

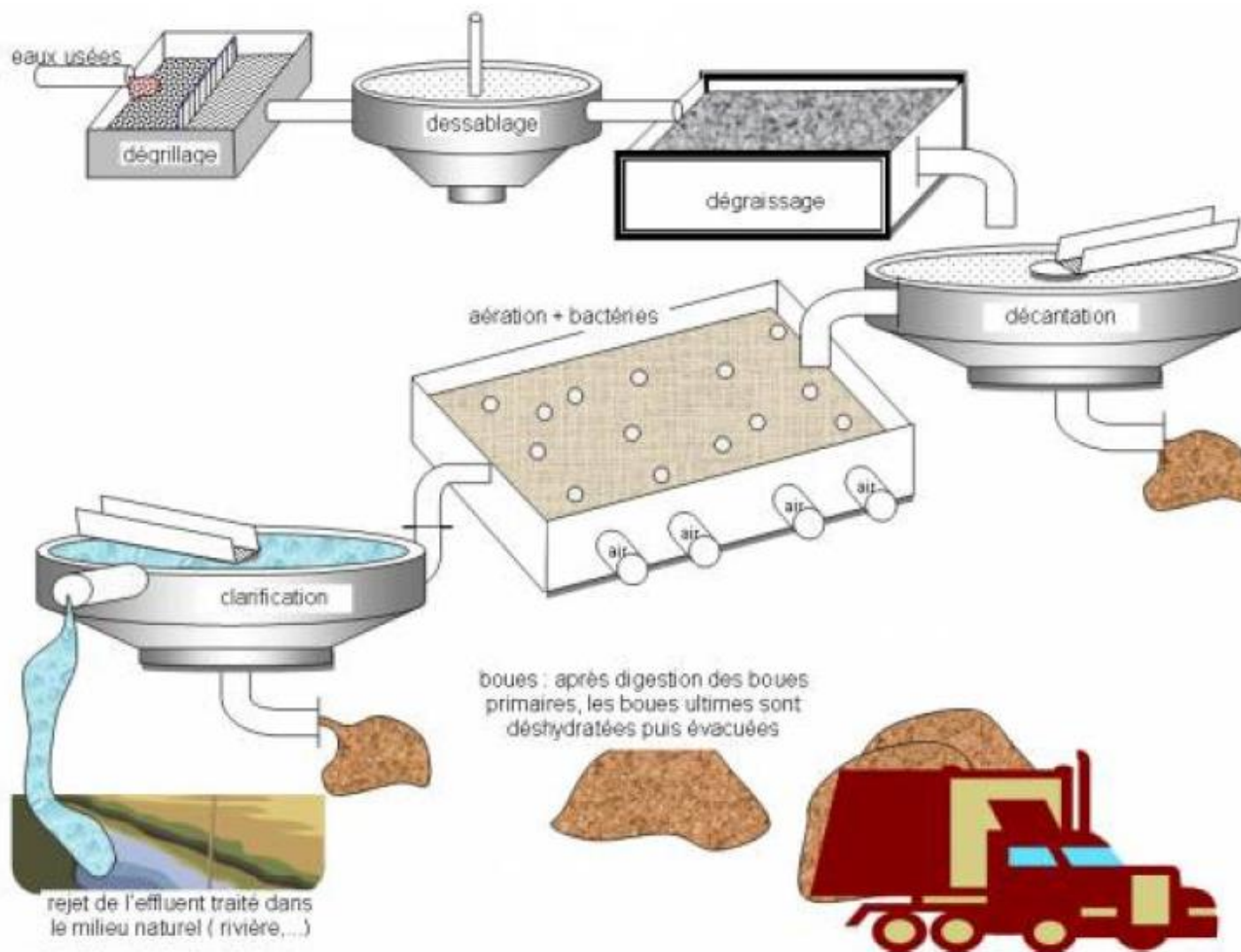
Gestion des eaux usées

- Contexte général
- Caractérisation des eaux
- Gestion des eaux usées
 - **Introduction**
 - Les prétraitements
 - Le traitement primaire
 - Le traitement secondaire
 - Le traitement tertiaire
 - Le traitement des boues

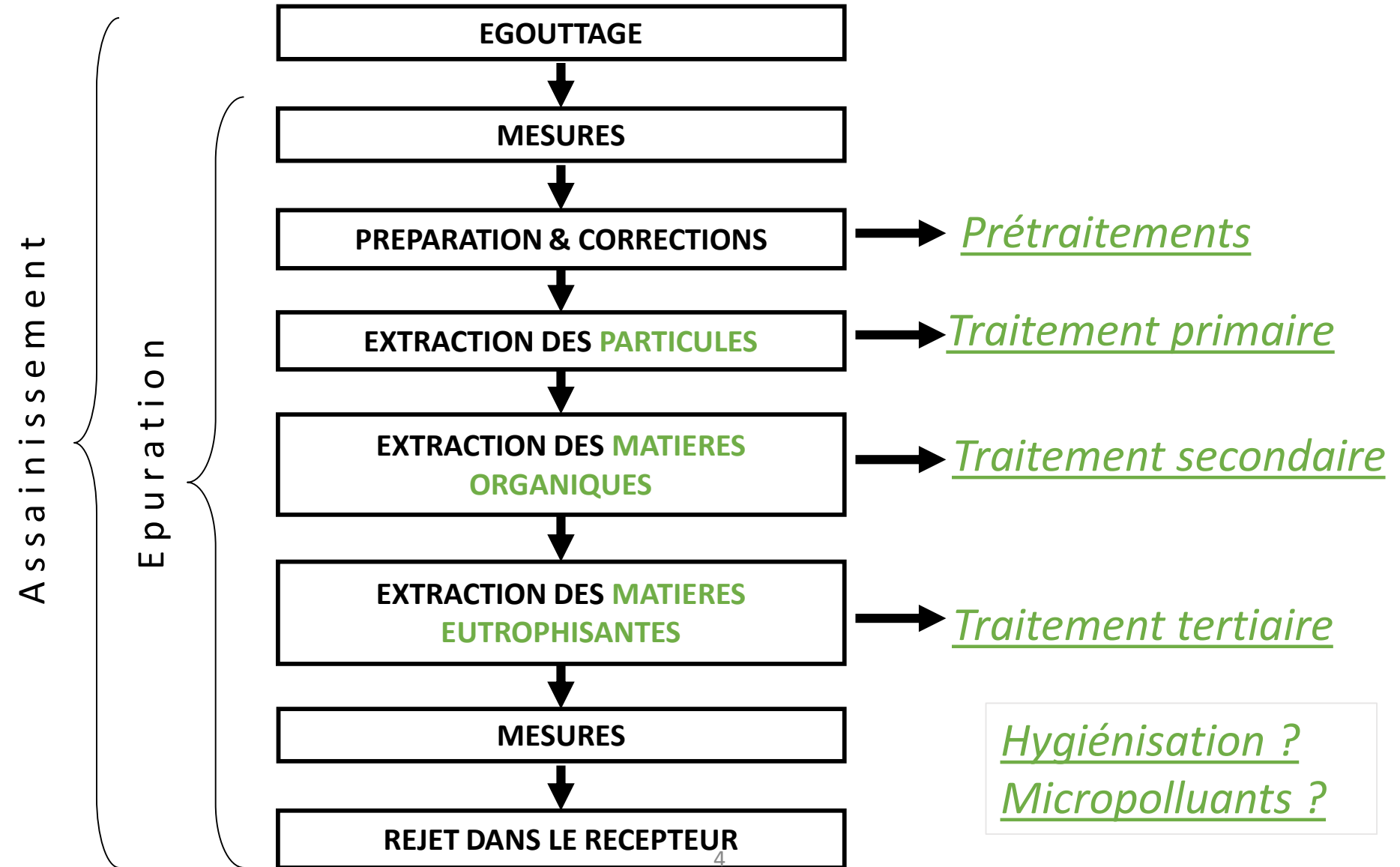
Épuration des eaux

- **Objectif** : éviter pollutions du cycle de l'eau →
contraintes
 - **EU Urbaines**
 - **normes de rejet** selon
 - caractéristiques du cours d'eau récepteur (respect des normes d'immission)
 - type d'assainissement (collectif ou autonome)
 - fonctionnement continu
 - **EU Industrielles**
 - **normes de rejet** (= **normes générales, sectorielles, particulières ou intégrales**) selon
 - caractéristiques du récepteur : eau de surface, réseau d'égout relié à une step, rigoles à ciel ouvert, ...
 - caractéristiques du processus de production : charges polluantes, continu / discontinu, ...

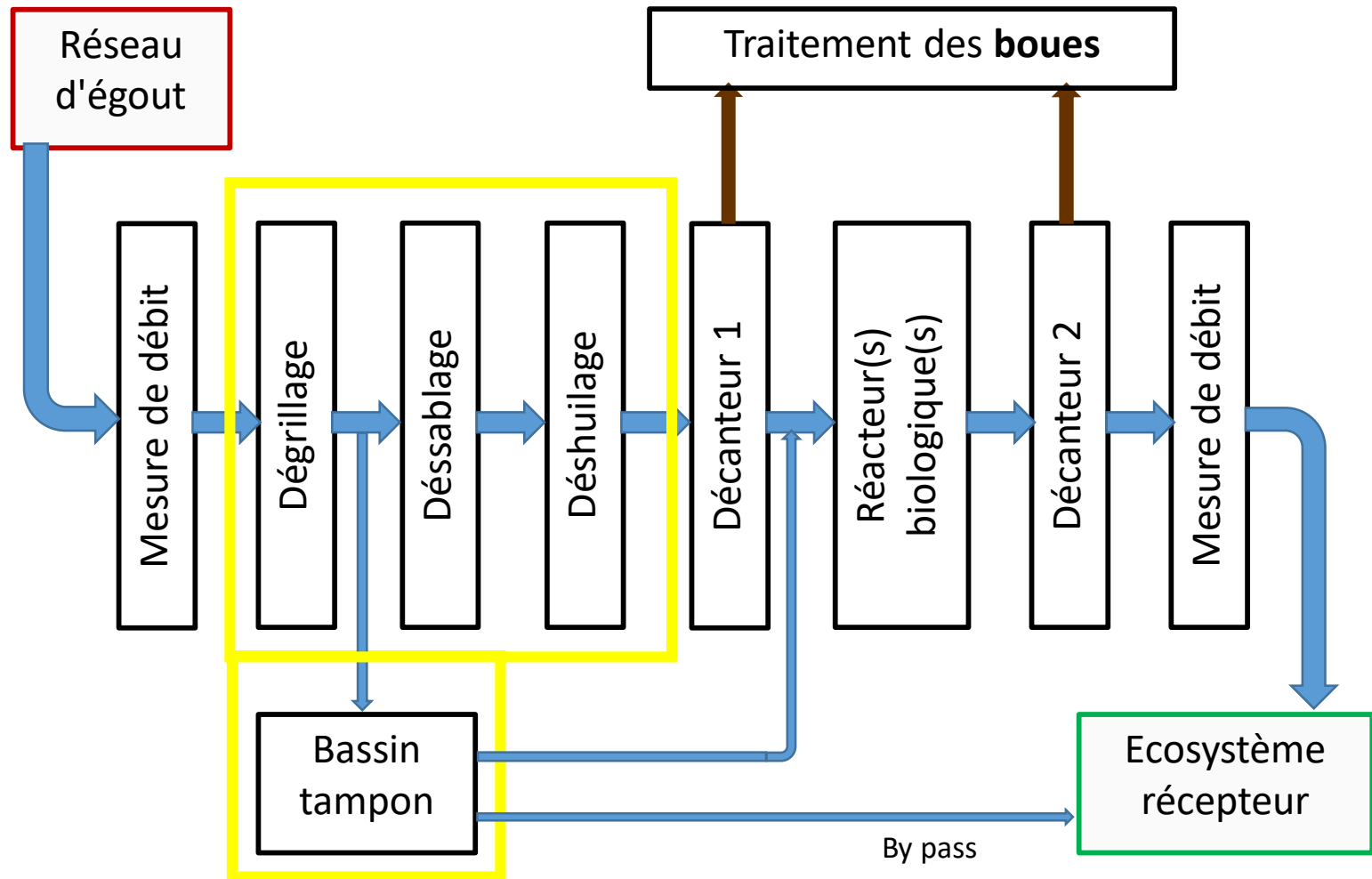
Epuration des eaux



Structure de l'assainissement



Structure globale



Gestion des eaux usées

- Contexte général
- Caractérisation des eaux
- Gestion des eaux usées
 - Introduction
 - Les prétraitements
 - Le traitement primaire
 - Le traitement secondaire
 - Le traitement tertiaire
 - Le traitement des boues

Mesures de débit



Jaugeurs Venturi (www.aide.be)

Prétraitement

FONCTION : protéger la station

- Protection hydraulique
 - encombrement → Piège à cailloux
 - bouchages → Prédégrillage
 - grippage pompes → Dégrillage
 - corrosion → Déssablage
 - ... → Déshuilage
- Protection biologique
 - à coups → Bassin tampon (=bassin d'orage)
 - concentrations / dilution → Bassin tampon (=bassin d'orage)

