

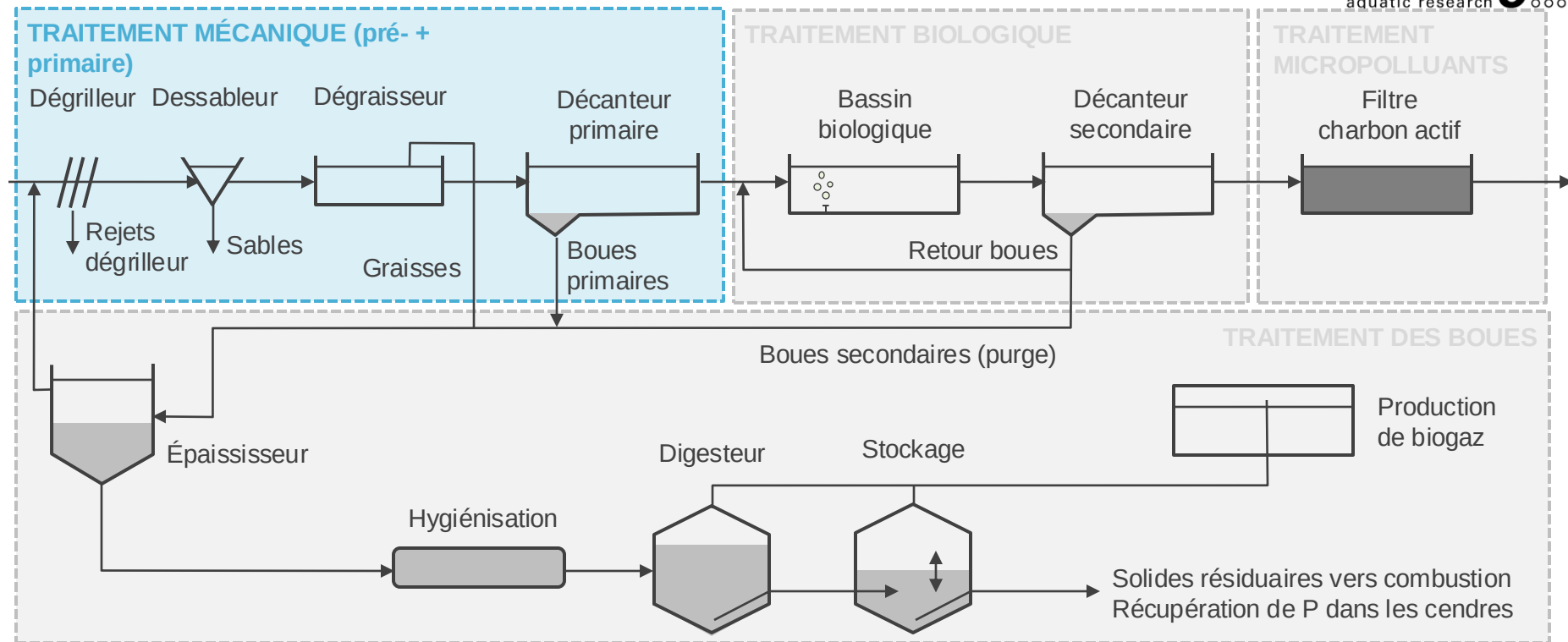
Traitement et Valorisation des Eaux et des Déchets (ENV.304)

Cours Traitements mécaniques

Nico Derlon | 28.11.2024

- 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, etc.)
- Connaître les approches de dimensionnement
 - Dessableur
 - Décanteur primaire
- Nouvelles technologies (micro-tamissage)

EPFL La station d'épuration (STEP)



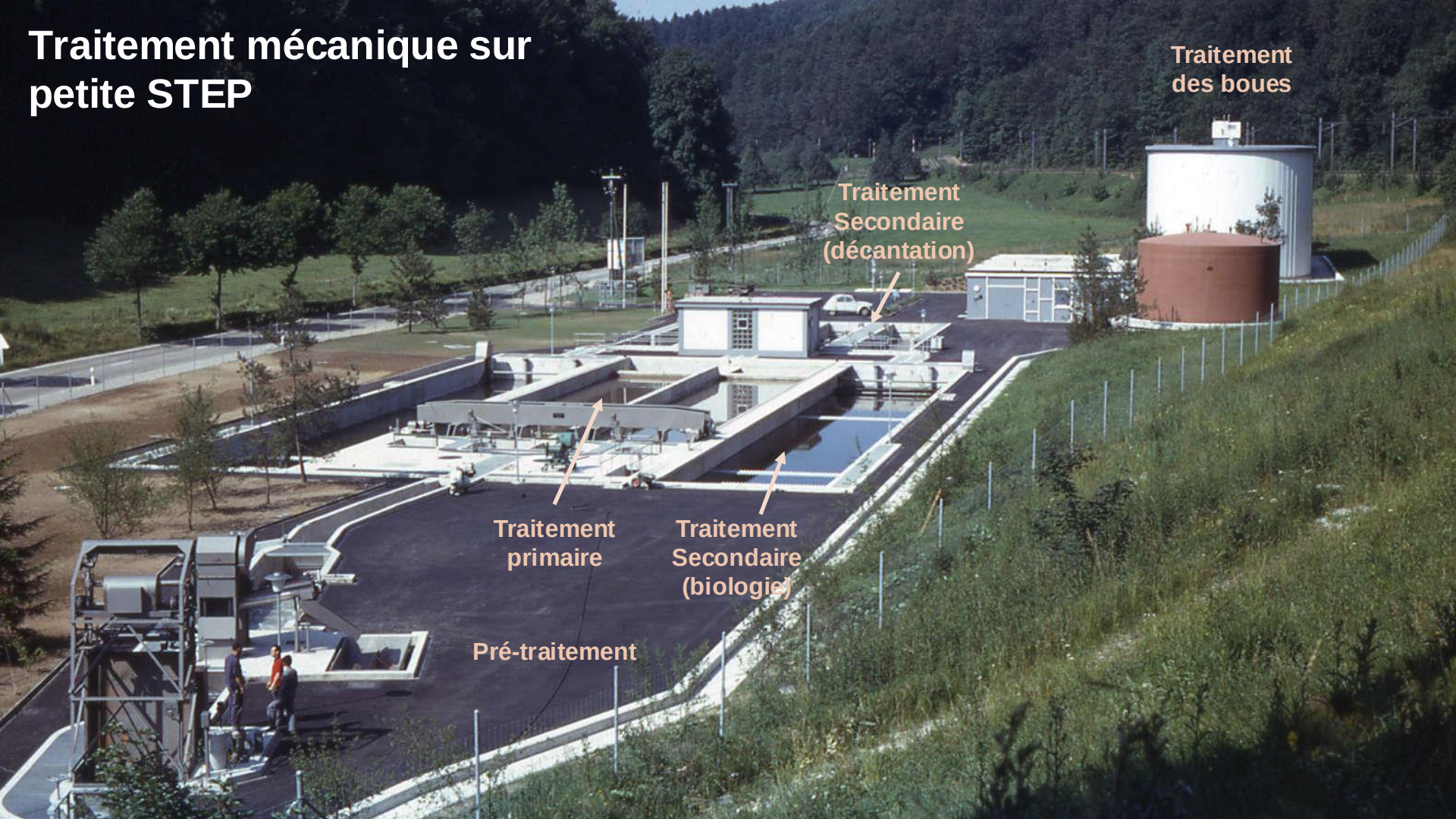
EPFL Un siècle de traitement des ERU

TRAITEMENT
MÉCANIQUE

Année	Polluant ciblé	Impact sur l'environnement
1920	MES	Consommateur d'oxygène, sédimentation
1950	DBO ₅	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

Traitement mécanique sur petite STEP



Traitement
des boues

Traitement
Secondaire
(décantation)

Traitement
primaire

Traitement
Secondaire
(biologie)

