h**
- Filtres à bande: env. 150 m<sup>2</sup> → **11 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h**

Charge hydraulique **10-20 fois supérieure** à celle d'un décanteur primaire: 1-2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h.

# STEP de Sihltal (Zürich)

pas d'espace

besoin  
traitement  
primaire  
compacte

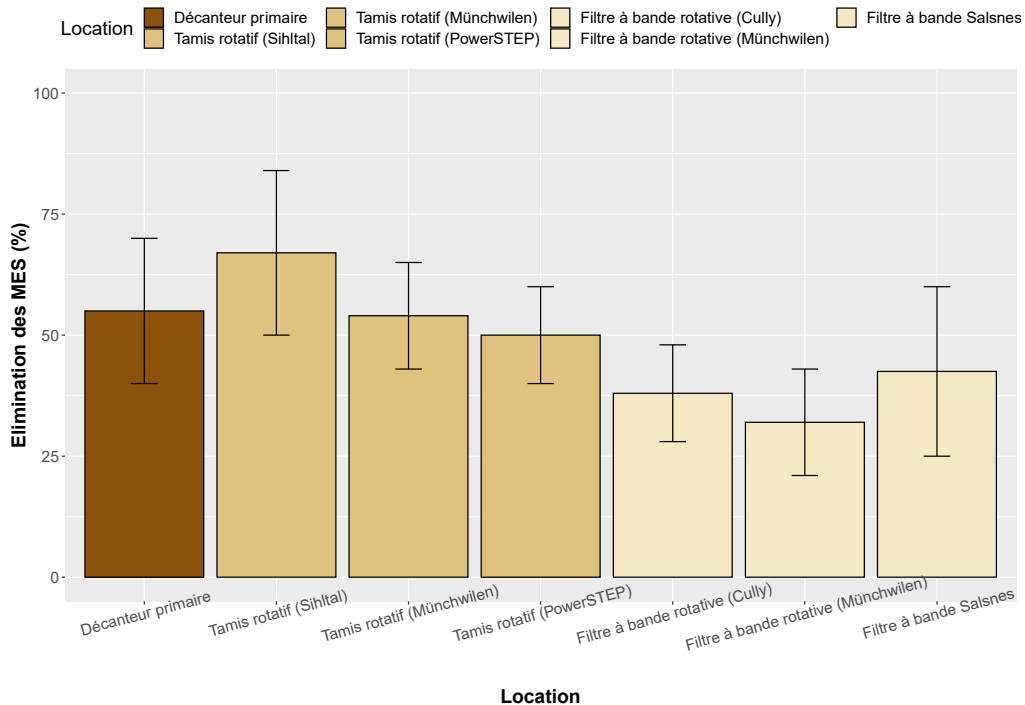


# Micro-tamis

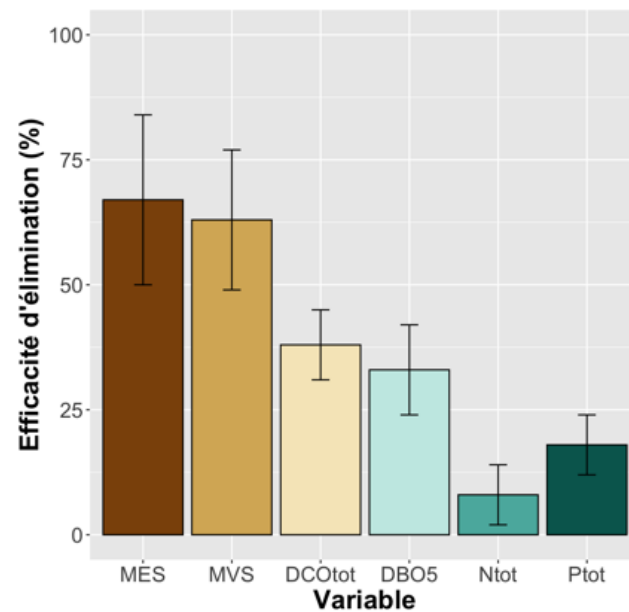
## Intégration

*STEP de Sihltal  
(Zürich)*





### Tambour Rotatif STEP de Sihtal

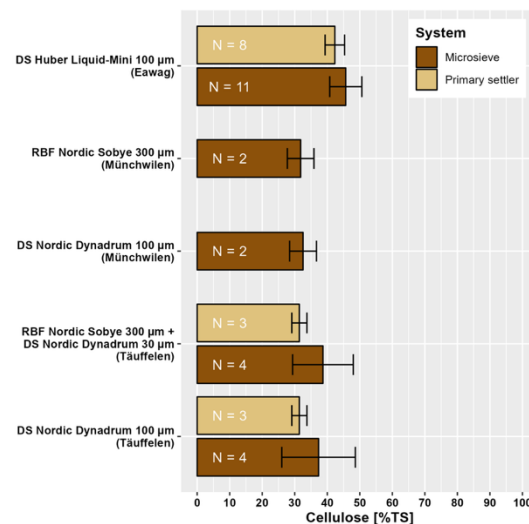


**Table 8.1** Per capita consumption of toilet paper in the United States, China, Japan, Western Europe, Latin America, and Africa (Li *et al.*, 2020).

Country/region	Estimated per capita consumption of toilet paper (kg) (2017 data)
United States	≈23
China	≈3
Japan	≈11
Western Europe	≈10–13
Latin America	≈4
Africa	≈0.4

**Cellulose des eaux usées**  
30 % des MES, 25-40 de la DCO

## Cellulose dans les boues primaires



Sources :

Ahmed A. S., Bahreini G., Ho D., Sridhar G., Gupta M., Wessels C., Marcelis P., Elbeshbishy E., Rosso D., Santoro D. and Nakhla G. (2019). Fate of cellulose in primary and secondary treatment at municipal water resource recovery facilities. *Water Environment Research*, 91, 1479–1489.

<https://doi.org/10.1002/wer.1145>

Procédés IntenSieve +  
CellCap® (CirTec)



Tamissage et séparation  
cellulose/autres résidus  
(cheveux, graines, etc.)

Cellulose après séchage



Réutilisation de la cellulose



Asphalte, optimisation de  
séchage des boues, production  
de bioplastiques