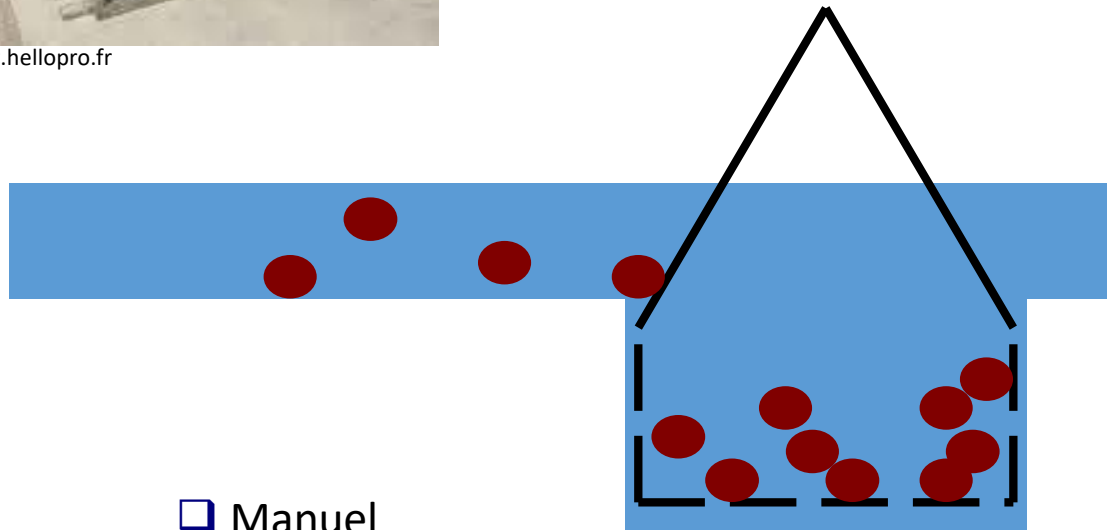
Piège à cailloux



www.hellopro.fr

PIEGE A CAILLOUX

FONCTION : extraire les éléments volumineux et lourds



Manuel

Automatique asservi au temps ou au poids

Dégrillage

FONCTION : Extraire les éléments volumineux

- Prédégrillage : espacement > 6 mm
- Dégrillage : 2 mm < espacement < 6 mm
- Dégrillage fin : espacement < 2 mm
- Grille droite ou courbe
- Step by step

Surface de la grille :

$$S = \frac{Q}{V \times O \times C}$$

<http://lycees.ac-rouen.fr>

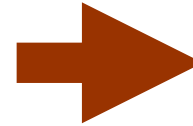
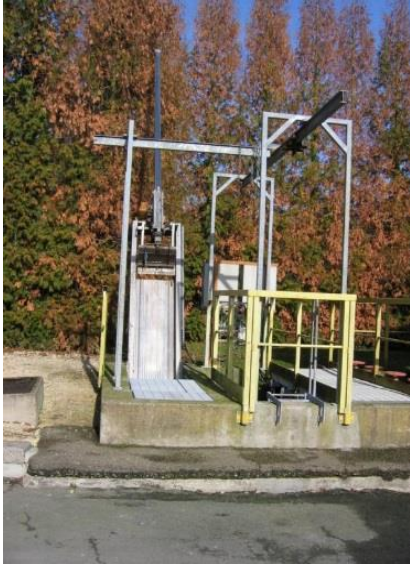
Q = débit in

v = vitesse du flux (0,3 < v < 0,6 m/s)

o = coefficient de colmatage (0,3 si dégrillage manuel ; 0,5 si automatique)

c = espace libre entre barreaux / (espace libre + épaisseur des barreaux)

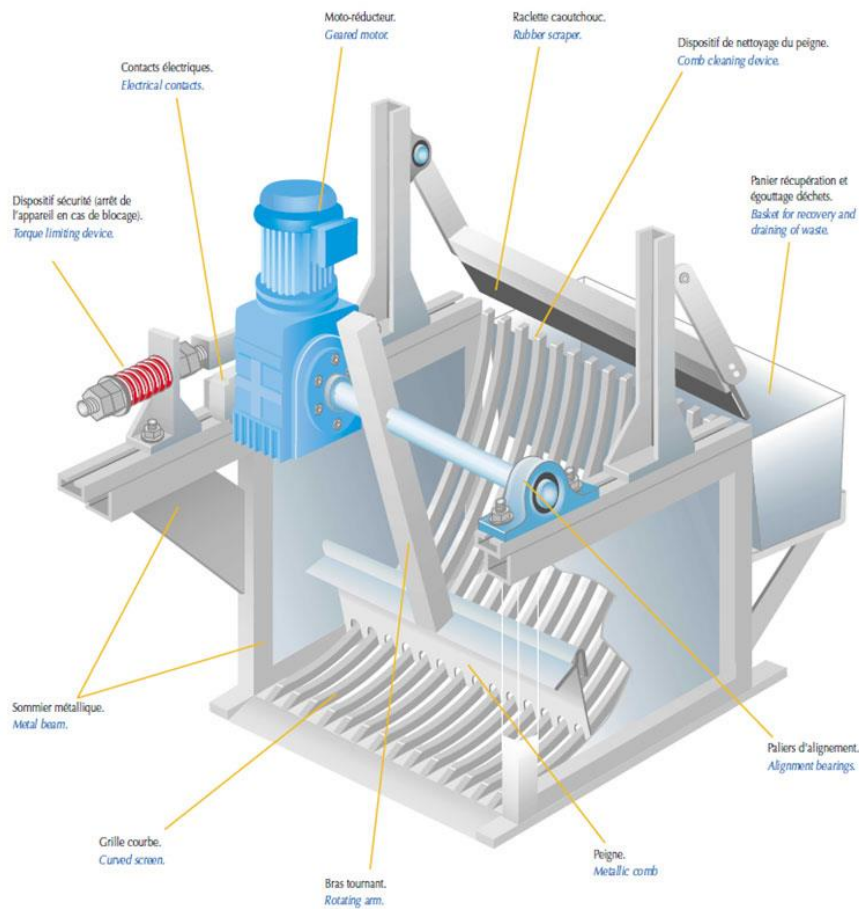
Dégrillage



Déchets ménagers

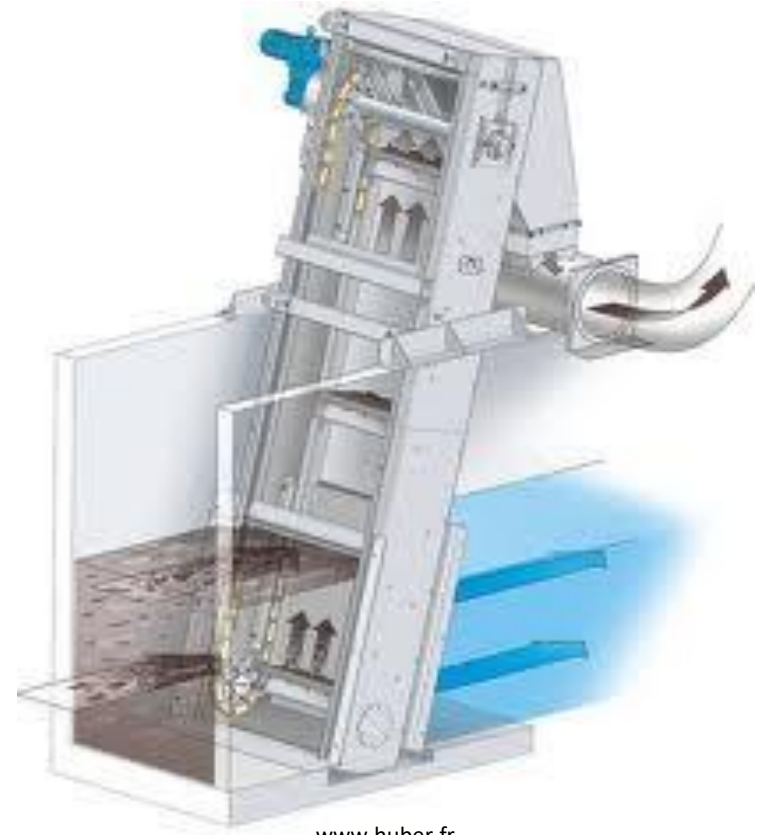


Dégrillage



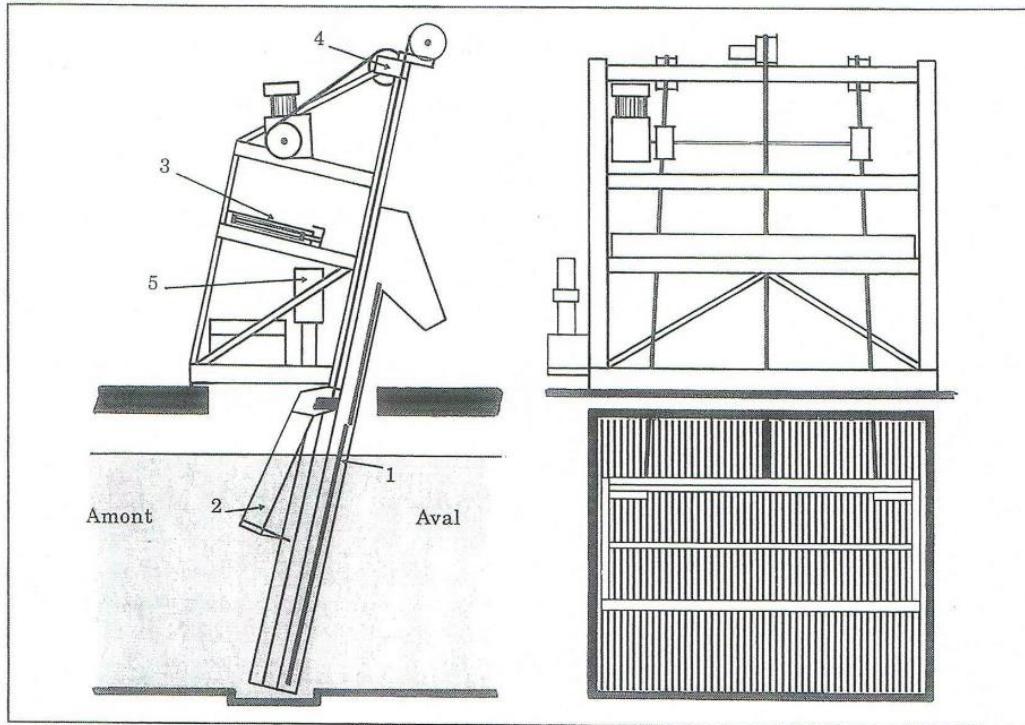
www.europelec.com

Grille courbe



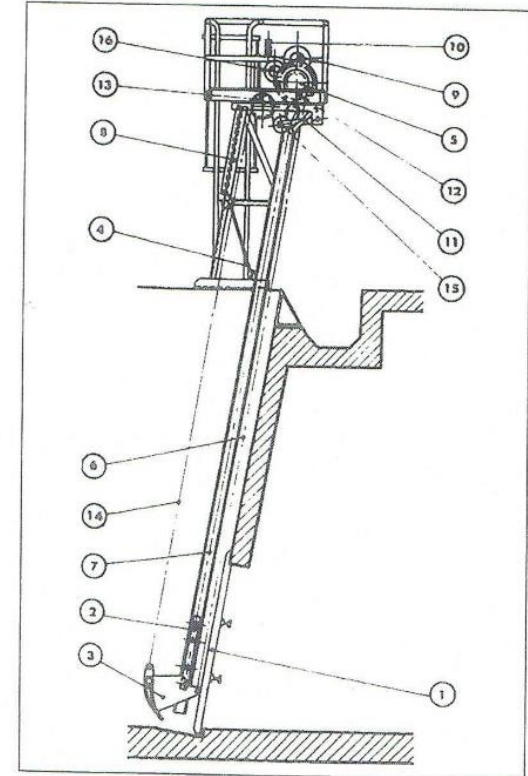
Grille droite

Dégrillage



1. Châssis rigide avec champ de grille. 2. Chariot porte-peigne. 3. Éjecteur. 4. Ligne d'arbre de relevage.
5. Centrale hydraulique.

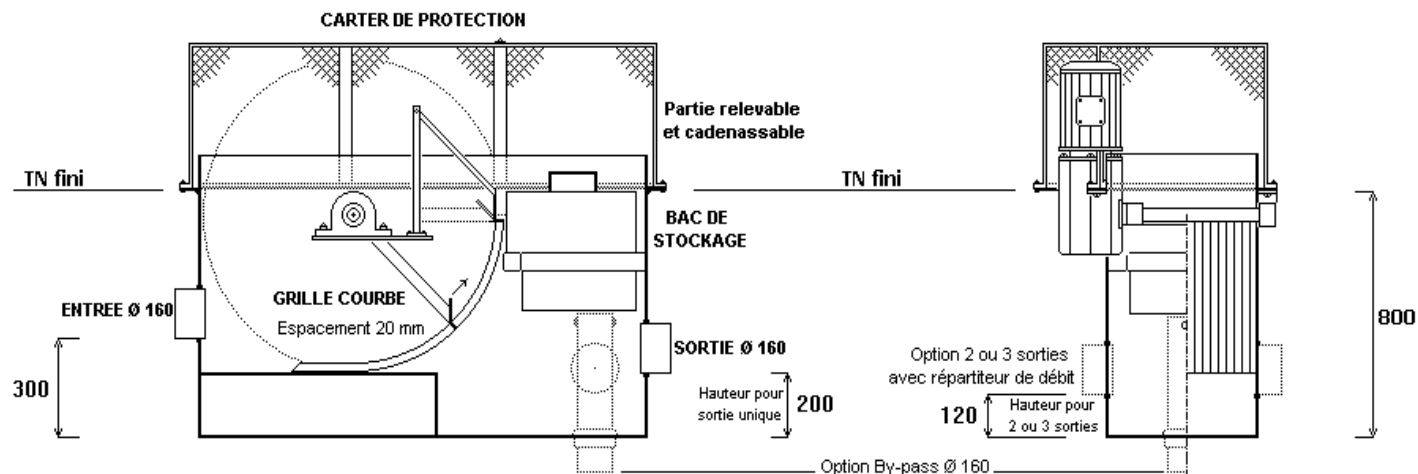
Schéma de principe d'une grille droite GDC.