Pré-traitement



Relevage des ERUs

Vis d'Archimède



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

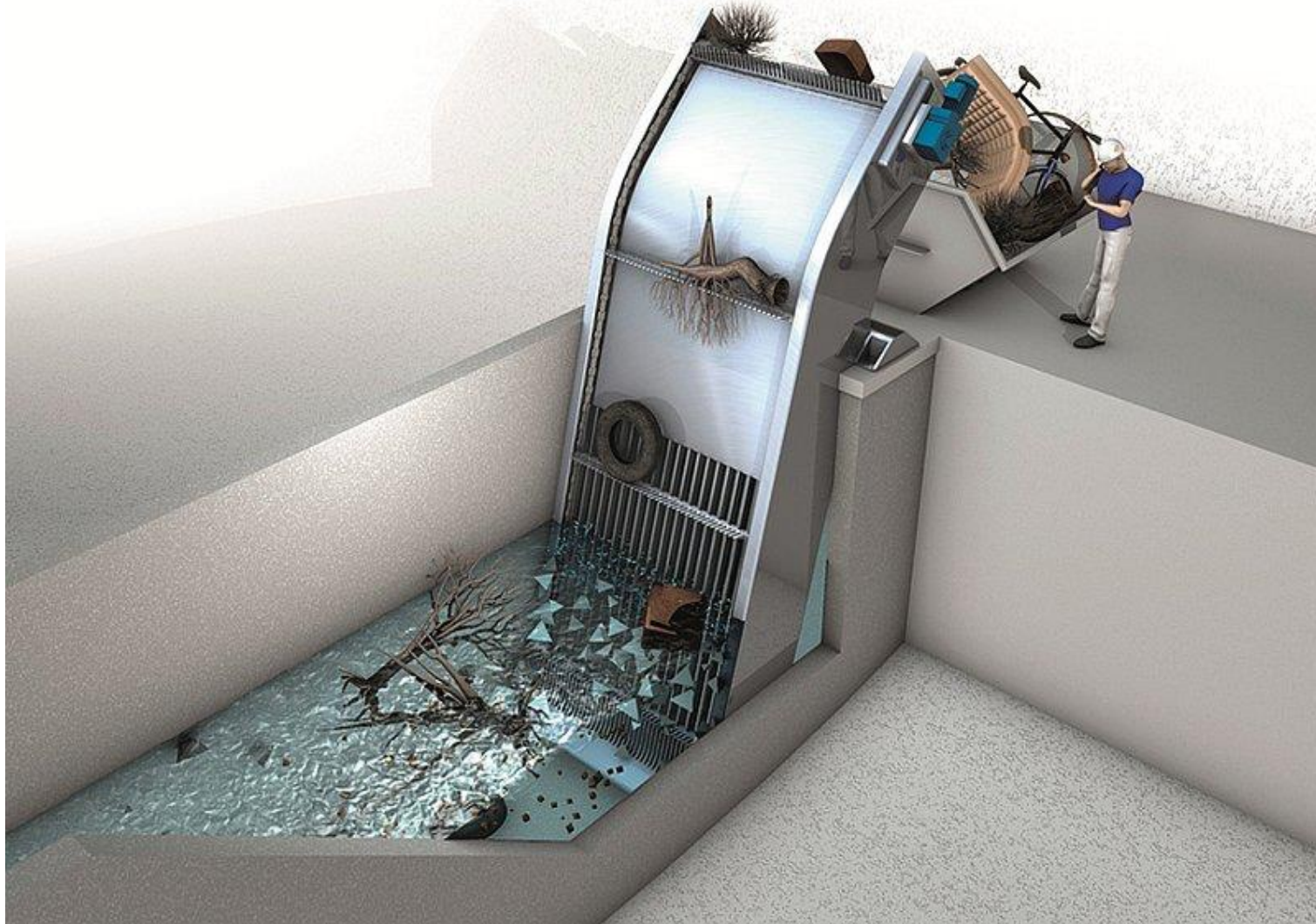
Types de dégrilleurs

- 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

Dégrilleurs

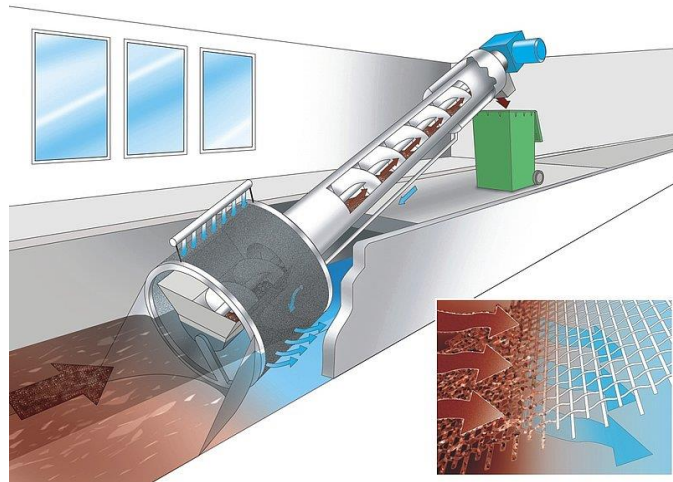
Dégrilleur à
barreaux avec
râteau de
nettoyage
(entrefer:
20mm)



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

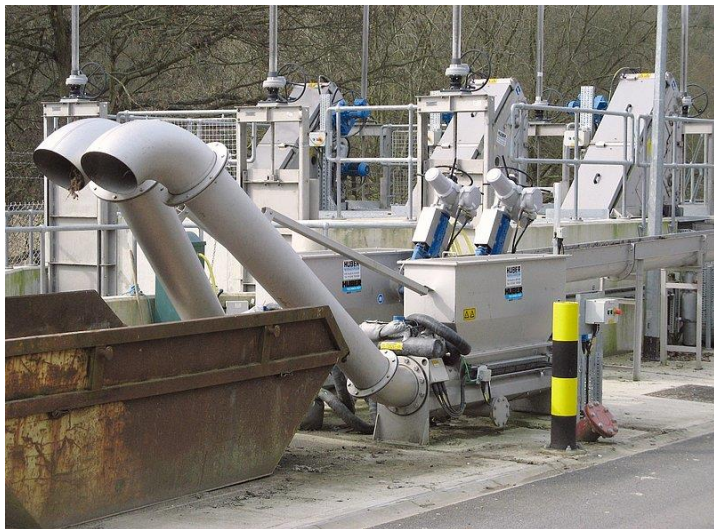
« Le 10 octobre 2021, un problème au niveau de la pompe de relevage de la station d'épuration des Argoulets avait été à l'origine d'une **pollution** qui avait causé la mort de dizaines de poissons. »



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 ($\text{m}^3 \text{EH}^{-1} \text{a}^{-1}$)	
		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 $> 15 \text{ mm}$.

Q1. Calculer le volume 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 / an pour 30 000 EH

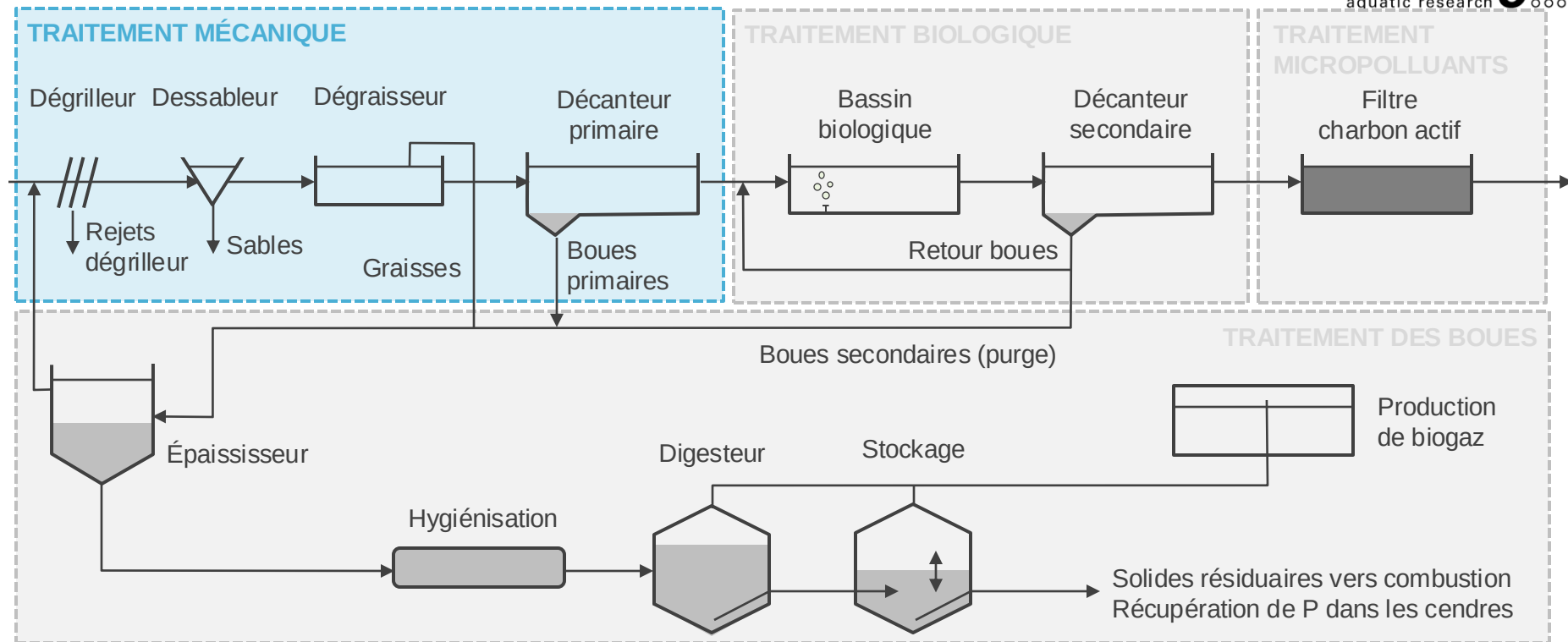
Production de refus / an / EH: 15 kg / an / EH
(8% de siccité) 450 tonnes / an pour 30 000 EH

Production de refus / an / EH: 4 kg / an / EH
(30% de siccité) 120 tonnes / an pour 30 000 EH

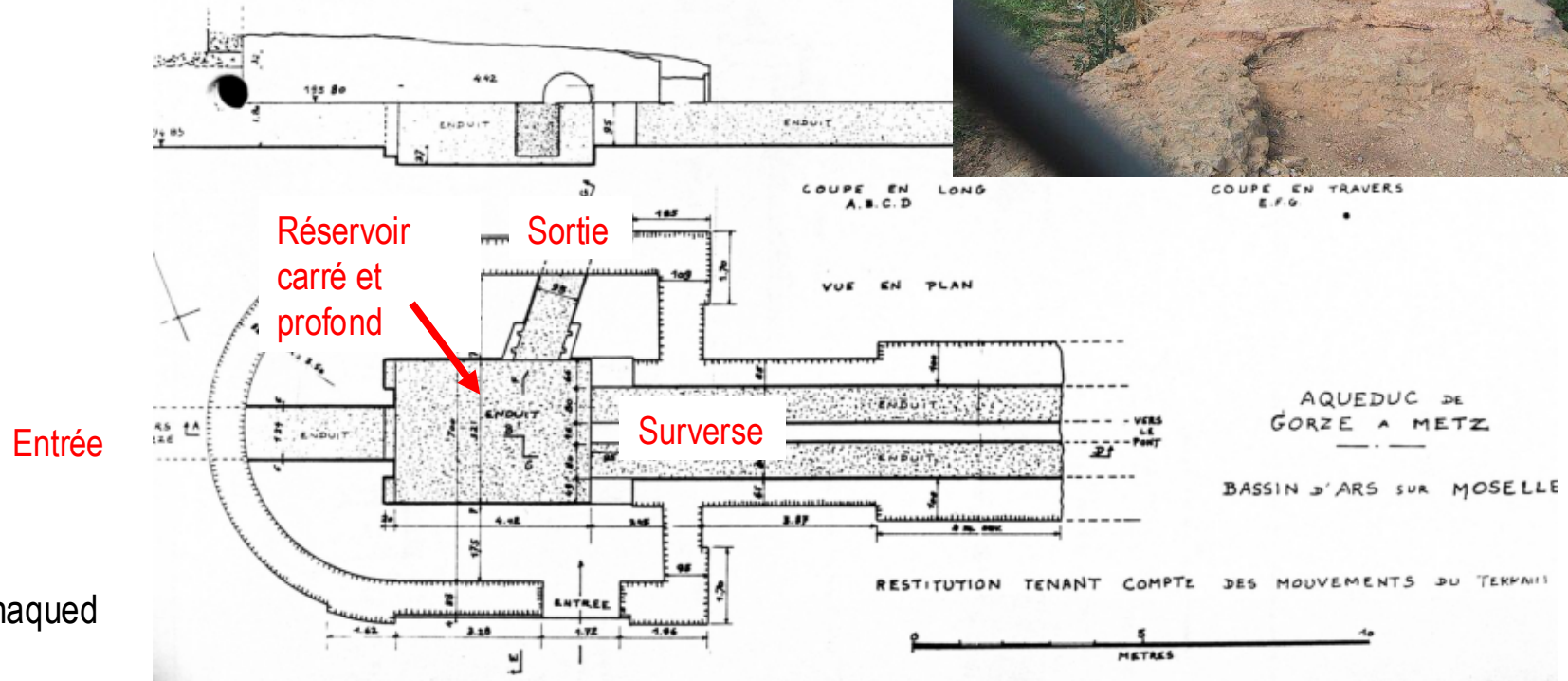
Coûts:
Sans presse 9 CHF / an / EH
270 000 CHF / an pour 30 000 EH

Avec presse 2,4 CHF / an / EH
72 000 CHF / an pour 30 000 EH

EPFL La station d'épuration (STEP)

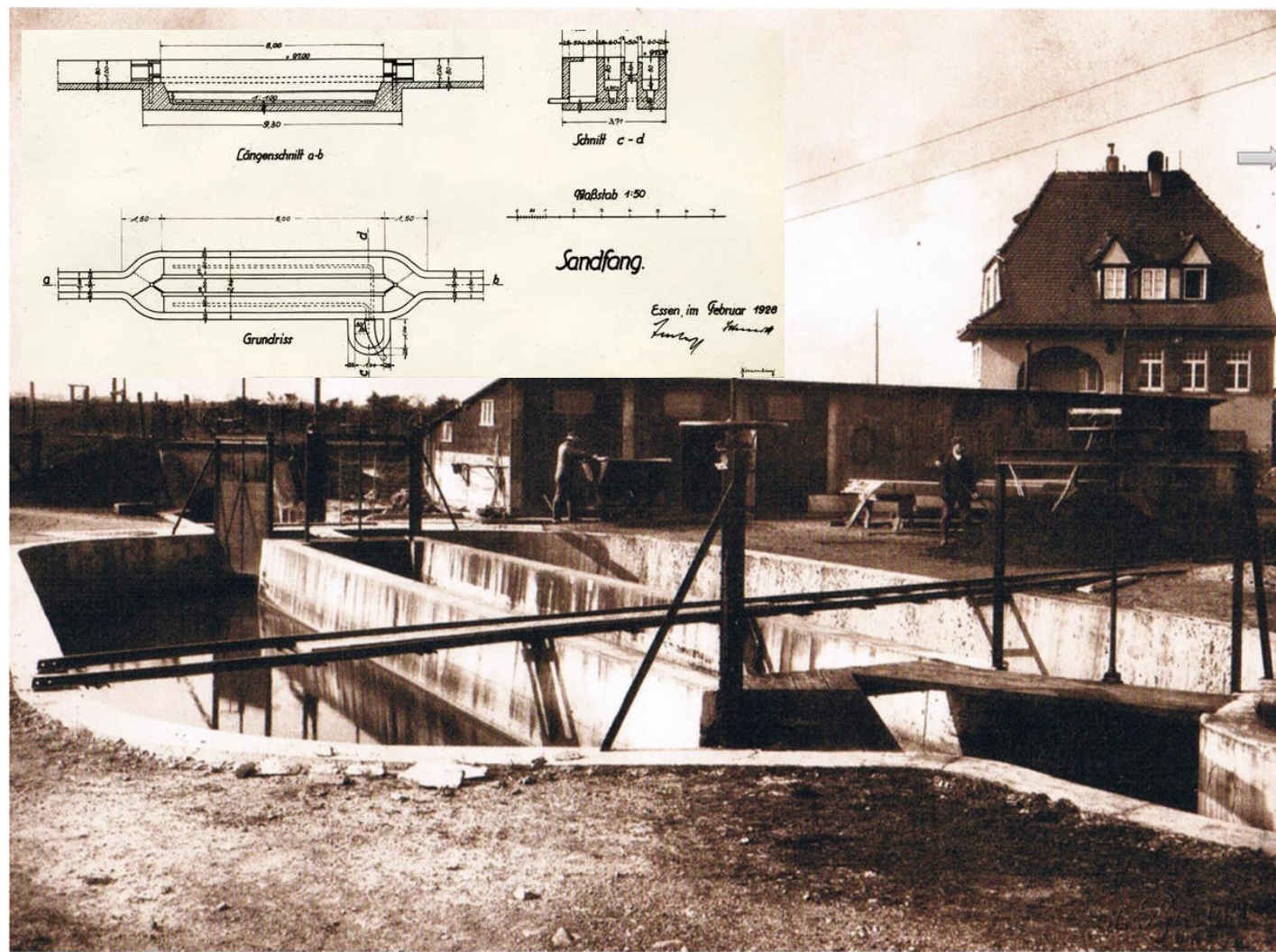


Metz, FR



Source:
www.romanaqueducts.info

Dessableur



*Source:
<http://www.pumpenhaus-erfurt.de/zap-sportgaststaette/zap-geschichte.html>

EPFL Le dessablage Pourquoi et comment ?

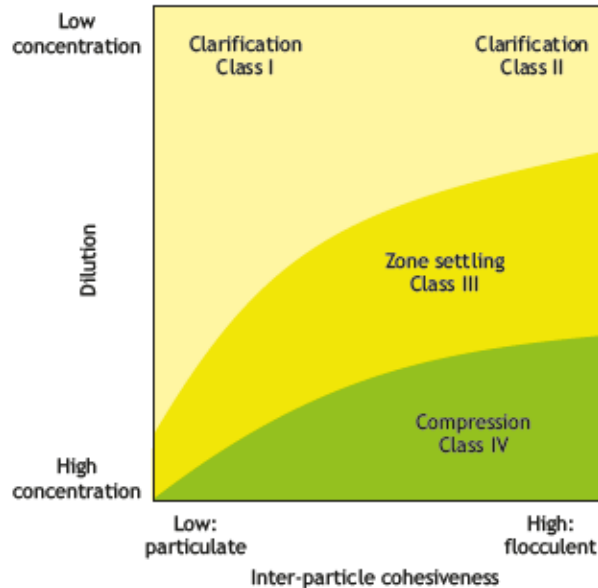
Objectif | Extraire les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines par décantation (sans extraire les matières organiques) pour :

- (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 $> 95\%$

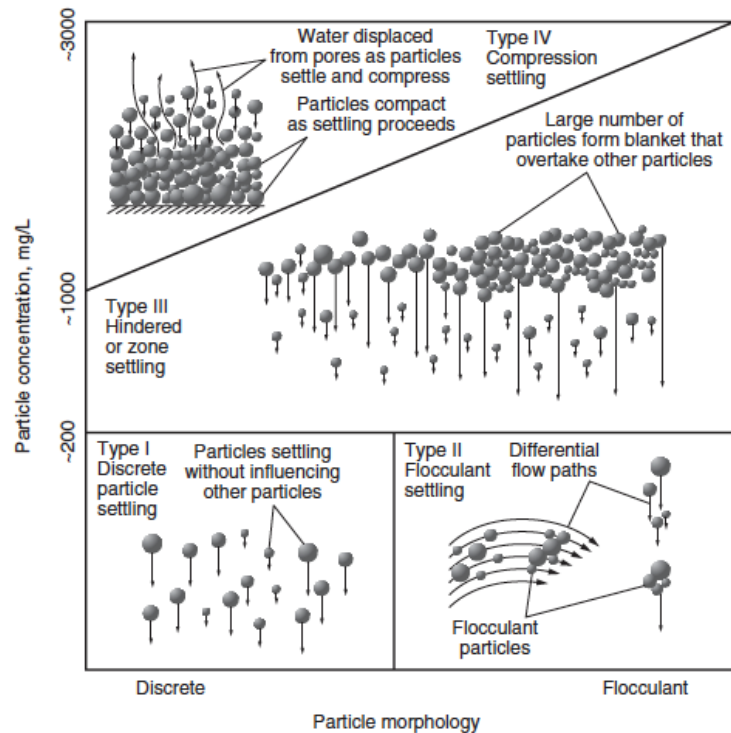


Type I: discrete particle settling sédimentation de particules individuelles sans interactions entre elles

Type II: flocculant settling sédimentation de particules floculées – interactions entre particules

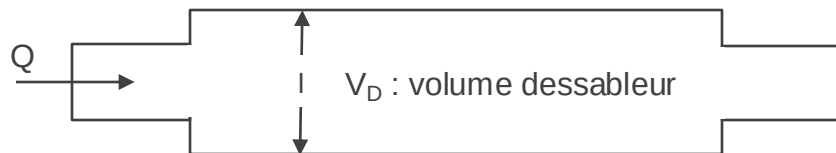
Type III: hindered settling concentration élevée en particules floculées, qui forment un lit de boue, celui-ci interceptant d'autres particules

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

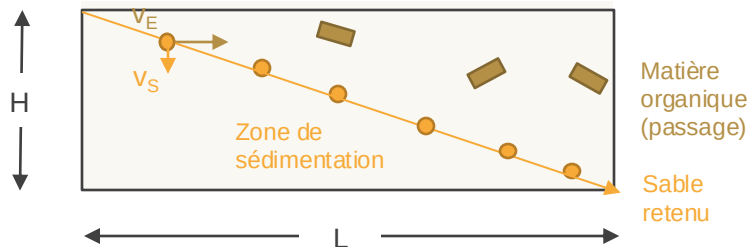


Comment déterminer les dimensions d'un dessableur ($L \times l \times H$) ?

Vue de dessus



Vue en coupe

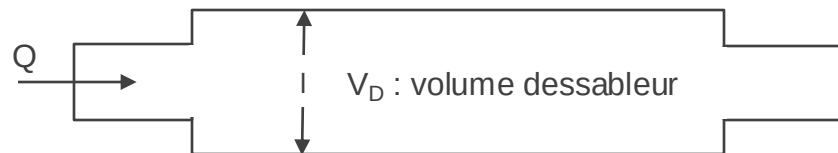


HYPOTHÈSES

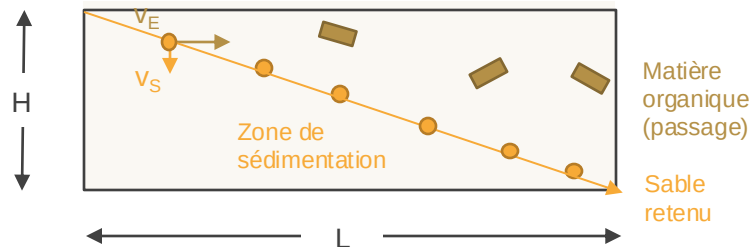
- écoulement de type piston
- vitesse d'écoulement constante sur l'horizontale
- Solides répartis uniformément sur la section d'écoulement
- Solides sphériques / pas de floculation (sédimentation particules individuelles)
- Solides sédimentés ne sont pas remis en suspension.

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})

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

$$t_{SH} = \frac{L \times l \times H}{Q} \quad \text{et} \quad t_S = \frac{H_0}{v_S} \quad \longrightarrow \quad v_S \geq \frac{Q}{L \times l} = v_0$$

v_0 : vitesse seuil de sédimentation (pour qu'une particule qui arrive à la hauteur H_0 soit retenue juste avant sa sortie du décanteur = H_0 / 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

$$L = 10 l$$

Un dessableur est dimensionné pour une vitesse seuil V_C .

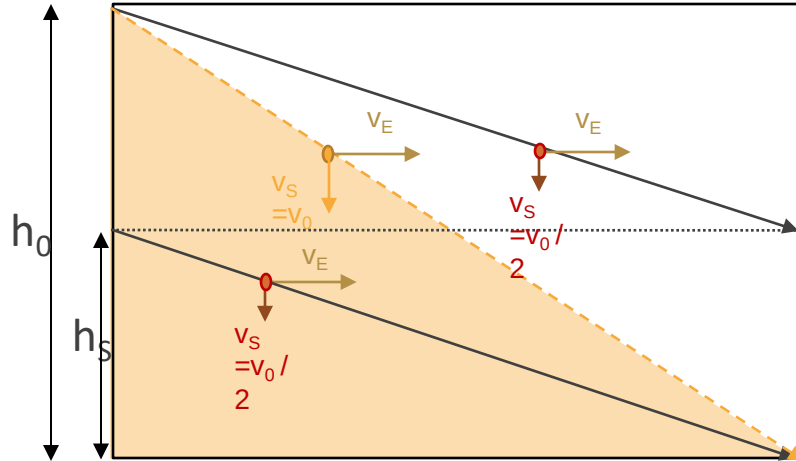
Quelle est l'efficacité de dessablage d'une eau usée contenant des particules minérales caractérisées par une vitesse de sédimentation $V_S = V_C / 2$?