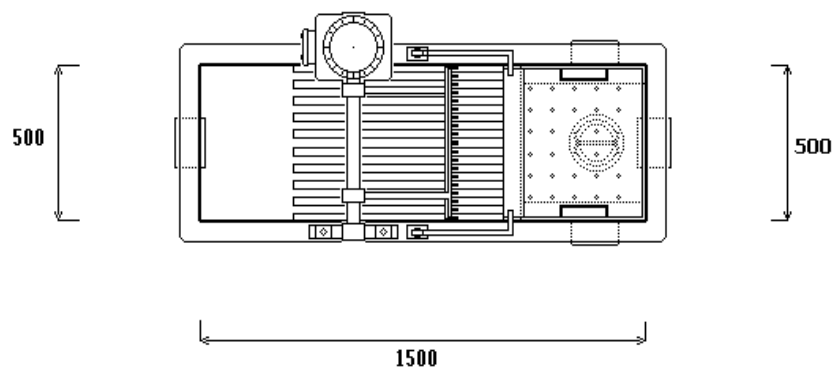
Grille droite

Dégrillage

01/01/2011



NOTA : La mise en place devra être exécutée selon les prescriptions fournies avec l'équipement.



NOTA : Toutes les parties métalliques sont réalisées en ALUMINIUM.

Ce plan est la propriété de la SAS **ABT** et ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation

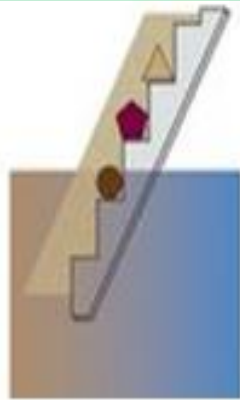
SAS **ABT** Usine et siège Parc d'Activités LES SABLES
296, avenue Pasteur 33185 LE HAILLAN
TEL : 0 556 130 023 FAX : 0 556 130 295
Site internet : www.abt.fr

DEBIT MAXIMUM 40 m³/h
PLAN DE PRINCIPE
OUVRAGE DE DEGRILLAGE COURBE

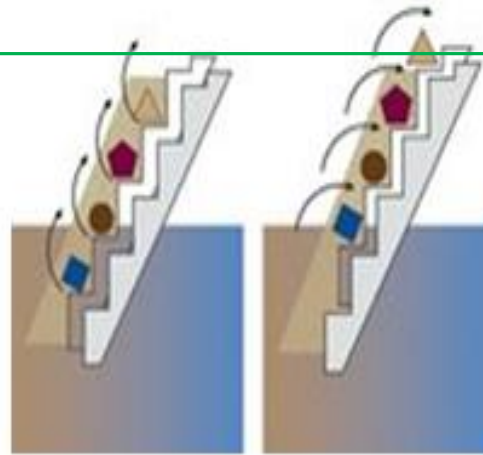
www.abt.fr

Grille courbe

Dégrillage



Phase 1: Les matières se déposent et constituent un tapis filtrant



Phase 2 + 3: Le tapis filtrant est décollé par la mise en rotation des lamelles mobiles



Phase 4: Le tapis est soulevé et déposé sur la marche supérieure suivante

www.huber.fr

"step by step"



Dégrillage

Dégrilleur rotatif



<http://veoliawatertechnologies.com/>

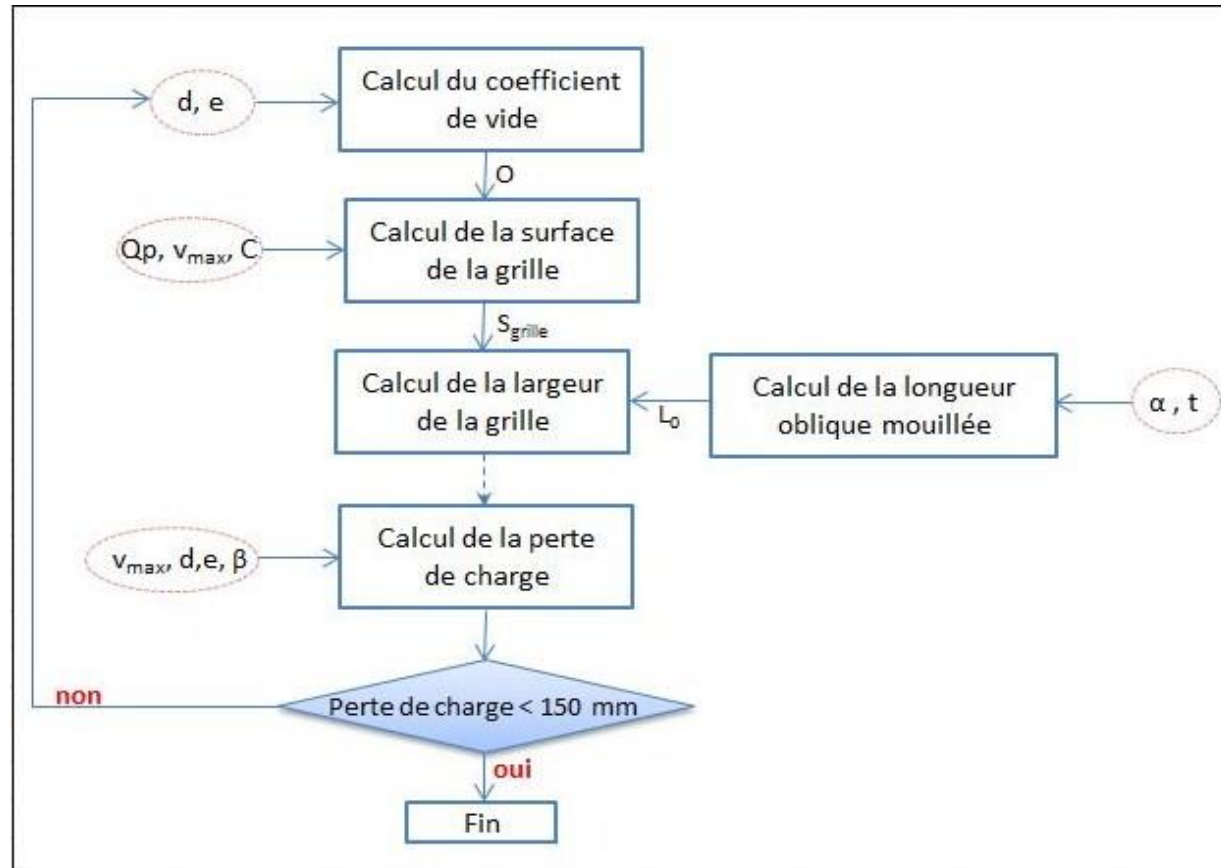


<http://www.matevi-france.com/>

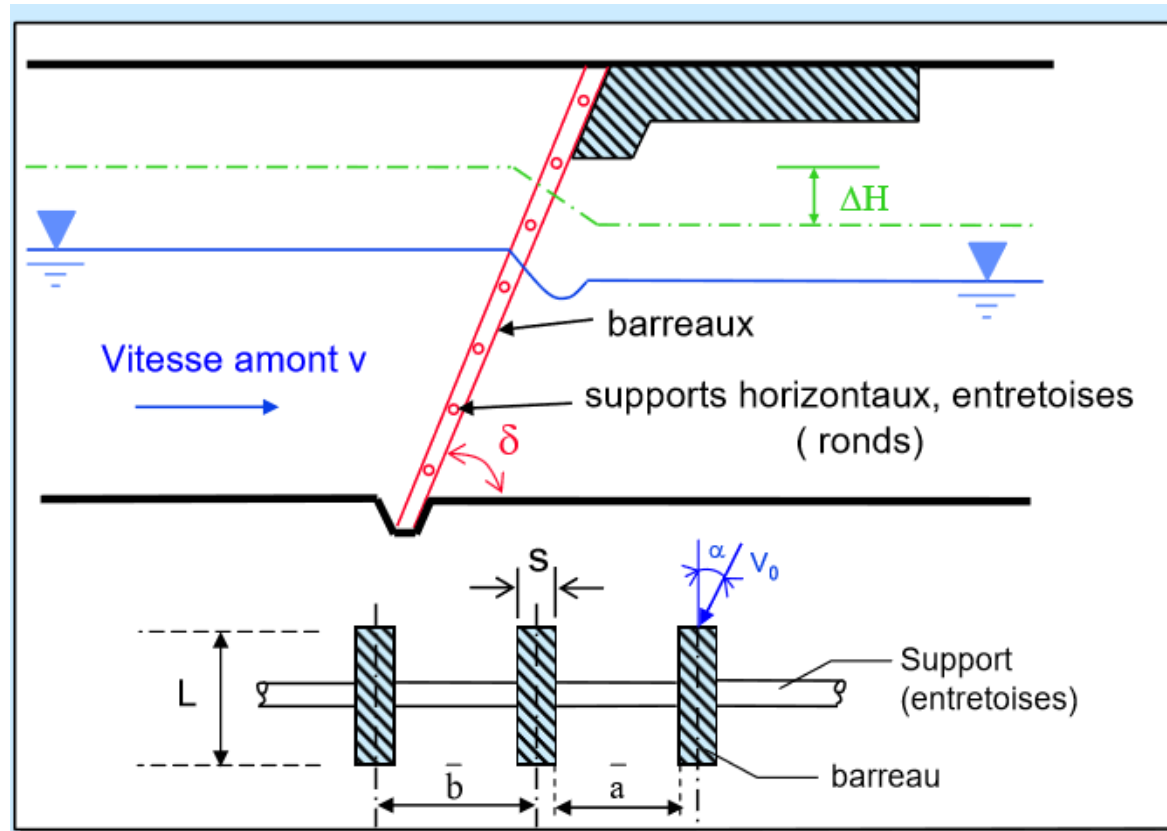


www.hellopro.fr/

Dégrillage



Dégrillage



$$\Delta H = \xi_g \cdot \frac{v_0^2}{2g}$$

$$\xi_g = \beta_g \cdot \xi \cdot c \cdot (\sin \delta) \cdot K$$

Dégrillage

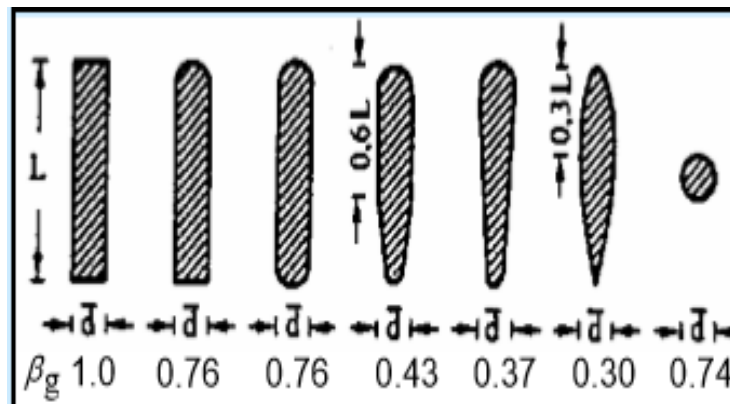
$$\Delta H = \xi_g \cdot \frac{v_0^2}{2g}$$

$$\xi_g = \beta_g \cdot \xi \cdot c \cdot (\sin\delta) \cdot K$$

Pour $L/s \approx 5$ et $a/b > 0,5$ (b = espacement et a = ouverture), on a

$$\xi = \frac{7}{3} \left(\frac{b}{a} - 1 \right)^{\frac{4}{3}}$$

β_g = facteur de forme du barreau



Dégrillage

c = coefficient de la grille

- $c = 1$ si grille non obstruée
- $1,1 < c < 1,3$ si grille à nettoyage mécanique
- $1,5 < c < 2$ si grille à nettoyage manuel

K = facteur de la direction de l'écoulement

$\alpha \backslash s/a$	1.00	0.80	0.60	0.40	0.20
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20°	1.14	1.18	1.24	1.31	2.24
40°	1.43	1.55	1.75	2.10	5.70
60°	2.25	2.62	3.26	4.40	

Exercice

Un dégrilleur mécanique est utilisé dans un canal où la vitesse du flux est de 0,64 m/s pour un débit de 0,15 m³/s. Calculer la surface de la grille ainsi que sa largeur si les caractéristiques techniques de la grille sont celles reprises dans le tableau.