☐ 0%

☐ 50%

☐ 100%

Exemple pour particules avec $V_S = V_0 / 2$:

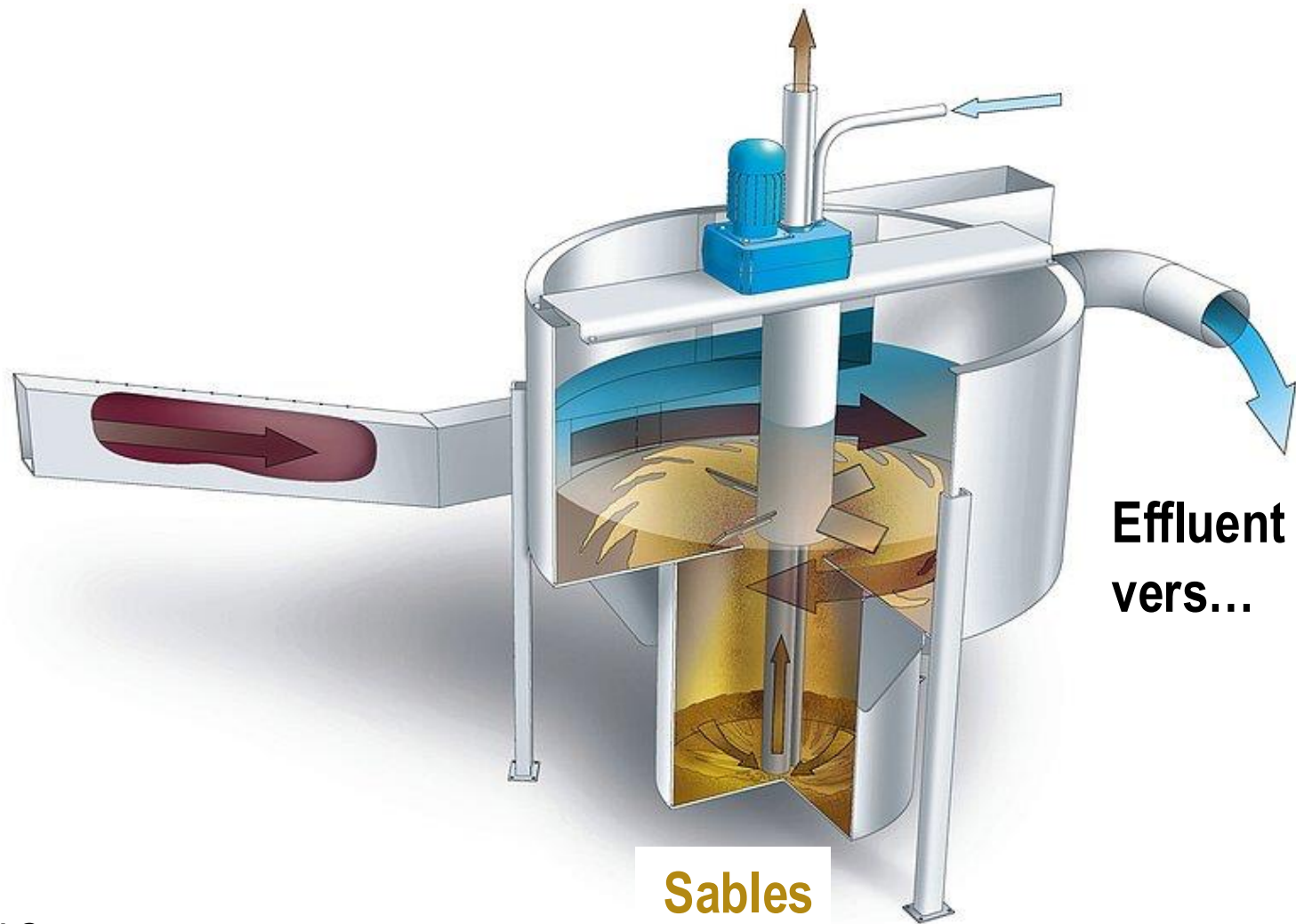


$$\text{Fraction éliminée (total)} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_{n_i}}{V_0} (n_i)}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

Avec V_{n_i} la vitesse moyenne de sédimentation dans la classe de vitesse i
 n_i le nombre de particules dans la classe i

Déssableur circulaire

Eaux
usées



Effluent
vers...

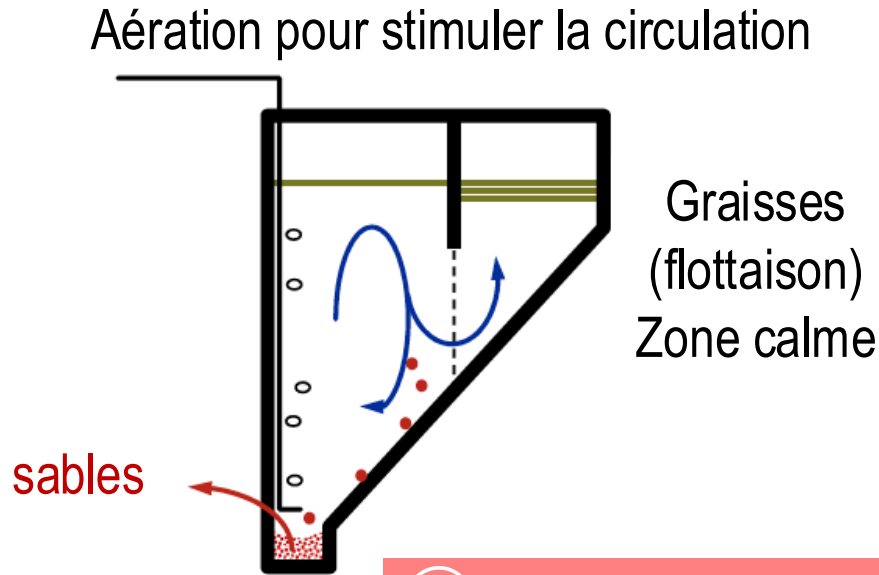
Sables

Déssableur circulaire



Source: Prof. Morgenr

Déssableur- dégraisseur



Oxygénation → dégradation de
BOD₅

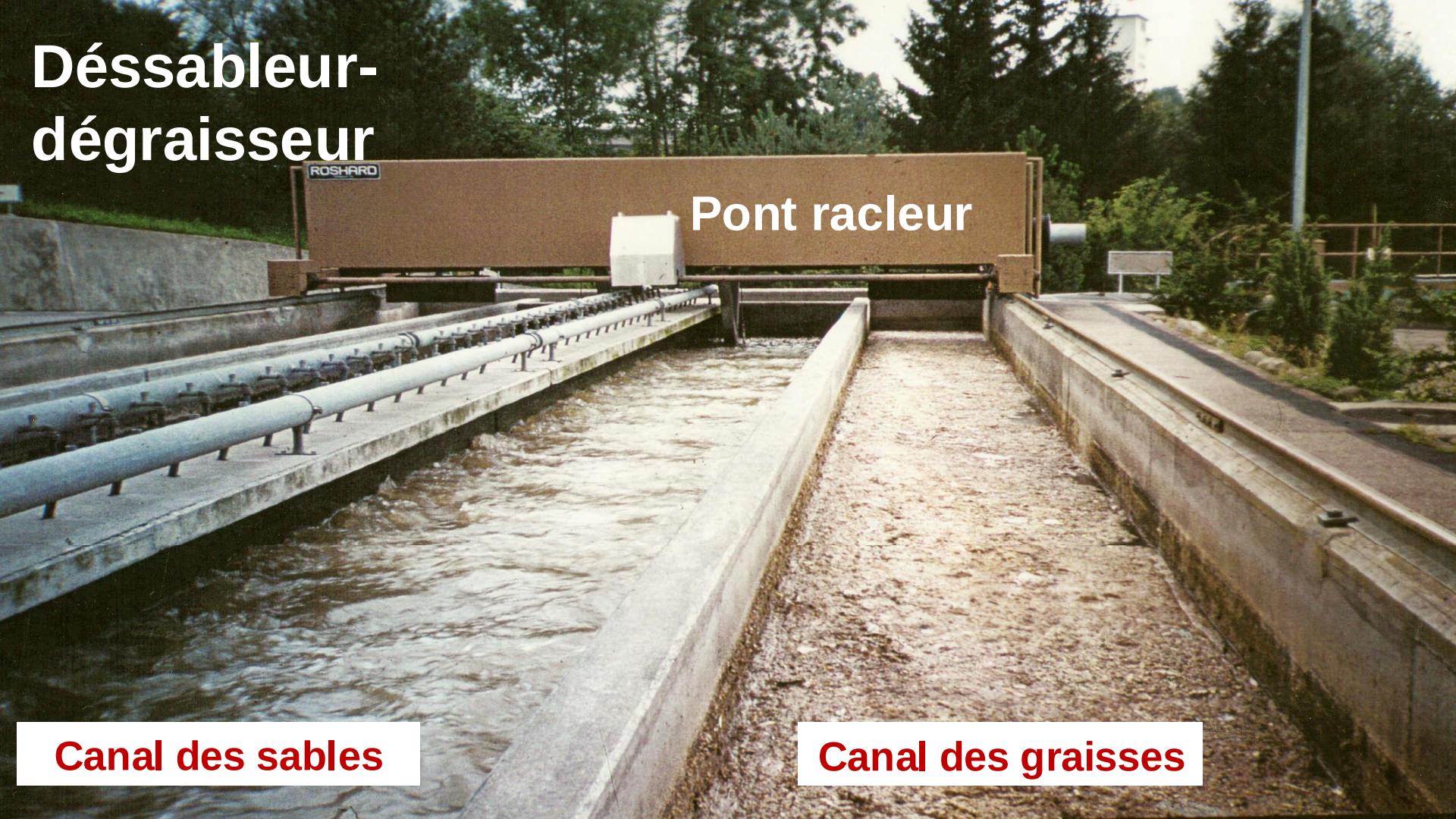


Déssableur- dégraisseur

Pont racleur

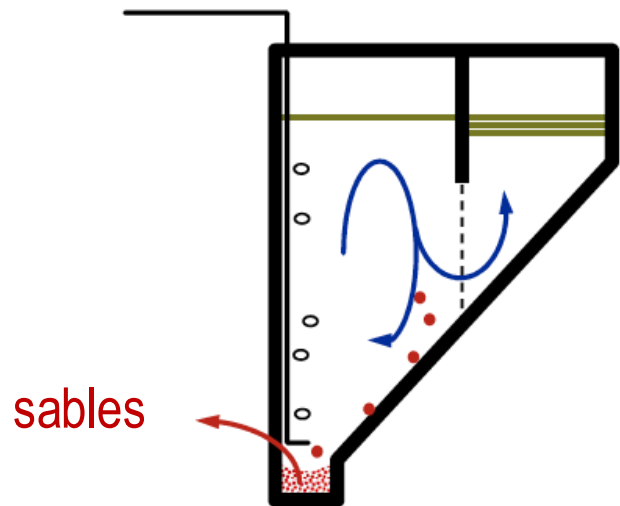
Canal des sables

Canal des graisses

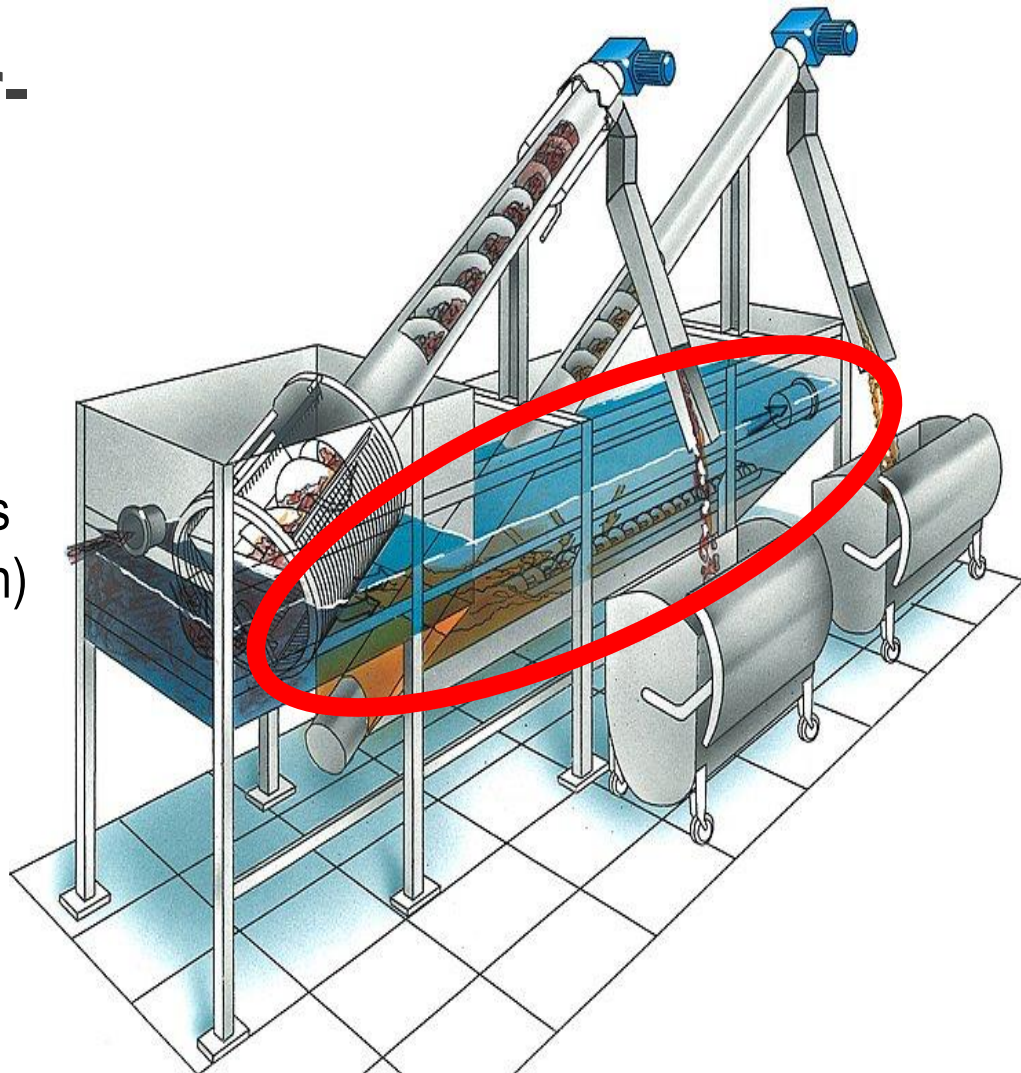


Dégrilleur-Déssableur-dégraisseur

Aération pour stimuler la circulation



Graisses
(flottaison)

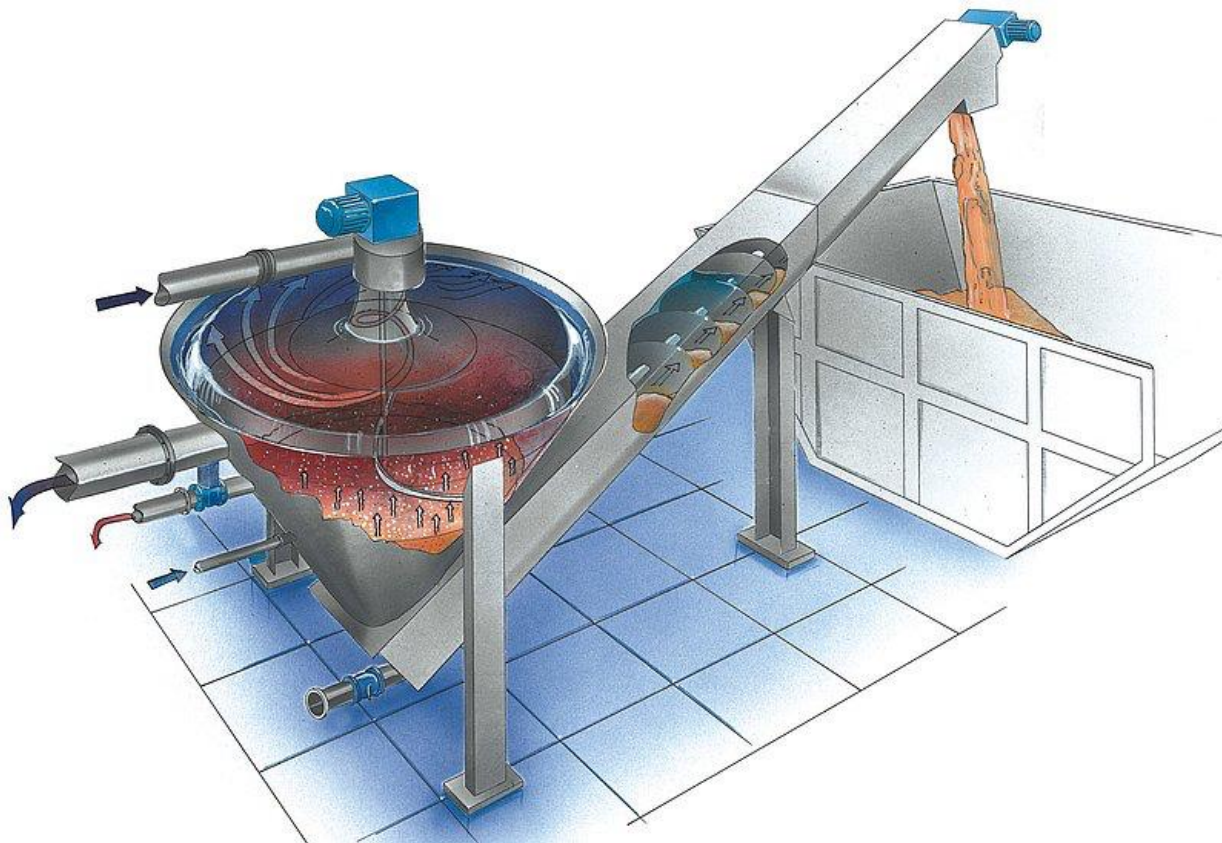


Nettoyage des sables

élimination de la matière
organique piégée

éviter odeurs, éviter
d'attirer insectes /
rongeurs

Atteindre une faible
concentration en MVS



Nettoyage des sables



Nettoyage des sables



Nettoyage des sables



Le dessablage

Valorisation des sables

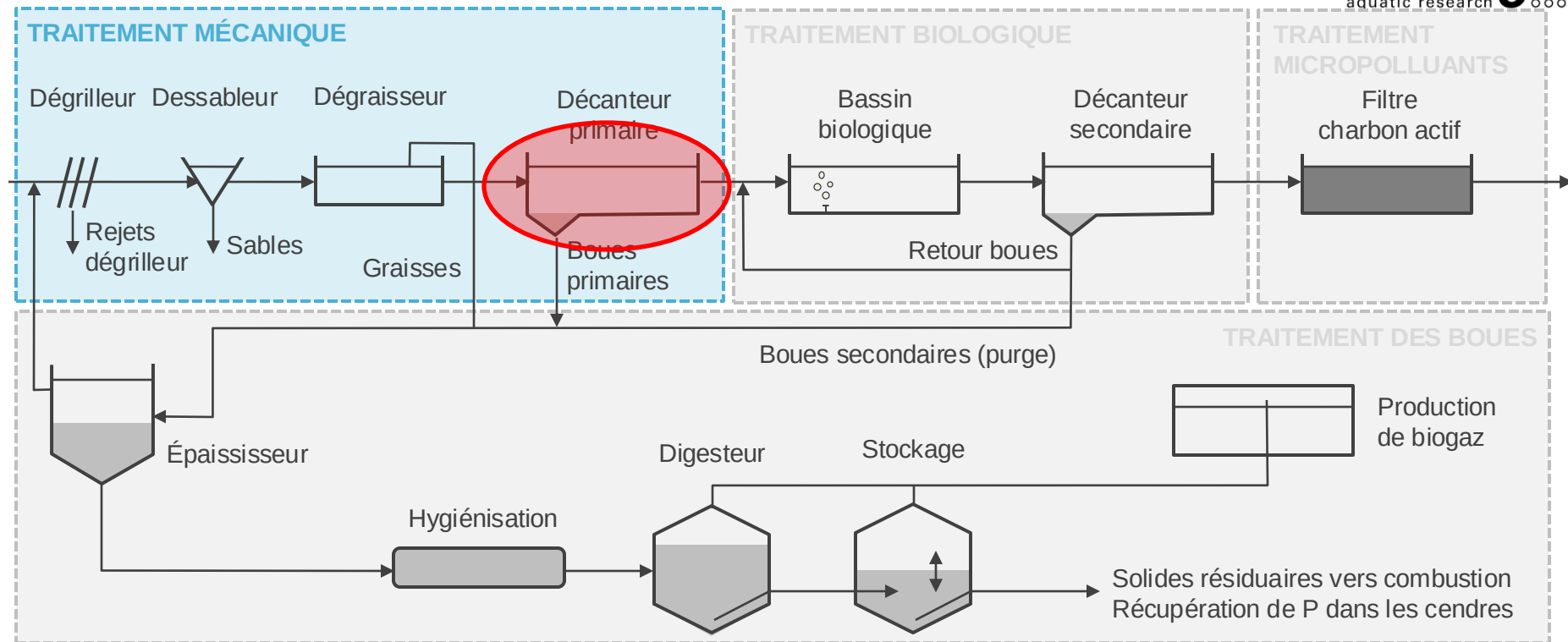
Sables avec une teneur
en matières organiques
inférieures à 3%