Quelle est la perte de charge dans la grille non colmatée (K négligeable)? Est-elle conforme aux pertes de charges maximales (150 mm)?

Caractéristique	Valeur	Unité
Epaisseur des barreaux	10	mm
Espacement entre les barreaux	15	mm
Angle d'inclinaison	60	°
Hauteur de tirant d'eau	0,4	m
Coefficient de colmatage	0,5	/

Dessablage - Déshuilage

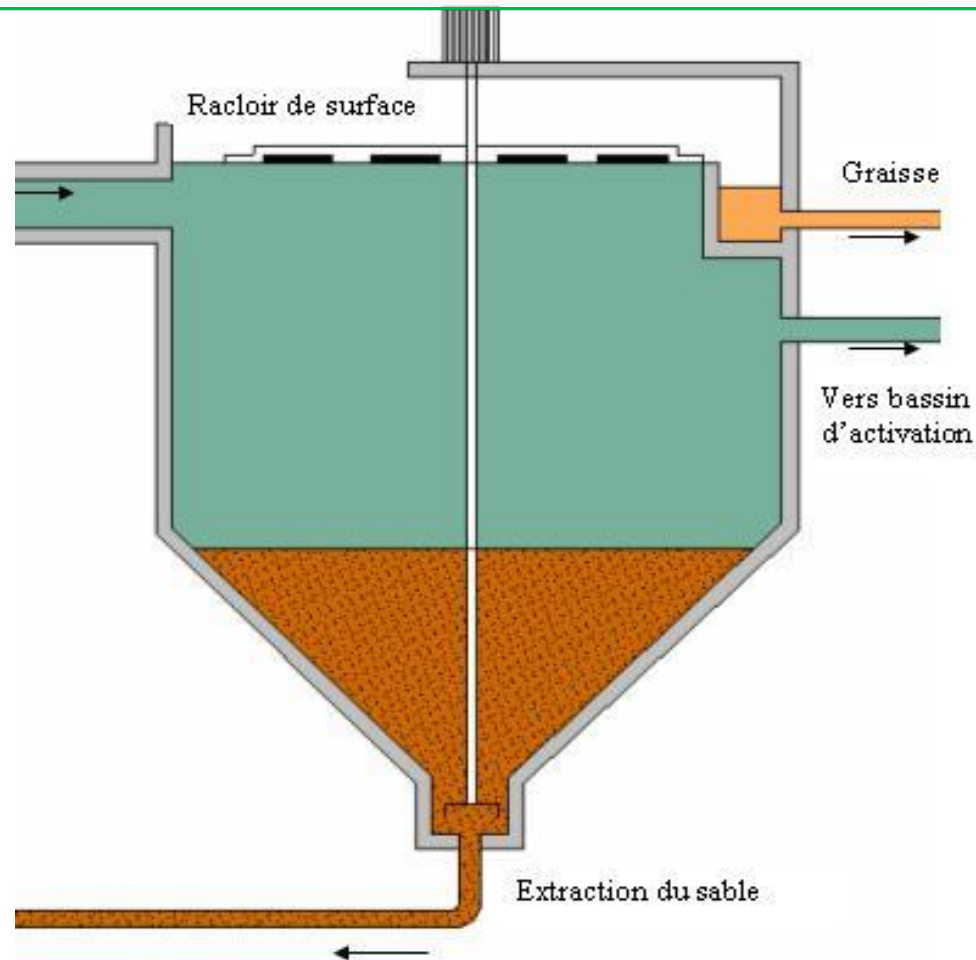
FONCTIONS

- **Déssablage** → extraire les **Matières décantables** = particules denses et +/- volumineuses ($\emptyset \geq 200 \mu\text{m}$), susceptibles de décanter avant les décanteurs
- **Déshuilage** → extraire les **éléments légers** non retenus au dégrillage

Dessablage - Déshuilage

- Décantation simple
 - Particules denses ↘
 - Particules légères ↗
- Décantation améliorée → injection d'air (moyennes bulles)
 - **Agitation** → séparation particules – gangue organique → !
décantation ??? → **zone de tranquillisation**
 - ↘ **densité** eau+air → meilleure décantation
 - **Flottation** → entraînement vers le haut de particules adsorbées sur les bulles
- Hydrocyclone
 - Alimentation tangentielle
 - Centrifugation