0,1 - 3 kg / EH / an

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

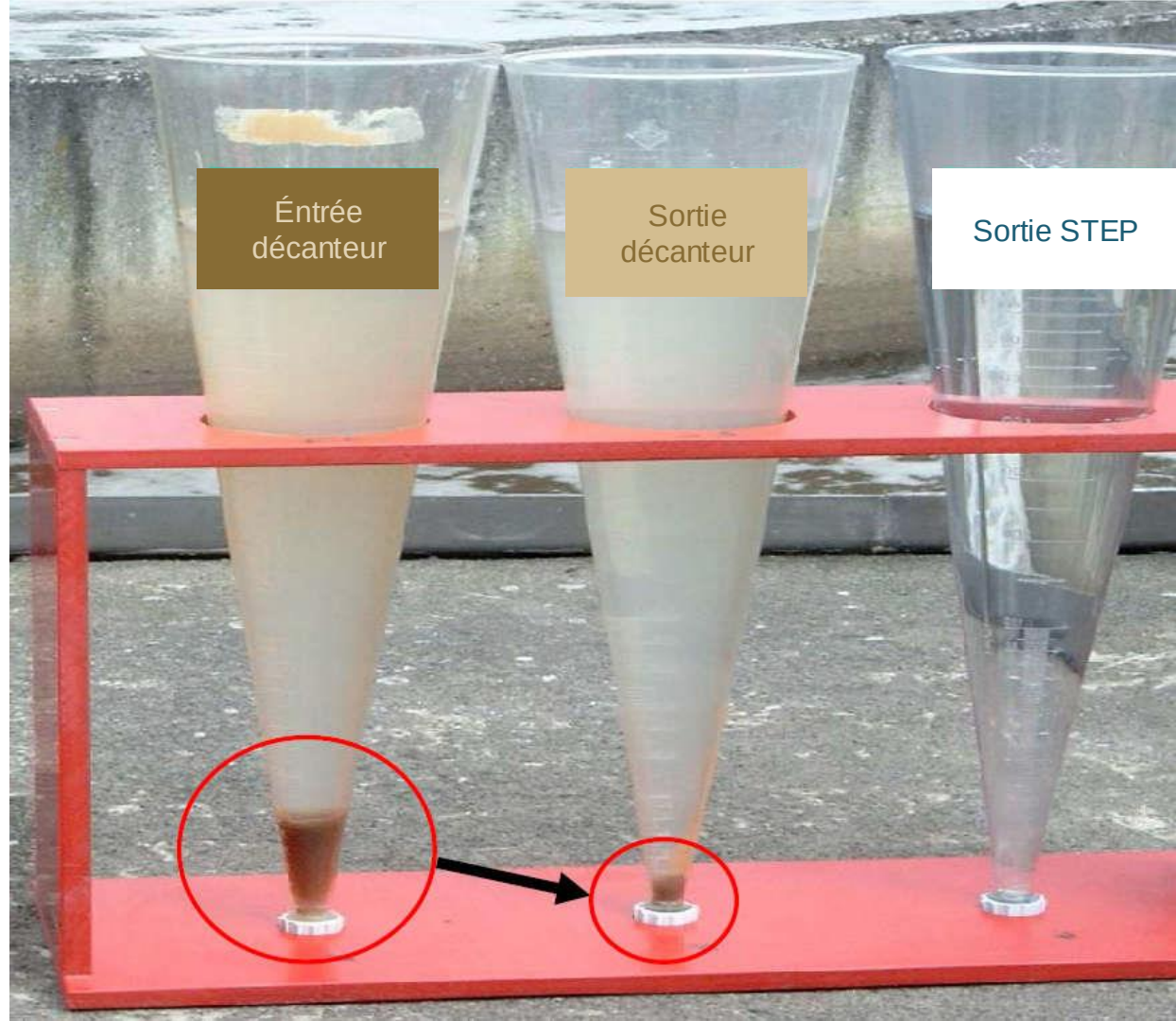


EPFL La station d'épuration (STEP)



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_2 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)

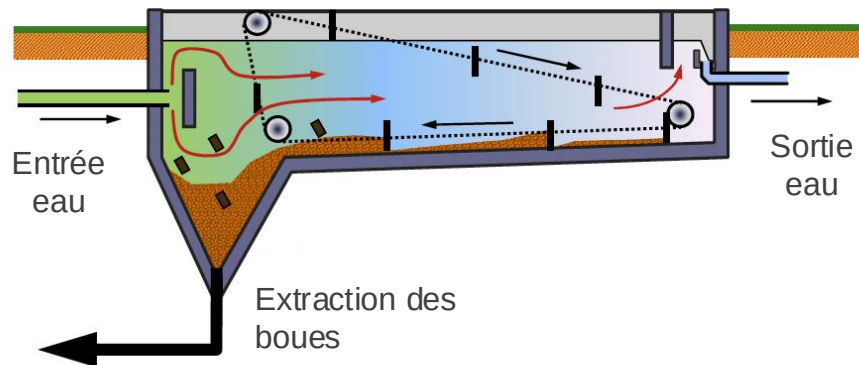


V_s de 0,01 m/s pour un déssableur (36 m/h) contre 1,5-2 m/h pour un décanteur primaire

EPFL Le décanteur primaire

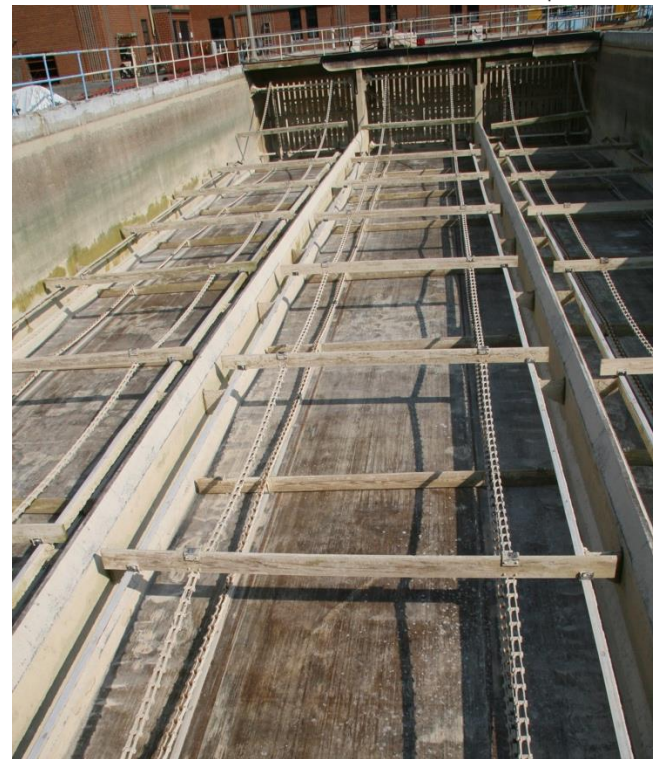
Le décanteur rectangulaire

Décanteur primaire avec racleur à chaînes



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

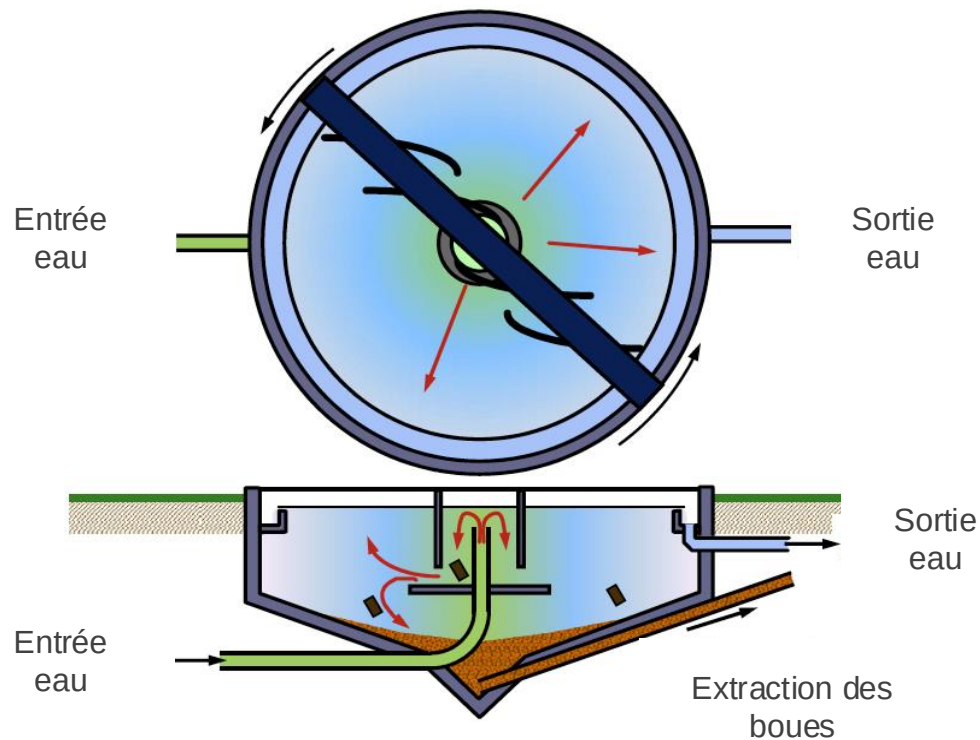
Inconvénient : moins économiques



EPFL Le décanteur primaire

Le décanteur rectangulaire





EPFL Le décanteur primaire Dimensionnement

Décanteur primaire rectangulaire

Etape #1 Déterminer la profondeur (H)

A. Sélectionner une charge surfacique (v_0) adaptée et calculer l'aire du bassin de décantation

$$v_S > v_0 \quad \text{et} \quad v_0 = \frac{Q}{A_D}$$

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 $L \geq 8 l$

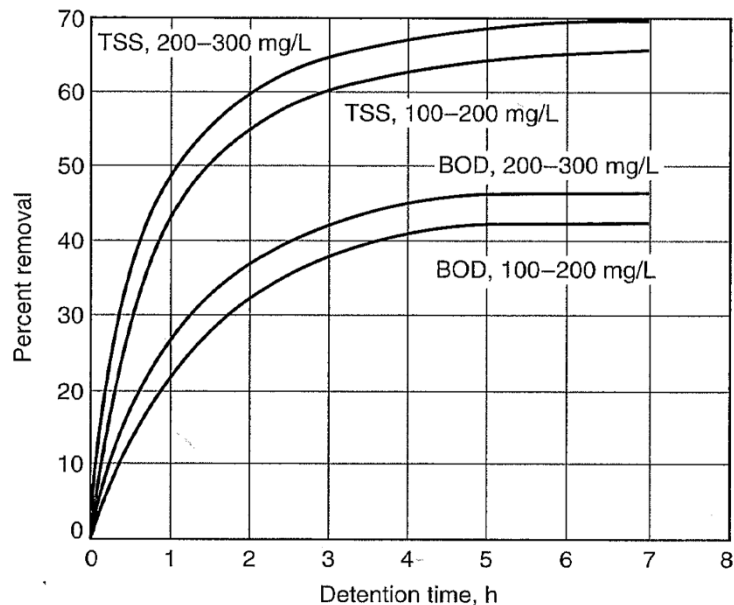
Ajuster v_E pour avoir un ratio L/l supérieur à 8