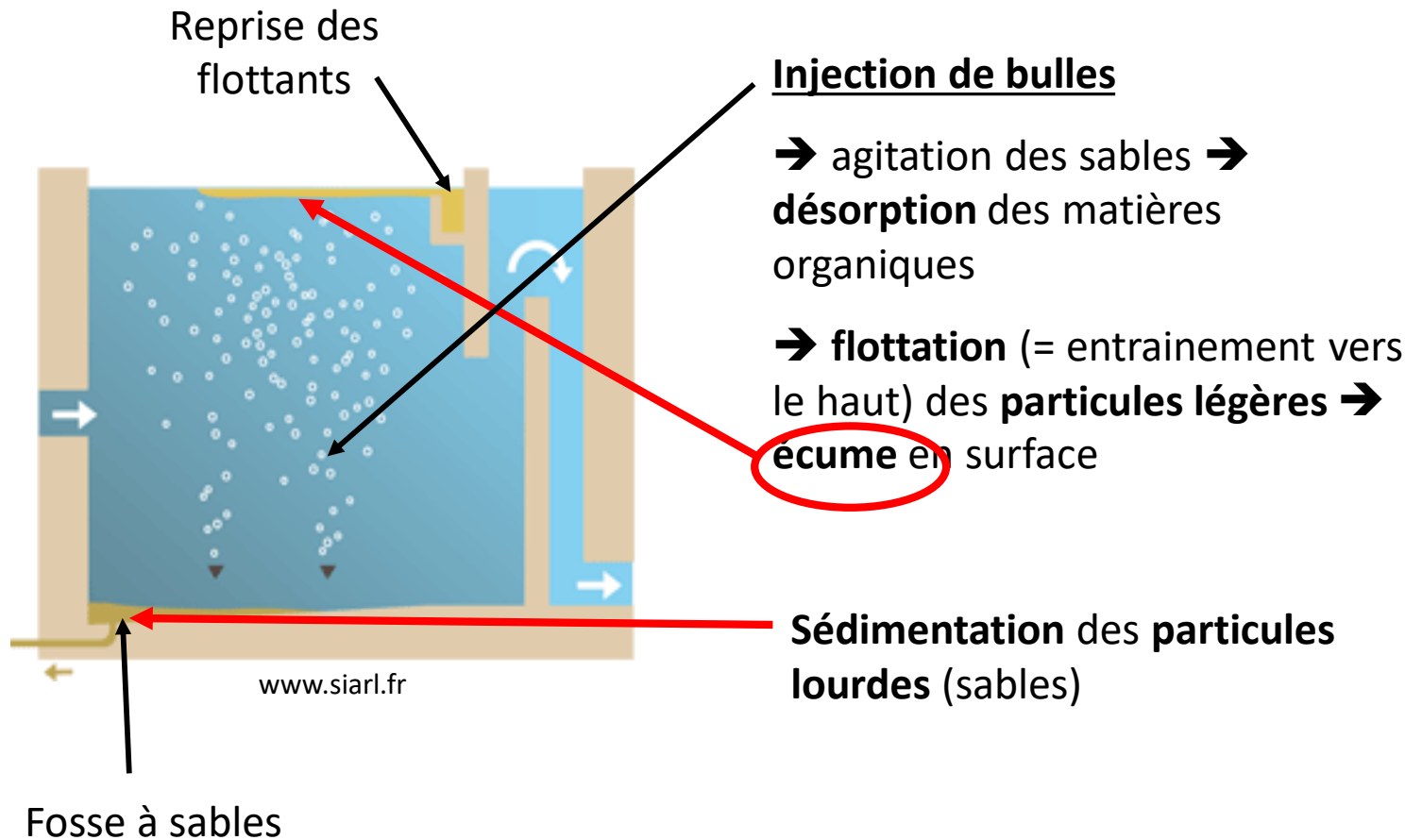
Dessablage - Déshuilage



<http://hmf.enseeiht.fr>

Décantation simple

Dessablage - Déshuilage

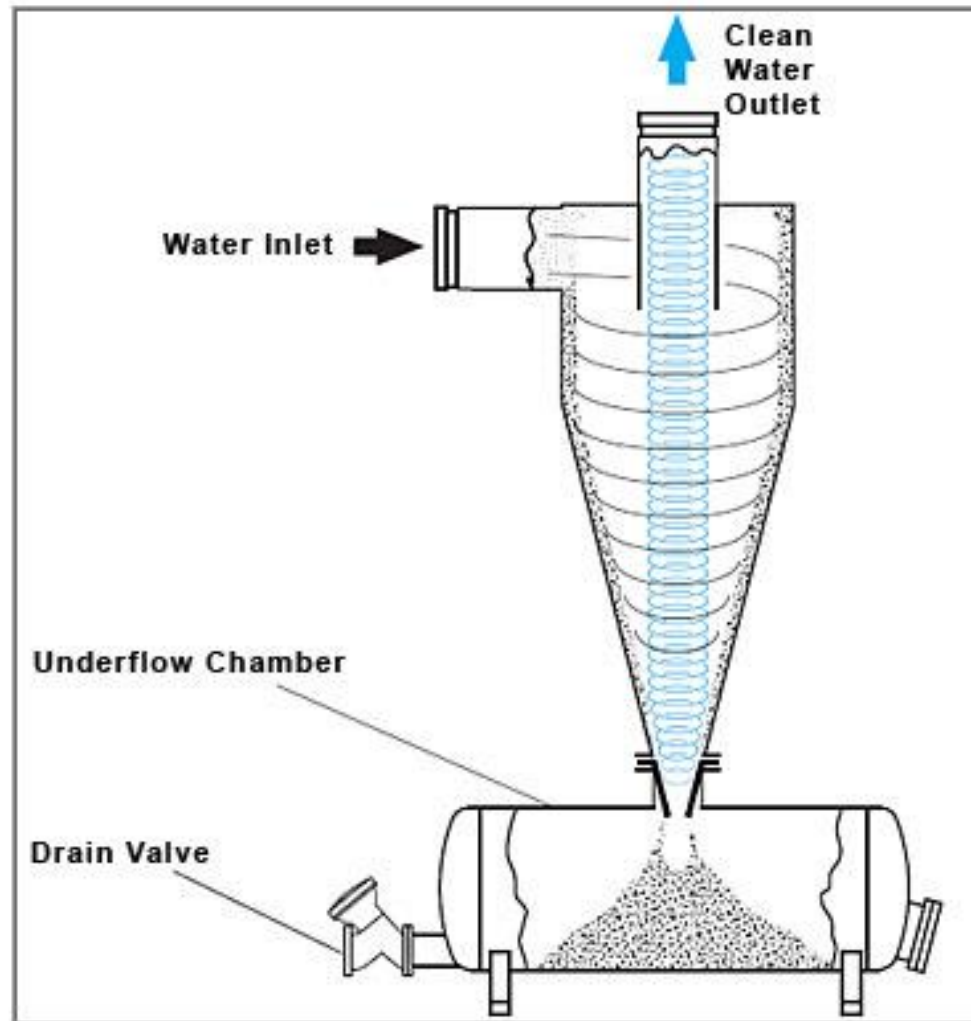


Décantation améliorée

Dessablage - Déshuilage



Dessablage - Déshuilage

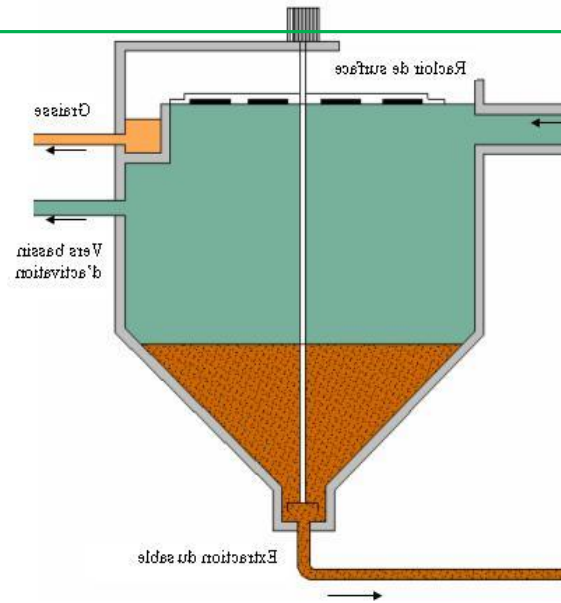


<http://www.psoxin.com>

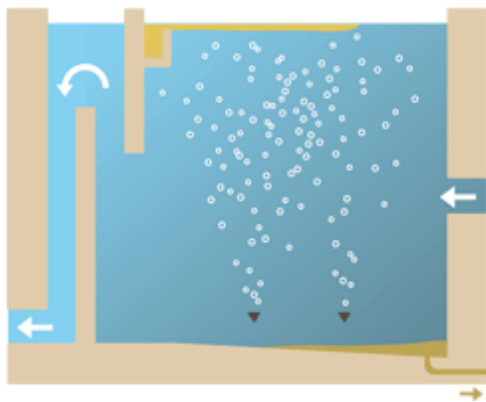
Hydrocyclone

Dessablage - Déshuilage

Egouttage et essorage



<http://hmf.enseeiht.fr>



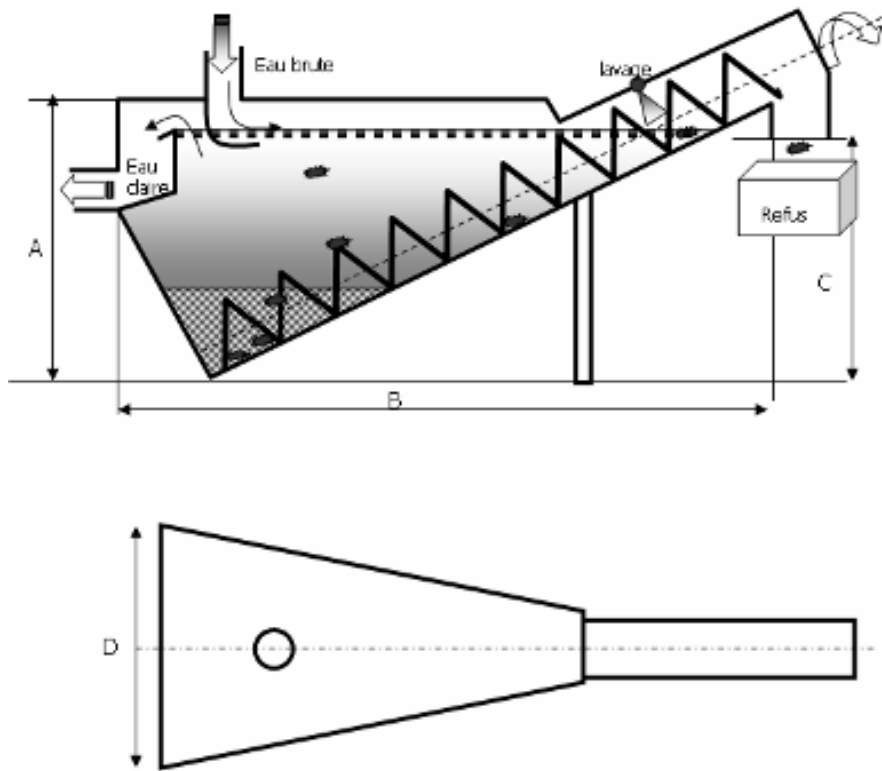
www.siarl.fr



<http://hmf.enseeiht.fr>

Classificateur à sables

Dessablage - Déshuilage



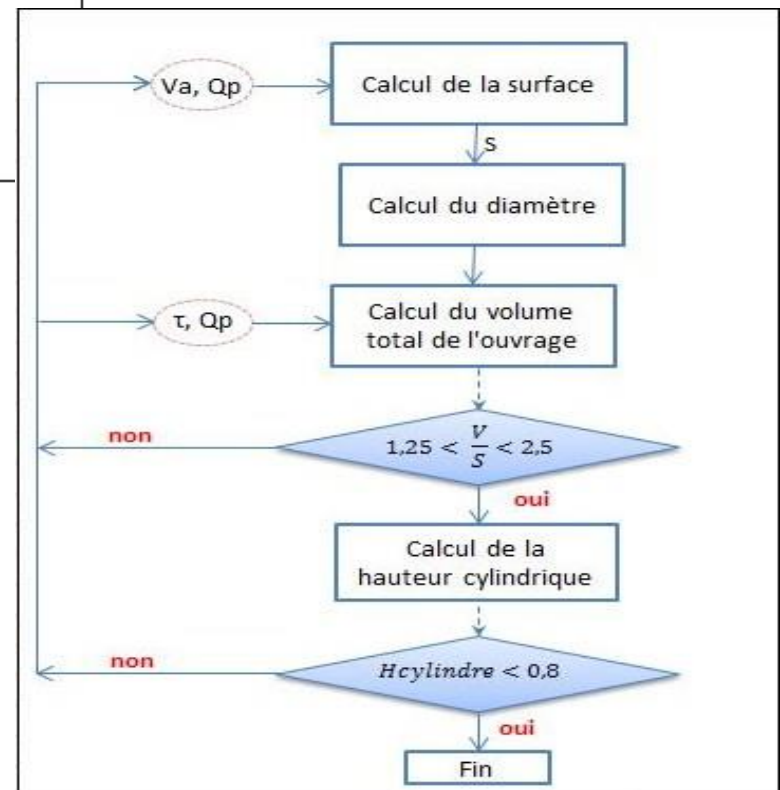
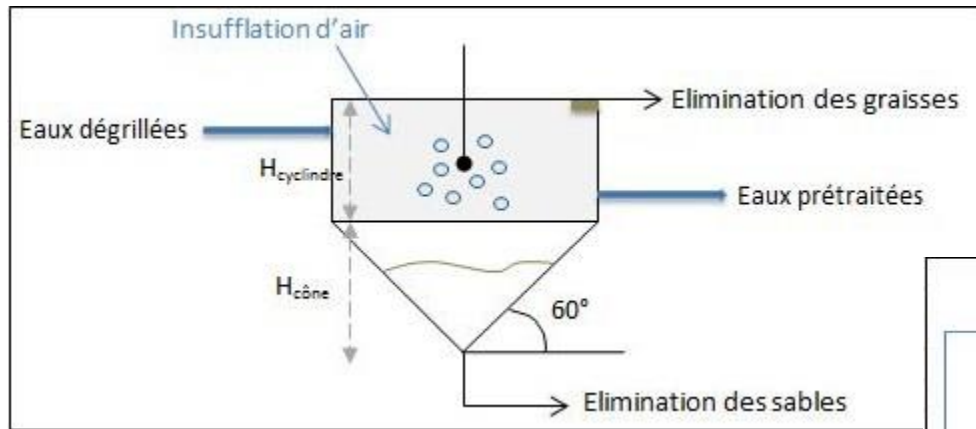
<http://www.serinol.com/>

Classificateur à sables



<http://www.spf.fr/>

Dessablage - Déshuilage



Exercice

En supposant un débit d'entrée moyen de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ et un débit de pointe quatre fois plus important, calculer les dimensions d'un réservoir circulaire sur base d'un temps de séjour de 8 minutes et d'une vitesse ascensionnelle de 15 m/h .

Quel sera le débit d'air en m^3/min si un débit de $0,3 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m})$ est appliqué ?

Que consomme pour un m^3 par an ce système d'aération en supposant une puissance moyenne de 25 W/m^3 d'air pulsé ?

Gestion des eaux usées

- Contexte général
- Caractérisation des eaux
- Gestion des eaux usées
 - Introduction
 - Les prétraitements
 - Le traitement primaire
 - Le traitement secondaire
 - Le traitement tertiaire
 - Le traitement des boues

Traitement primaire

FONCTION

POLLUTION INSOLUBLE

- Extraire les **MATIÈRES EN SUSPENSION (MES)**
 - Particules fines ($\geq 0,45 \mu\text{m}$) \rightarrow colloïdes
 - Minérales ou organiques
 - Fermentation possible \rightarrow risque d'odeurs

\rightarrow BOUES PRIMAIRES

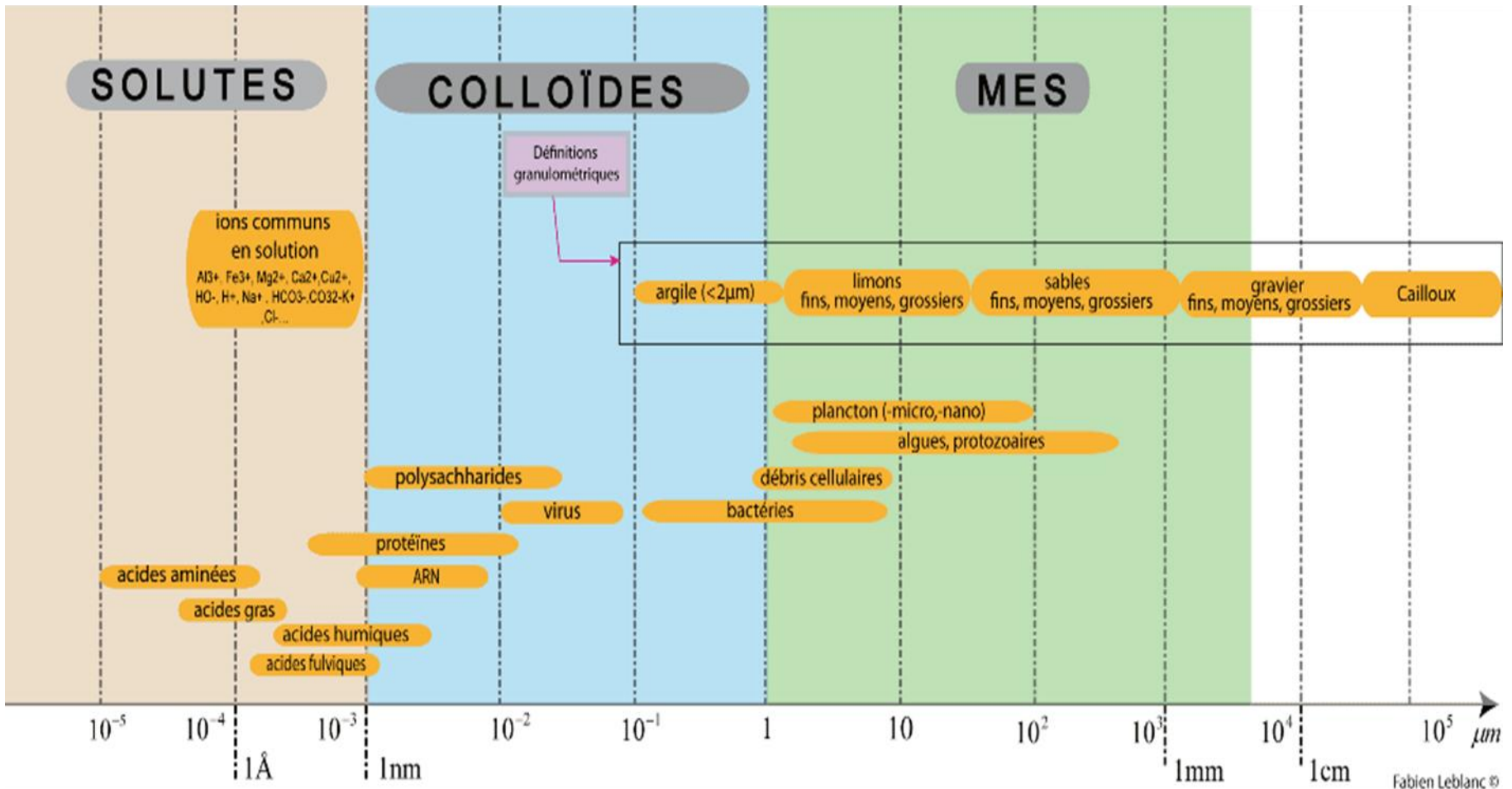
JUSTIFICATION

- Envasement
 - \rightarrow \downarrow aération \rightarrow risque d'anoxie \rightarrow \downarrow autoépuration
 - \rightarrow difficultés d'enracinement et de nidation
- Polluants adsorbés : métaux lourds, hydrocarbures, ...