Décanteur primaire rectangulaire

	Unité	Gamme	Typiquement
Temps de séjour hydraulique t_{SH}	H	1,5 – 2,5	2,0
Charge surfacique v_0	$m^3/(m^2/h)$	1,3 – 2,1	1,7
Charge surfacique limite v_L	$m^3/(m^2/h)$	5 – 20	10
Vitesse d'écoulement v_E	m/s	0,01 – 0,02	0,015
Profondeur H	m	3 – 4,9	4,3
Longueur L	m	15 – 90	24 – 90
Largeur l	m	3 – 24	4,9 – 9,8

EPFL Le décanteur primaire Calcul de performances

Elimination des MES et de la DBO₅
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 DBO₅
Equation de Crites et Tchobanoglous | 1998

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

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

DBO₅ | $a = 0,018$ et $b = 0,020$



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

EPFL Feuille de route « Traitements des ERUs »

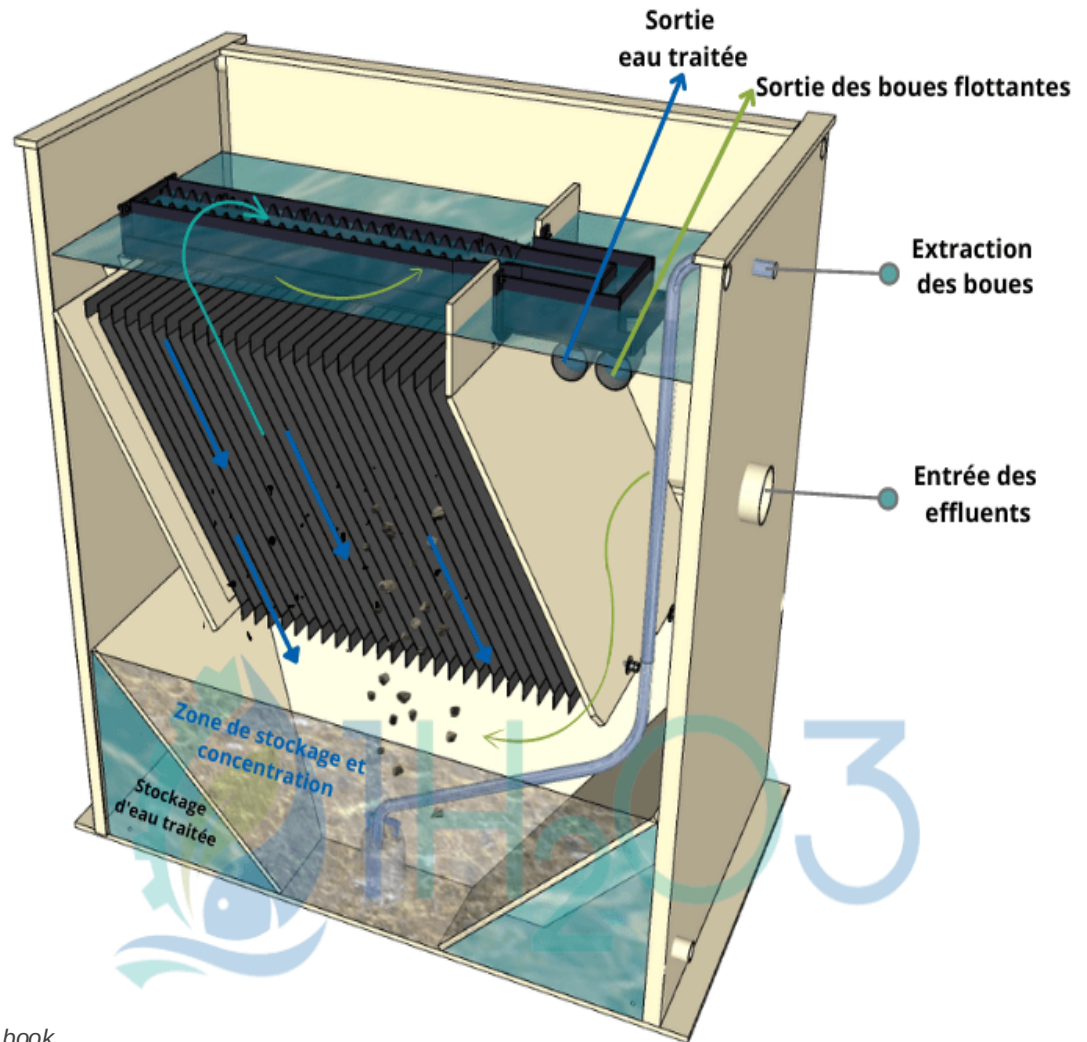
				Valeurs relevées après			
Catégorie	Paramètres	Unité	ERU	DP (2h)	BA (3 j)	BA (10 j)	TT
Solides	MES	mg/L	250	109			15
Pollution organique	DBO ₅	mgO ₂ /L	230	151			15
	DCO	mgO ₂ /L	500	327			45
Pollution azotée	NTK	mgN/L	30	27			3
	NH ₄ ⁺	mgN/L	20	20			2
	NO ₂ ⁻	mgN/L	0	0			0,3
	NO ₃ ⁻	mgN/L	0	0			-
Pollution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

Décanteur lamellaire

Augmenter la taille de particules (floculation)

Diminuer la hauteur de sédimentation

V_0 : 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

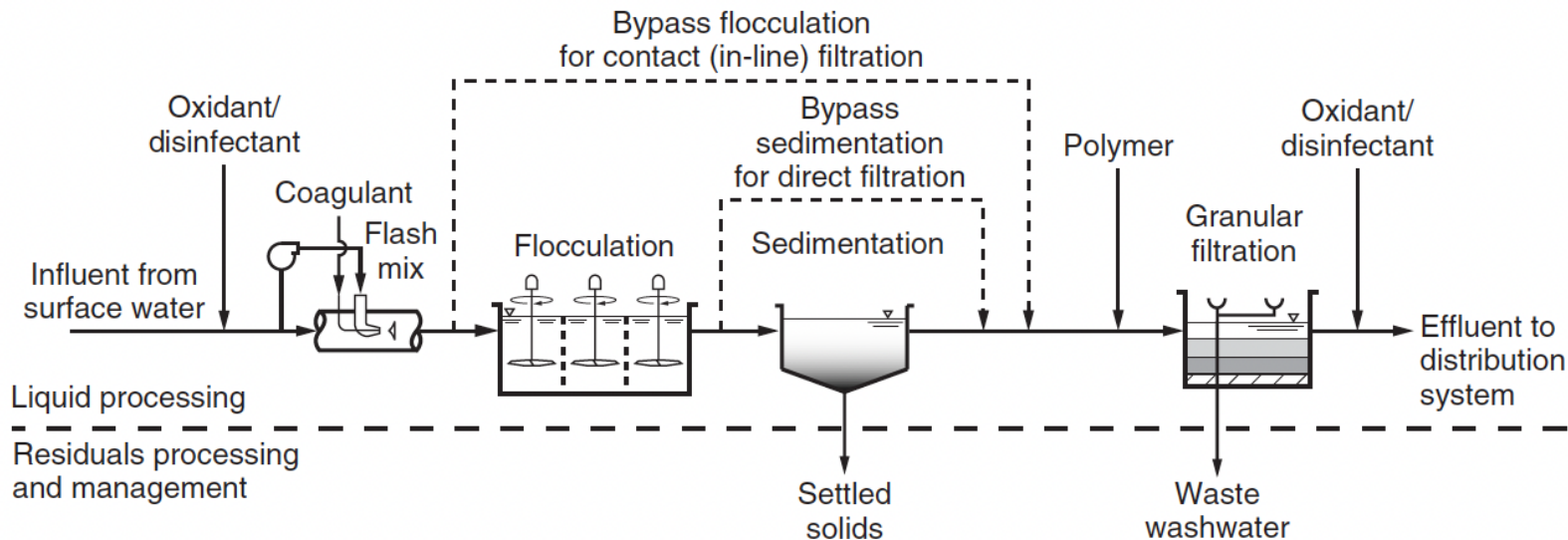
Décanteur primaire similaire à décanteur primaire sans ajout de coag./floc.

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 m³ d'eau à traiter

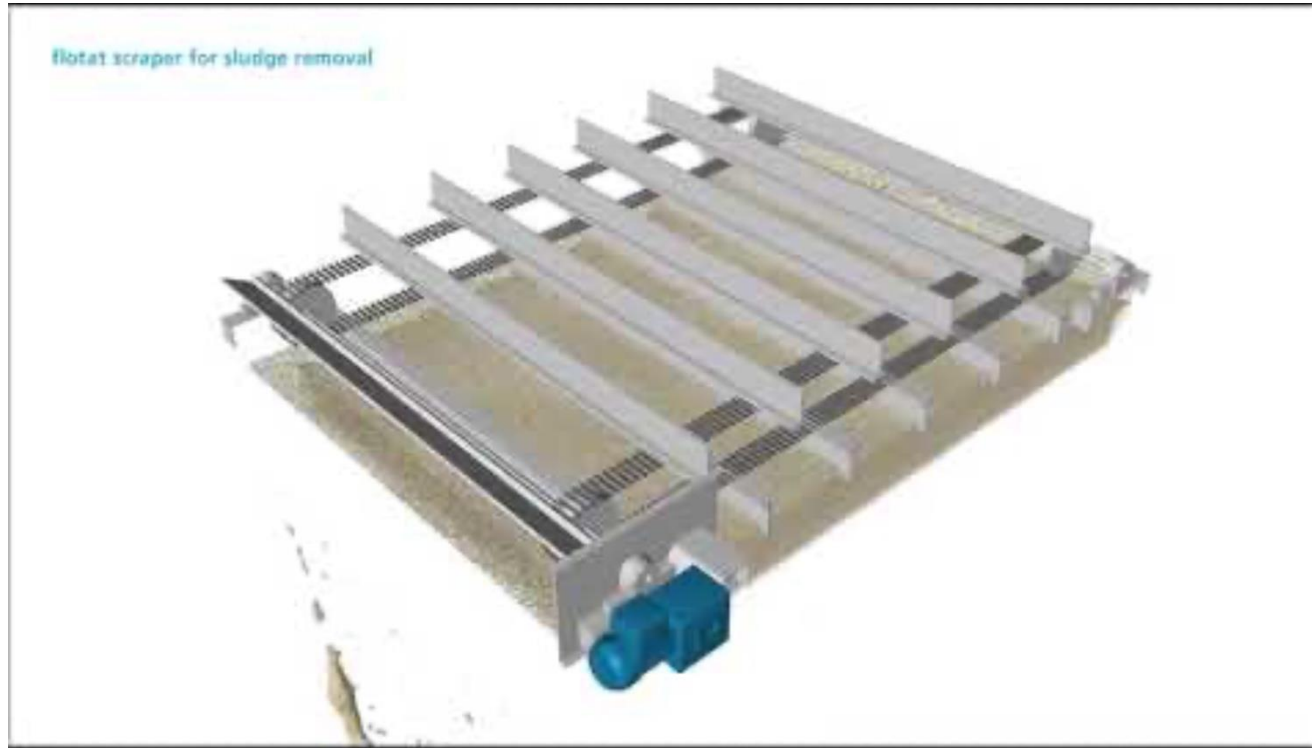
Problématique | Peut oxyder certaines matières