Traitement primaire

Diamètre de la particule [μm]	Type de particules	Temps de décantation pour 1m d'eau	Surface spécifique [m^2/m^3]
10^4	gravier	1s	10^2
10^2 à 10^3	sable	10 s à 2 minutes	10^3 à 10^4
10	limon	2 heures	10^5
1	Argile «grossière»	2 jours	10^6
10^{-1}	bactérie	8 jours	
10^{-3} à 10^{-1}	Colloïdes fins	2 à 20 ans	

Tailles des constituants d'une eau résiduaire



<http://technique.eau.free.fr>

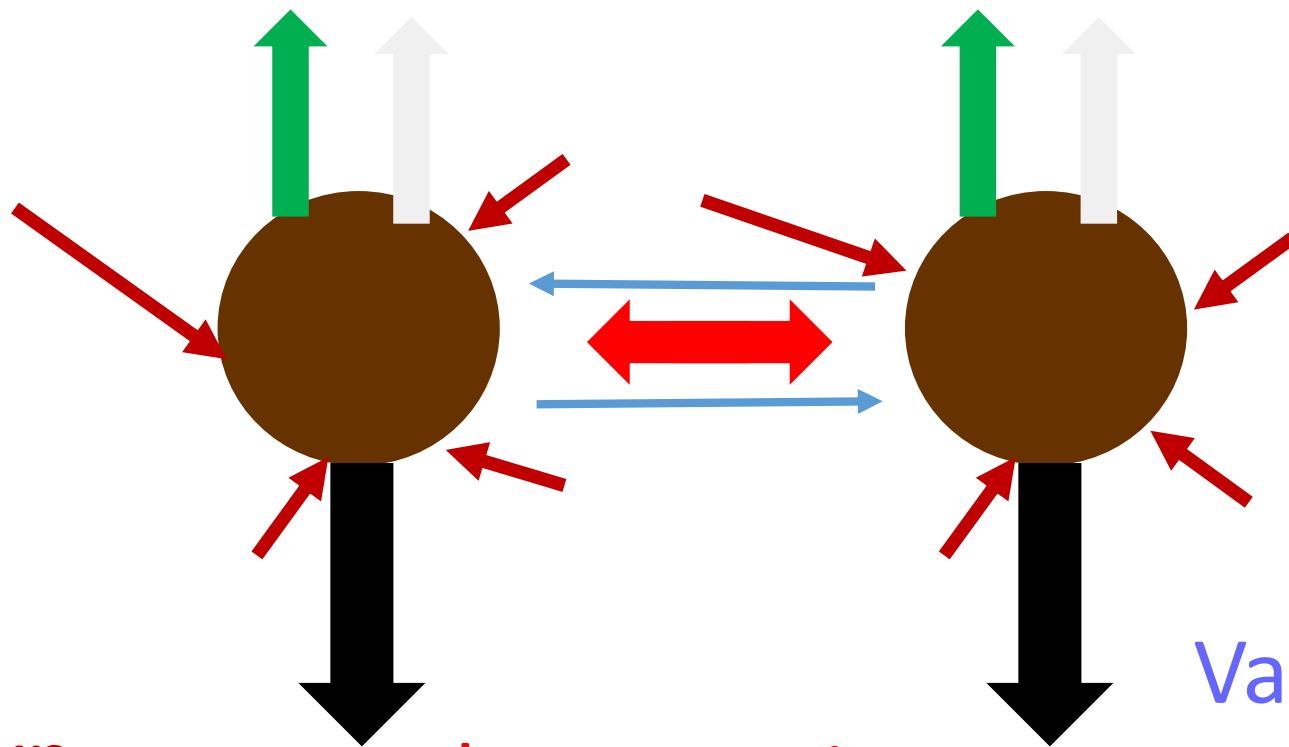
Fabien Leblanc ©

Forces appliquée à des particules en suspension dans un fluide

Gravité

Archimède

Frottements



Brown

Electrostatique
(répulsion)

Van der
Waals
(attraction)

Forces appliquée à des particules en suspension dans un fluide

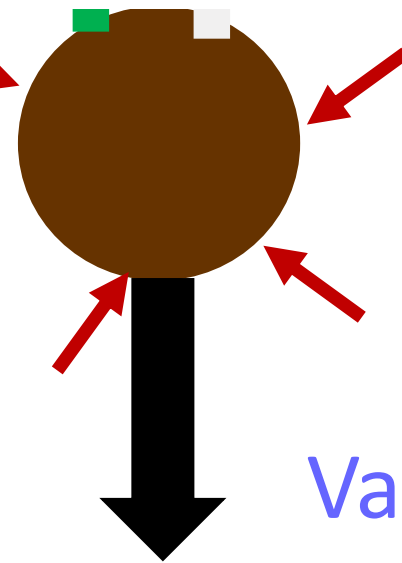
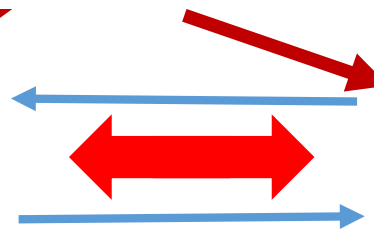
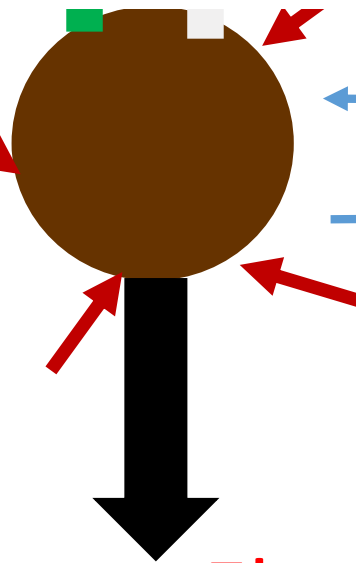
Gravité

Archimède

Frottements



Forces apparemment appliquées à des particules fines en suspension dans un fluide → **suspension colloïdale**

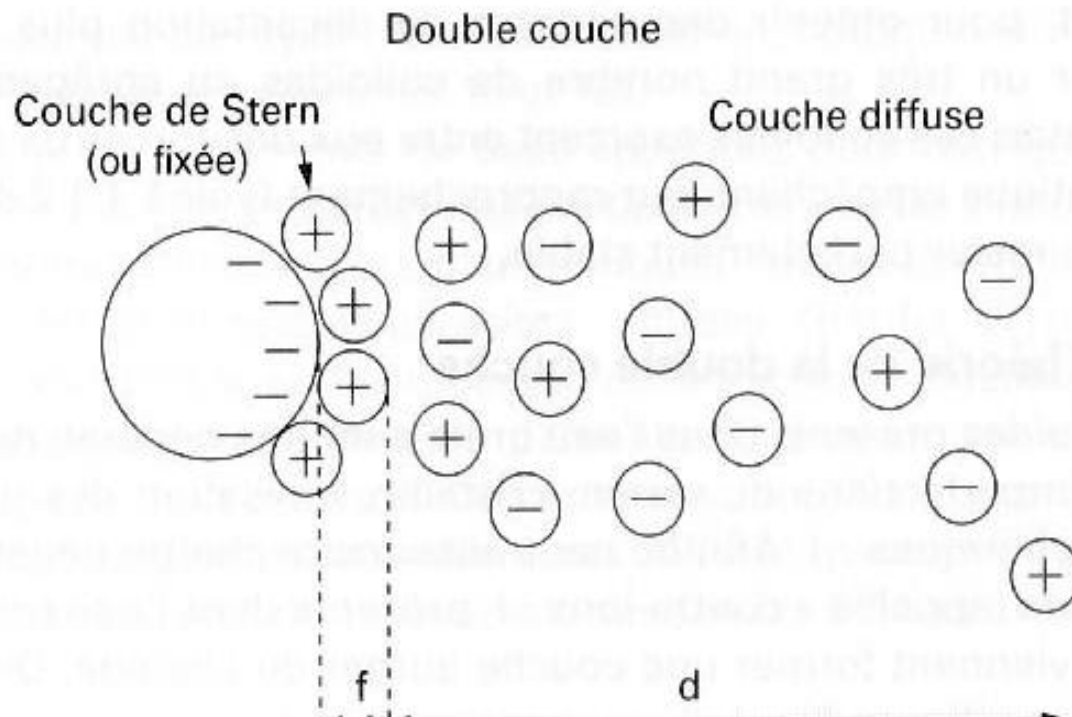


Brown

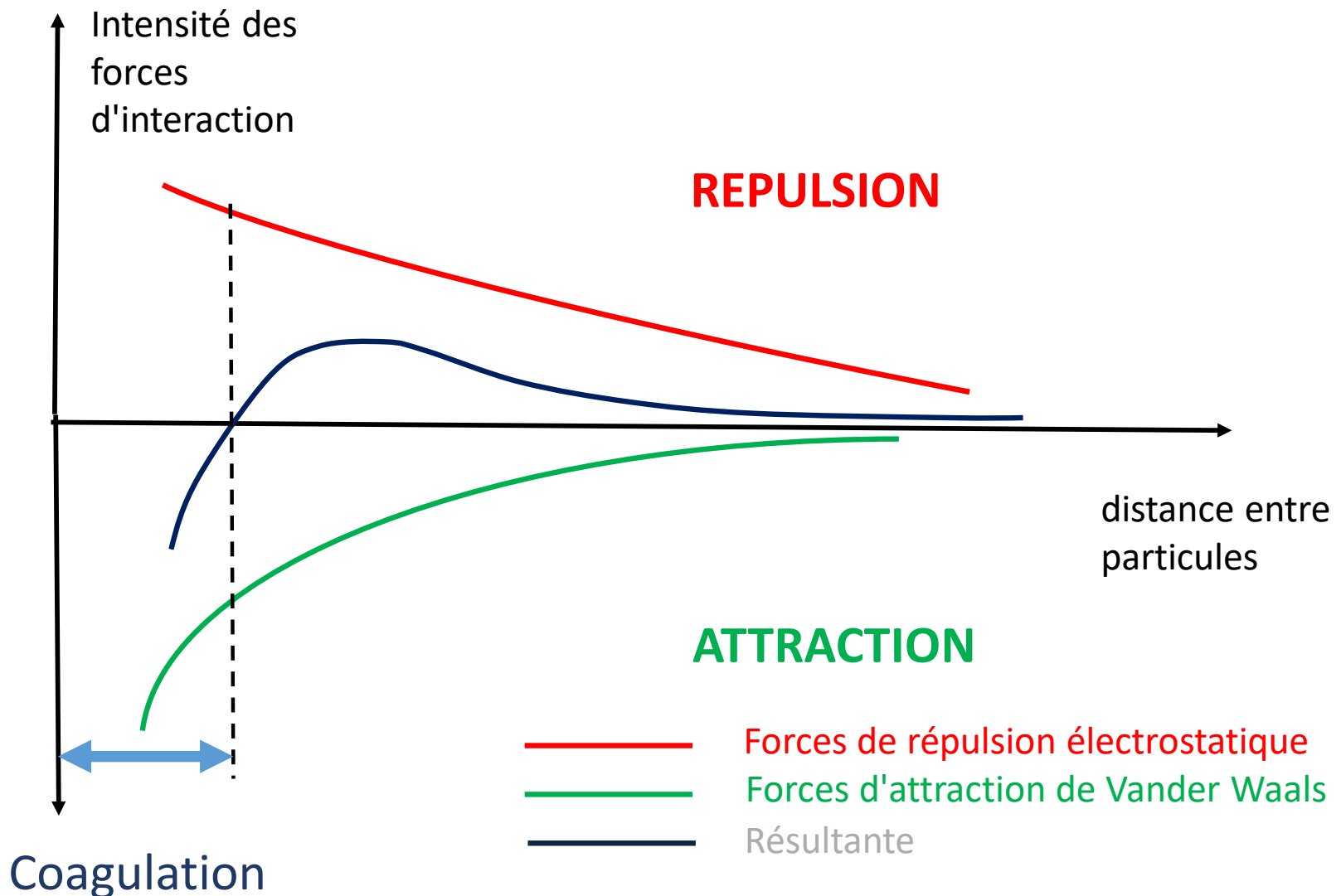
Electrostatique
(répulsion)

Van der
Waals
(attraction)

Coagulation – flocculation



Coagulation – flocculation



Coagulation

- Objectif : déstabiliser une suspension colloïdale
- Processus
 - neutralisation des charges → **diminution des forces de répulsion**
 - compression des couches répulsives → **diminution de la distance** entre particules

Coagulation

• Méthodes

- **Coagulation mécanique** → rapprochement suffisant via une agitation intense
- **Coagulation physico-chimique**
 - Coagulation électrostatique → neutralisation des forces électrostatiques répulsives par mélange d'un électrolyte à la suspension
 - Coagulation par adsorption → adjonction d'ions fortement chargés qui se fixent sur la particule et s'associent entre eux par polymérisation → Fe^{+++} et Al^{+++} → **microfloculation**
 - Préfloculation → adjonction d'un polyélectrolyte : polymère naturel (amidon, gomme de Guar, gélatines, ...) ou synthétique (polyacrilamide, polyvinylpyridinium, polyacrylate, ...) → **microfloculation**

Floculation

- Objectifs

- Former des particules (**flocs**) **sédimentables**
- Améliorer la **filtrabilité** d'une suspension (déshydratation des boues)

- Processus en 2 temps

- microfloculation

- = agrégation des particules neutralisées → microflocs ($0,01 \mu\text{m} \rightarrow 1 \text{ à } 10 \mu\text{m}$)
- provoquée par mouvement brownien ($\div T^\circ$) et polymérisation des sels métalliques hydratés

- macrofloculation

- = regroupement de microflocs → **flocs** ($1 \text{ à } 10 \mu\text{m} \rightarrow \text{quelques mm}$)
- provoquée par "floculants" et/ou agitation mécanique induite

Floculation

• Facteurs

- Contacts (chocs) → agitation (orthocinétique)
- Concentration $\Delta!$ risque de défloculation si excès
- Nature des flocculants → formation de floccs volumineux et solides
 - (coagulants après polymérisation)
 - Silice activée
 - Polymères organiques naturels (alginates)
 - Polymères organiques synthétiques anioniques, cationiques ou non ioniques
 - ...

Décantation

PRINCIPE

- Séparation solide / liquide
- Processus purement physique
- Action exclusivement **gravitaire**
- Intervention en step
 - **Déssableur** → extraction particules denses (matières décantables)
 - **Décanteur primaire** → extraction particules fines (MES)
 - **Clarificateur** → extraction bioflocs (MVS)
 - **Epaississeur à boues** → augmentation de la [Matières sèches]

Décantation

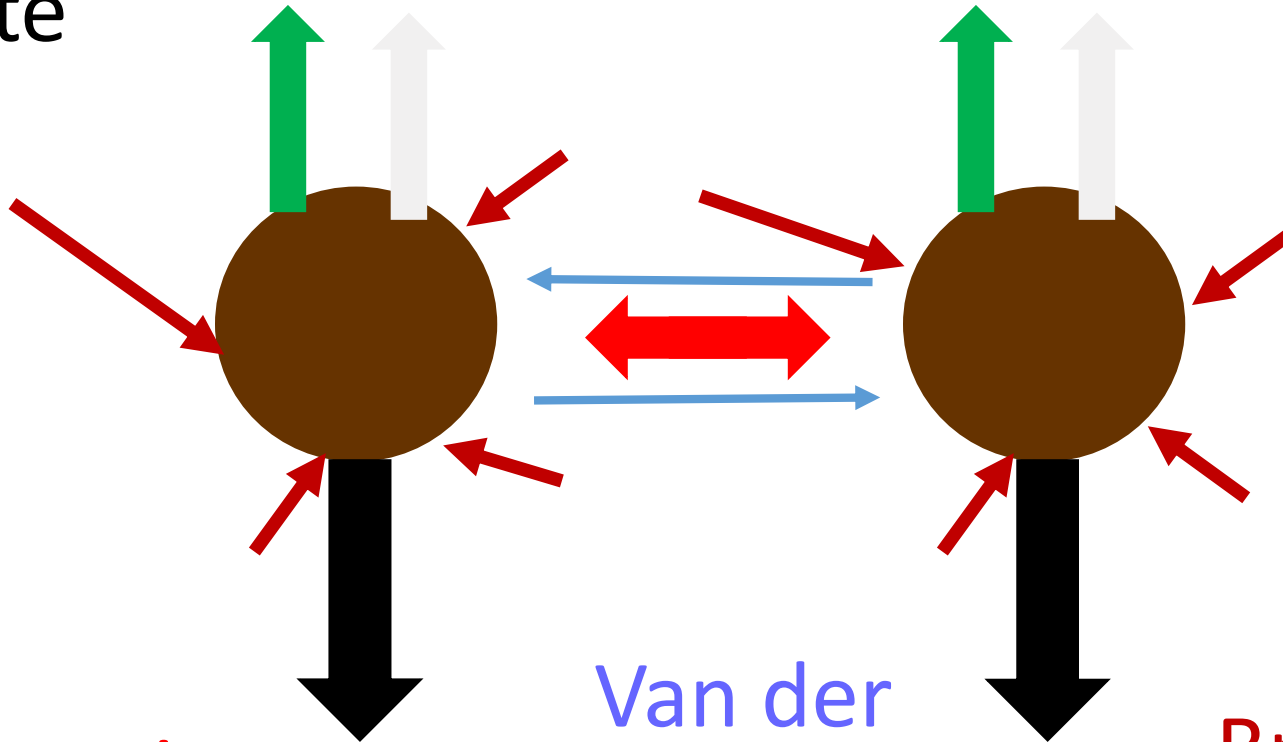


Gravité

Forces appliquée à des particules **denses** en suspension dans un fluide → **suspension vraie**

Archimède

Frottements

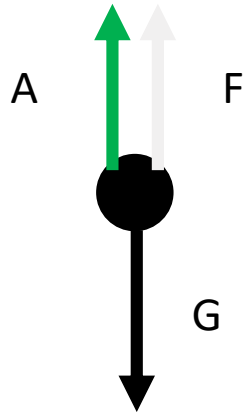


Electrostatique

Van der
Waals

Brown

Décantation



G = force gravitaire = $V \rho_S g$

A = poussée d'Archimède = $V \rho_L g$

F = forces de frottement (f(viscosité ; vitesse)) → **Stokes**
→ $6 \pi r \mu v_l$

avec

V = volume de la particule

r = rayon de la particule

ρ_S et ρ_L = densités de la phase solide (particule) et de la phase liquide (eau)

g = accélération gravitaire

μ = viscosité de la phase liquide (eau)

v_l = vitesse (de chute) limite (constante) atteinte à l'équilibre

D = diamètre de la particule

chute $\Leftrightarrow G > A + F$

$$V \rho_S g > V \rho_L g + 6 \pi r \mu v_l$$

$$v_l = \frac{g D^2 (\rho_S - \rho_L)}{18 \mu}$$

☠ **Particules sphériques et indépendantes**

☠ **Fluide immobile**

Décantation



v_l dépend des **interactions**
entre particules

Types d'interactions

- particules grenues (pas d'interaction) → loi de Stokes
 - Dessablage (MES ≤ 300 mg/L)
 - Clarification = surnageant d'un décanteur (MES ≤ 50 mg/L)

Décantation

Types d'interactions

- Particules floculées (MES entre 50 et 500 mg/L)
 - Tailles variables → vitesses différentes
 - Décantation diffuse

$$v_{s(P)} = \frac{h}{t} = a(1 - P)^b P^{-b} t^{c-1}$$

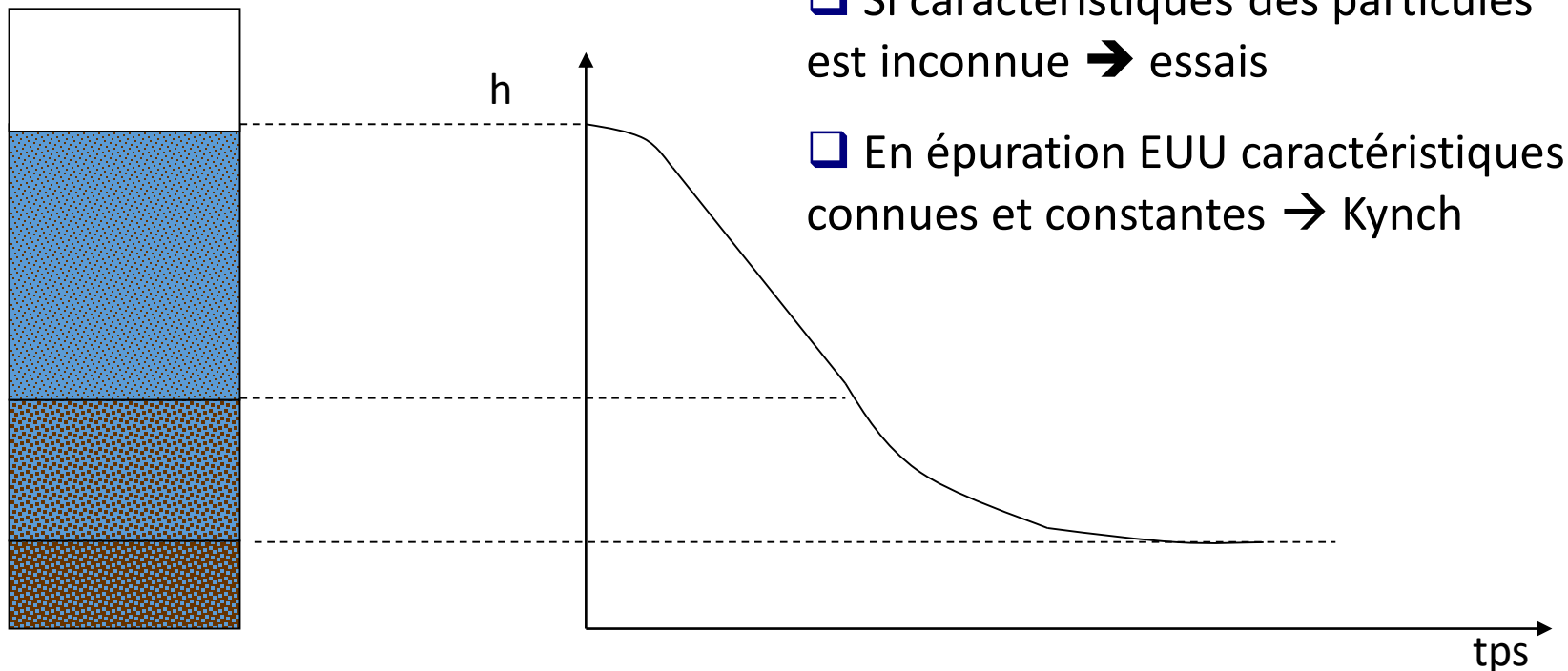
P = taux d'élimination des MES

t = temps

Décantation

Principes de Kynch

- $v_v = f(\text{concentration})$ pour MES ≥ 500 mg/L
- concentration dépend de la profondeur



Décantation



En épuration, particule en suspension dans **FLUIDE** (eau) **MOBILE** !

- ❑ Décanteurs à **flux horizontal** → vitesse "horizontale"
- ❑ Décanteurs à **flux vertical** → vitesse "verticale" de bas en haut

Décantation



Décanteur à flux horizontal



<http://zi.site.maresquel.free.fr/>

Décanteur à flux vertical

Décantation



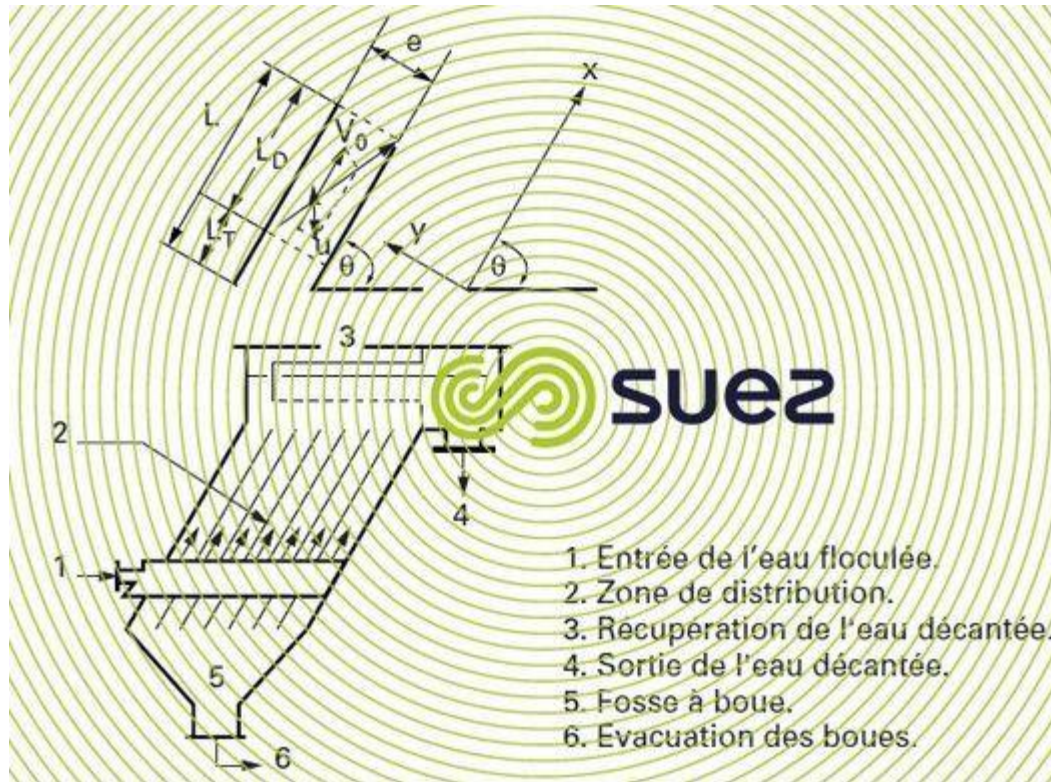
$$Q_E = Q_S$$

$$Q_E C_E = A_C u_S C_E + Q_S C_S$$

alimentation = décantation + sortie

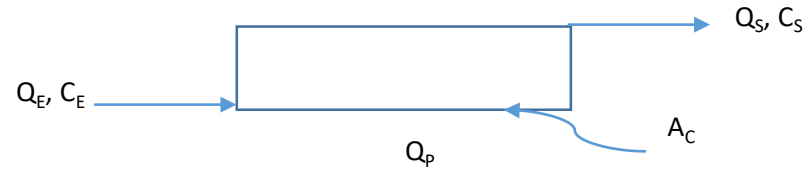
$$1 - \frac{C_S}{C_E} = \frac{u_S}{\frac{Q_S}{A_C}}$$

Décantation



$$\frac{Q_s}{n A_L \cos \theta} = u_s$$
$$\alpha = \frac{n A_L \cos \theta}{A_C}$$