Décantation primaire + pré-traitement chimiques



Efficacité d'élimination [%]					Dosage	Concentration boues
MES	DCO	DBO ₅	N _{tot}	P _{tot}	[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

EPFL Flottation à air dissous



EPFL Flottation à air dissous Conditions et efficacité

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

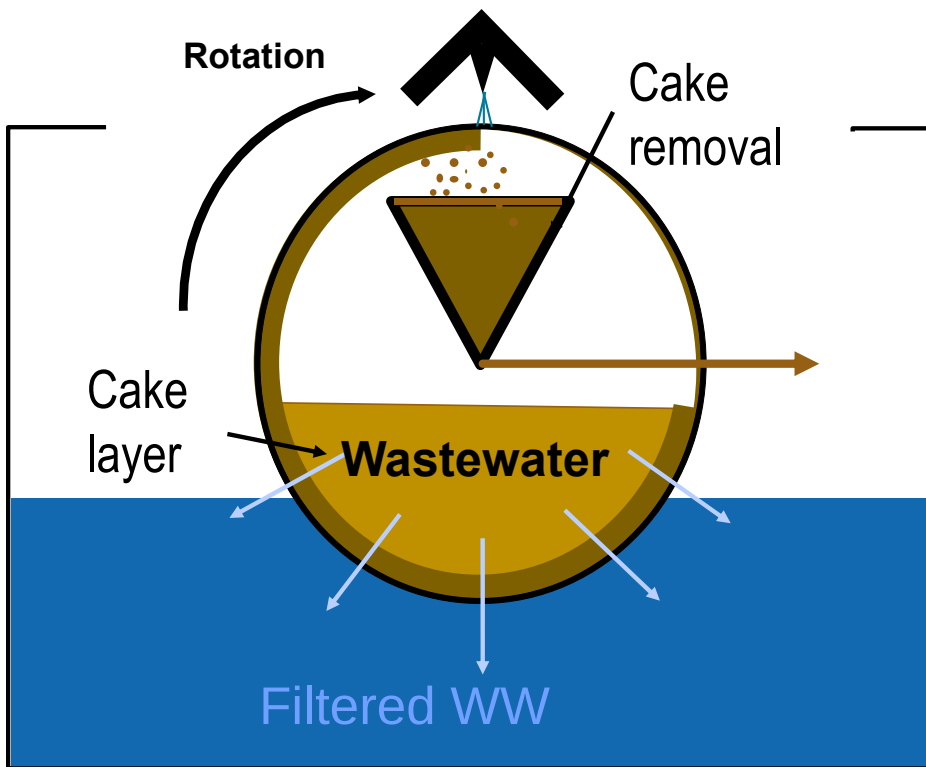
**STEP de
Sihltal
(Zürich)**
pas
d'espace!
Comment
faire?

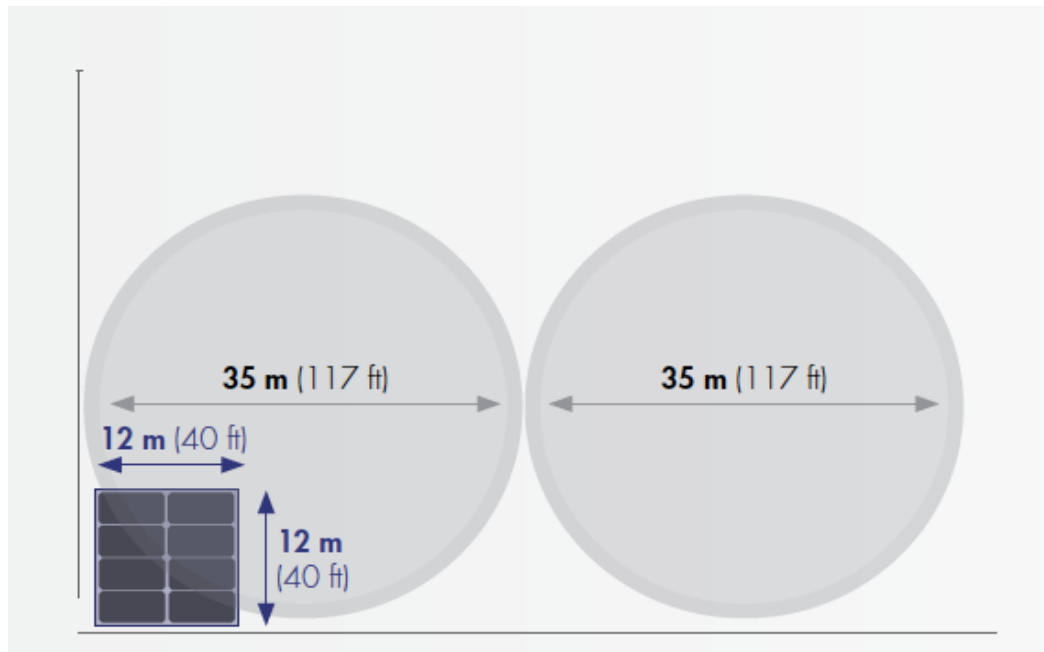


Micro- tamisage



Source: huber.de





2 décanteurs primaires vs 3 filtres à bandes SF6000 Salsnes®

Débit moyen: 1650 m³/h

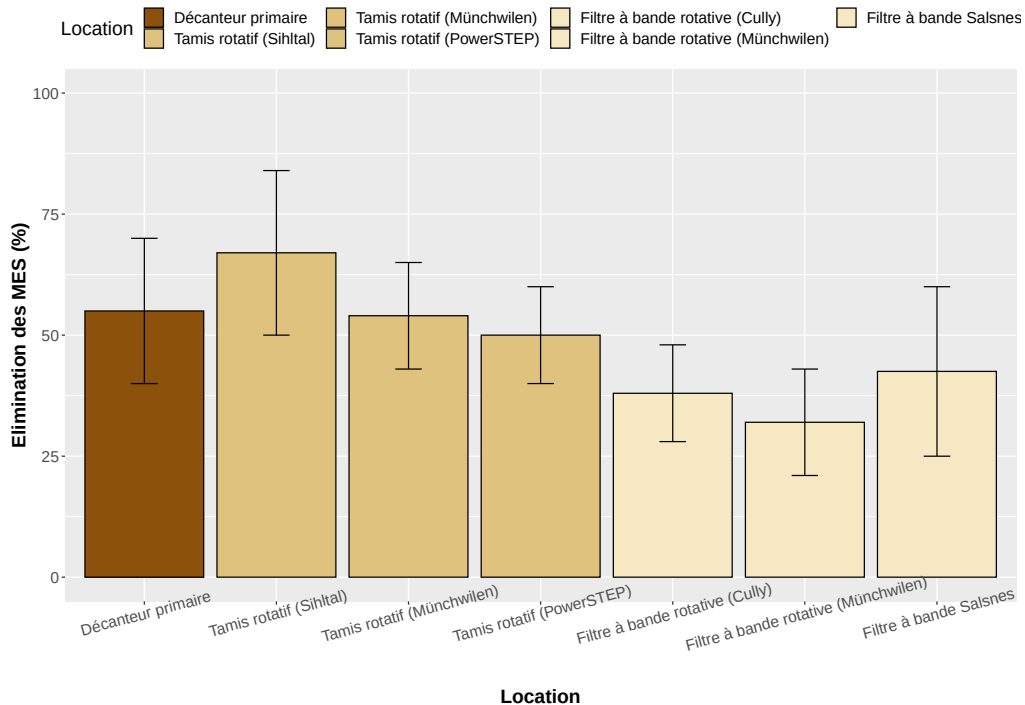
Surface:

- Décanteur primaires: env. 1900 m² → **0.9 m³/m²/h**
- Filtres à bande: env. 150 m² → **11 m³/m²/h**

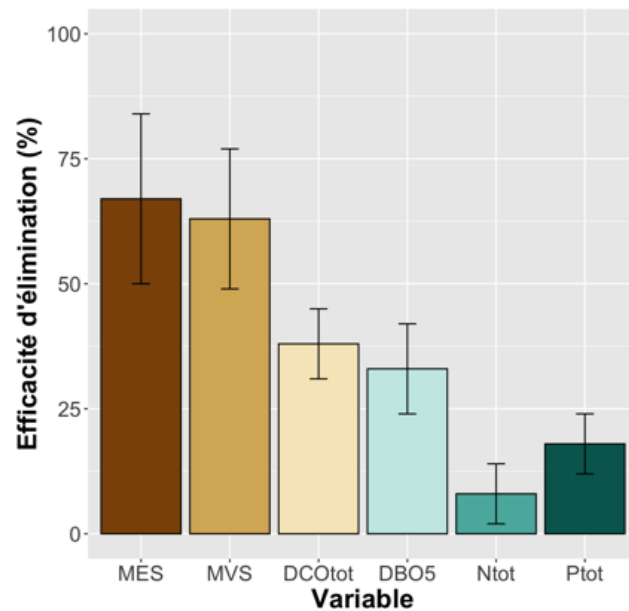
Charge hydraulique **10-20 fois supérieure** à celle d'un décanteur primaire: 1-2 m³/m²·h.

Micro-tamis

Performances



Tambour Rotatif
STEP de Sihtal



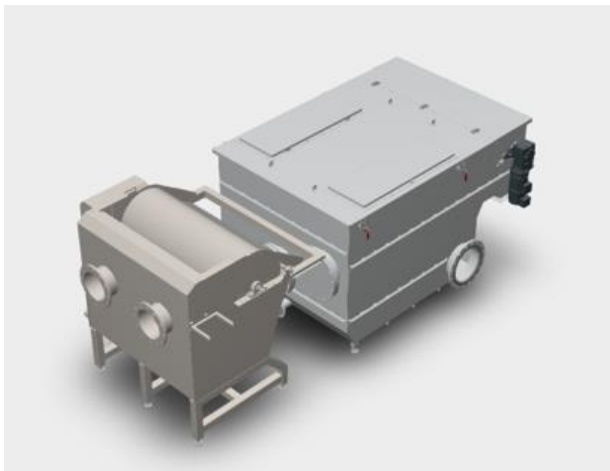
Micro-tamis

Intégration

*STEP de Sihltal
(Zürich)*



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