Décantation



$$Q_E = Q_P + Q_S$$

$$Q_E C_E = Q_P C_E + A_C u_S C_E + Q_S C_S$$

alimentation = purge + décantation + sortie

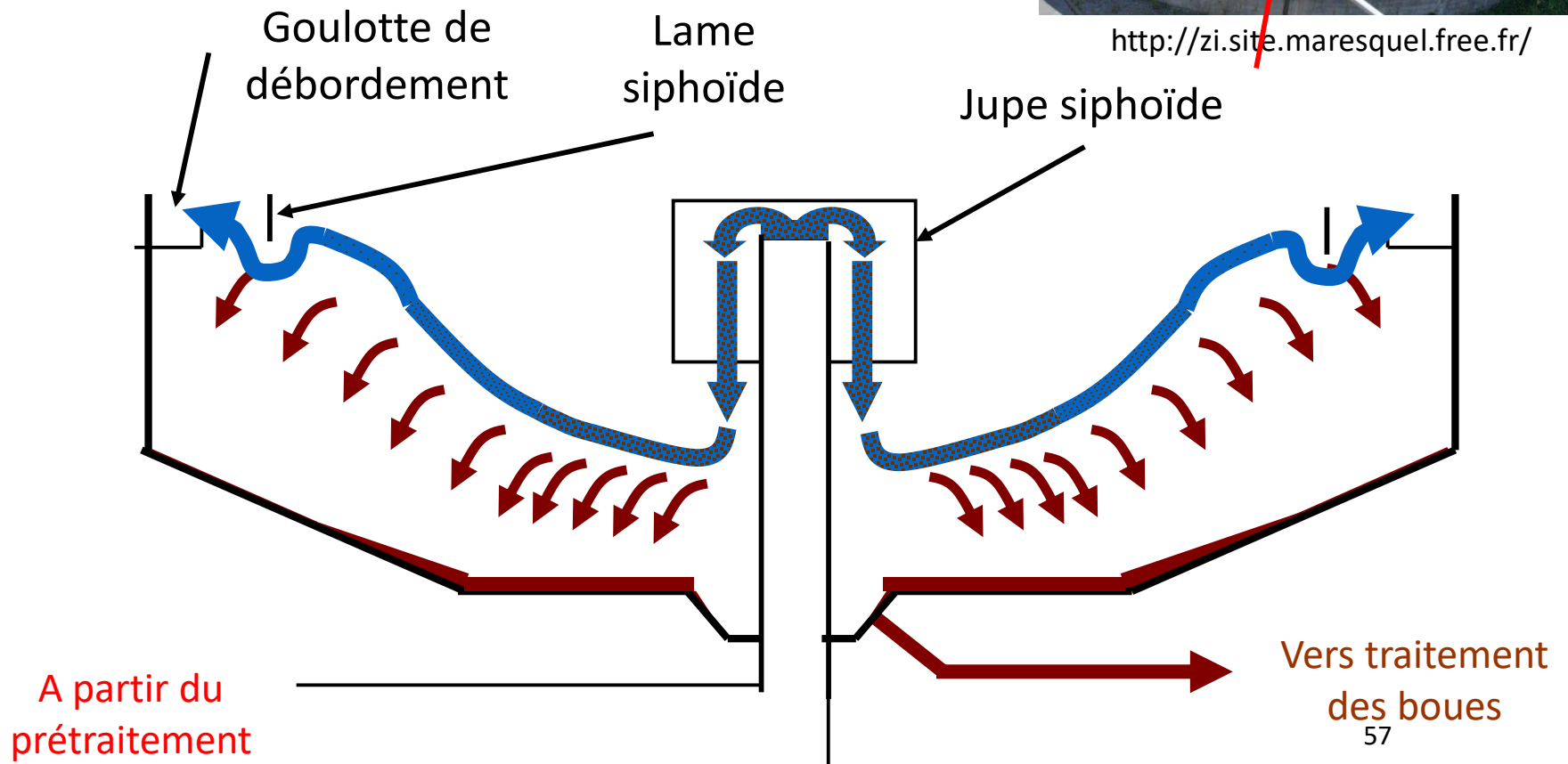
$$1 - \frac{C_S}{C_E} = \frac{u_S}{\frac{Q_S}{A_C}}$$

Décantation

Décanteur à flux vertical



<http://zi.site.maresquel.free.fr/>

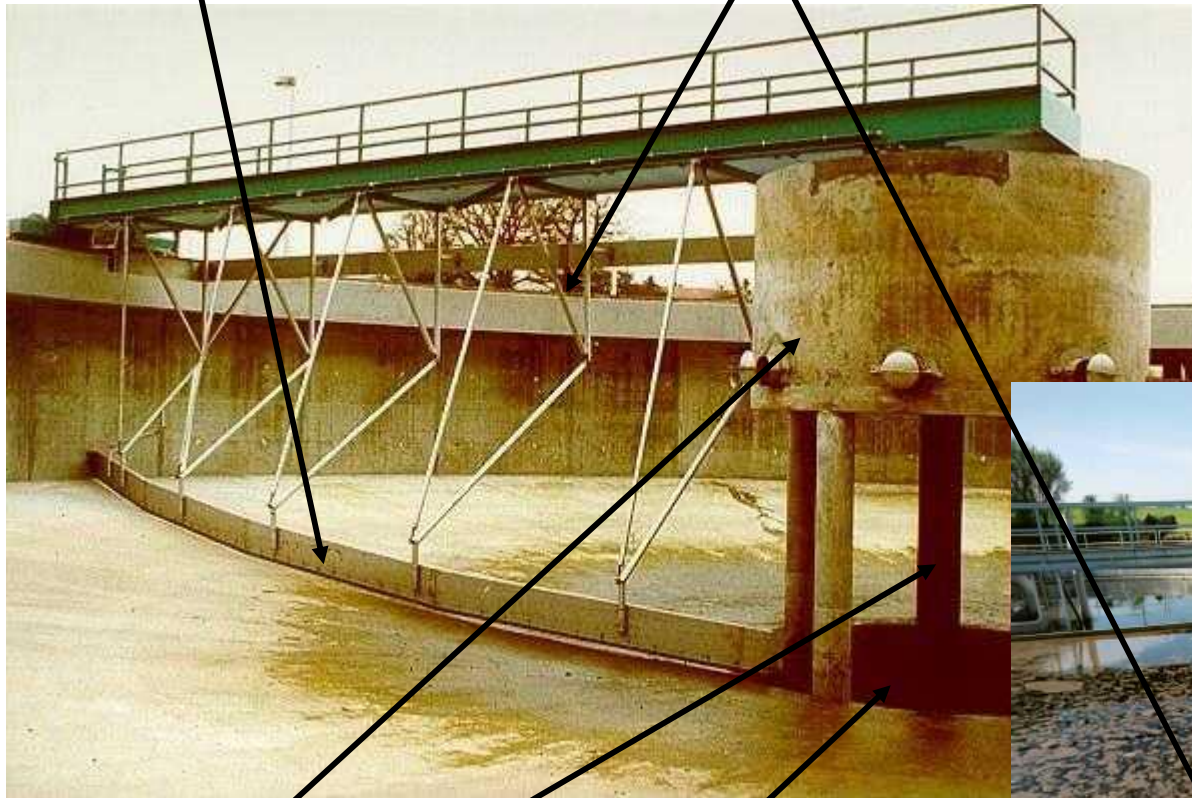


Décantation

Raclette de
fond

Goulotte

Raclette de
surface



Fosse à
flottants

Lame
siphonoïde

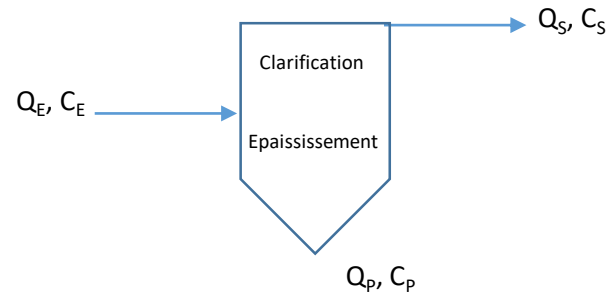


Jupe siphonoïde

Alimentation

Fosse à boues

Décantation

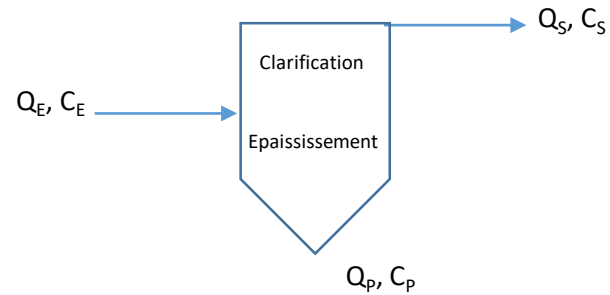


$$Q_E = Q_P + Q_S$$

$$Q_E C_E = Q_P C_P + Q_S C_S \approx Q_P C_P$$

$$Q_P C_P = N_T A_C$$

Décantation



$$N_T = N_S + N_H$$

$$N_S = u_{s(C_i)} C_i$$

$$N_H = \frac{Q_P C_i}{A_C}$$

$$A_C = \frac{Q_E C_E}{N_T \min}$$

Exercices

Une suspension de particules de sable (particules grenues) de même diamètre décante dans une colonne test à 0,45 cm/s.

Calculer la section horizontale nécessaire pour un enlèvement de 70% des particules dans un décanteur idéal dont le débit d'alimentation est de 3785 m³/j.

Exercices

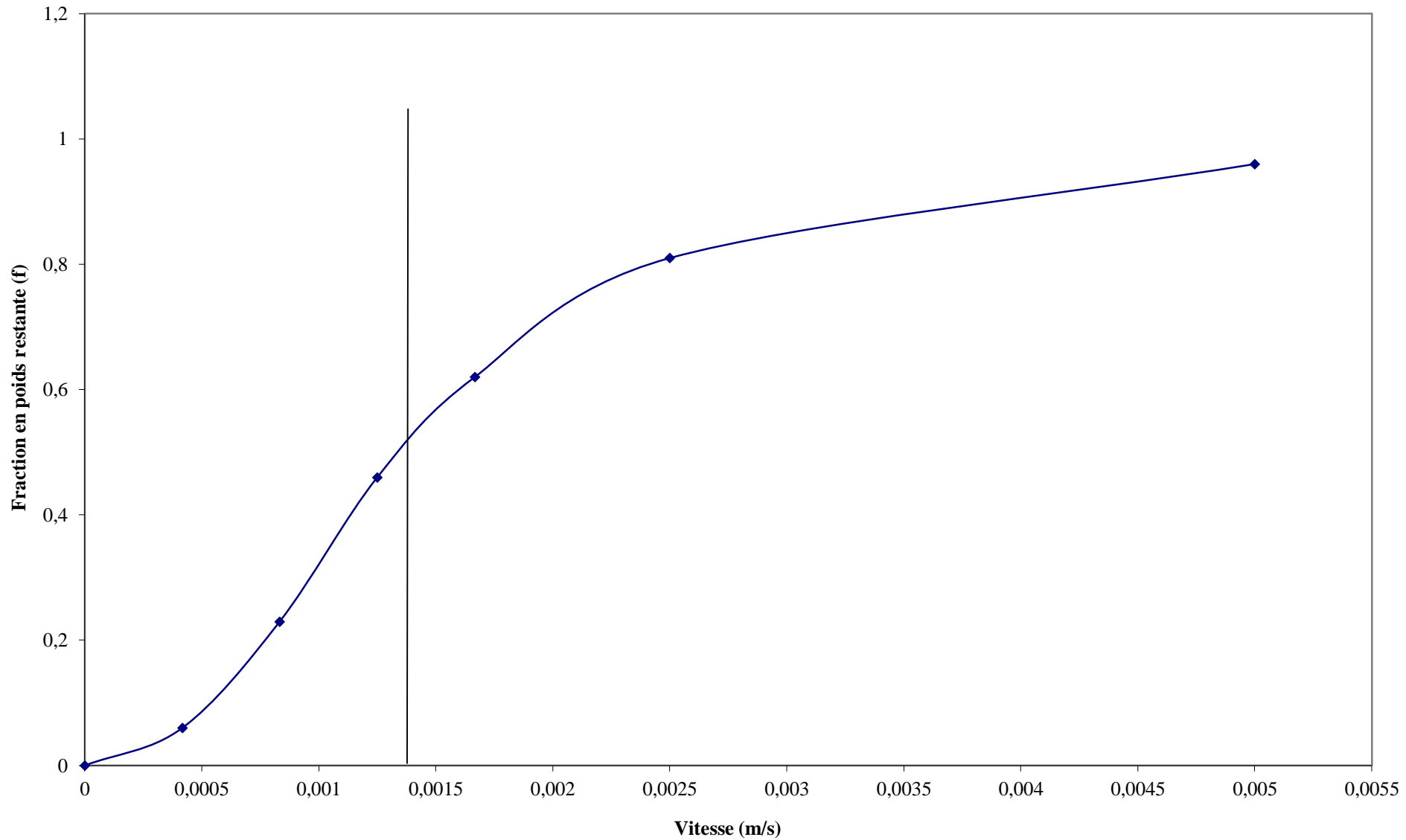
Une suspension de particules sable (diamètres variables) décante dans une colonne test au repos. Des échantillons sont collectés à 1,5 m sous le niveau de liquide à différents intervalles de temps.

Pour chaque échantillon, on mesure la fraction en poids des particules restantes.

A partir de ce test, estimer la quantité de particules enlevées dans un bassin rectangulaire idéal pour une vitesse de débordement de $1,36 \text{ L/m}^2\text{s}$.

Temps (min)	5	10	15	20	30	60
Fraction en poids restante	0,96	0,81	0,62	0,46	0,23	0,06

Exercices



Exercices

Des données de décantation d'une boue activée ont été obtenues en laboratoire par des tests batch dont les résultats figurent dans le tableau ci-dessous. A partir de ceux-ci, dimensionner un décanteur (hauteur, diamètre, volume) qui fonctionnera dans les conditions suivantes :

- Concentration en solide à atteindre en pied de décanteur : 1290 kg/m^3
- Concentration initiale de la boue : 150 kg/m^3
- Concentration négligeable au débordement
- Flux d'alimentation : $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$
- Temps de séjour : 7 h

Exercices

C_i (kg/m ³)	u_i (μm/s)
100	148
150	113
200	91
300	55,33
400	33,25
500	21,40
600	14,50
700	10,29
800	7,38
900	5,56
1000	4,20
1100	3,27