

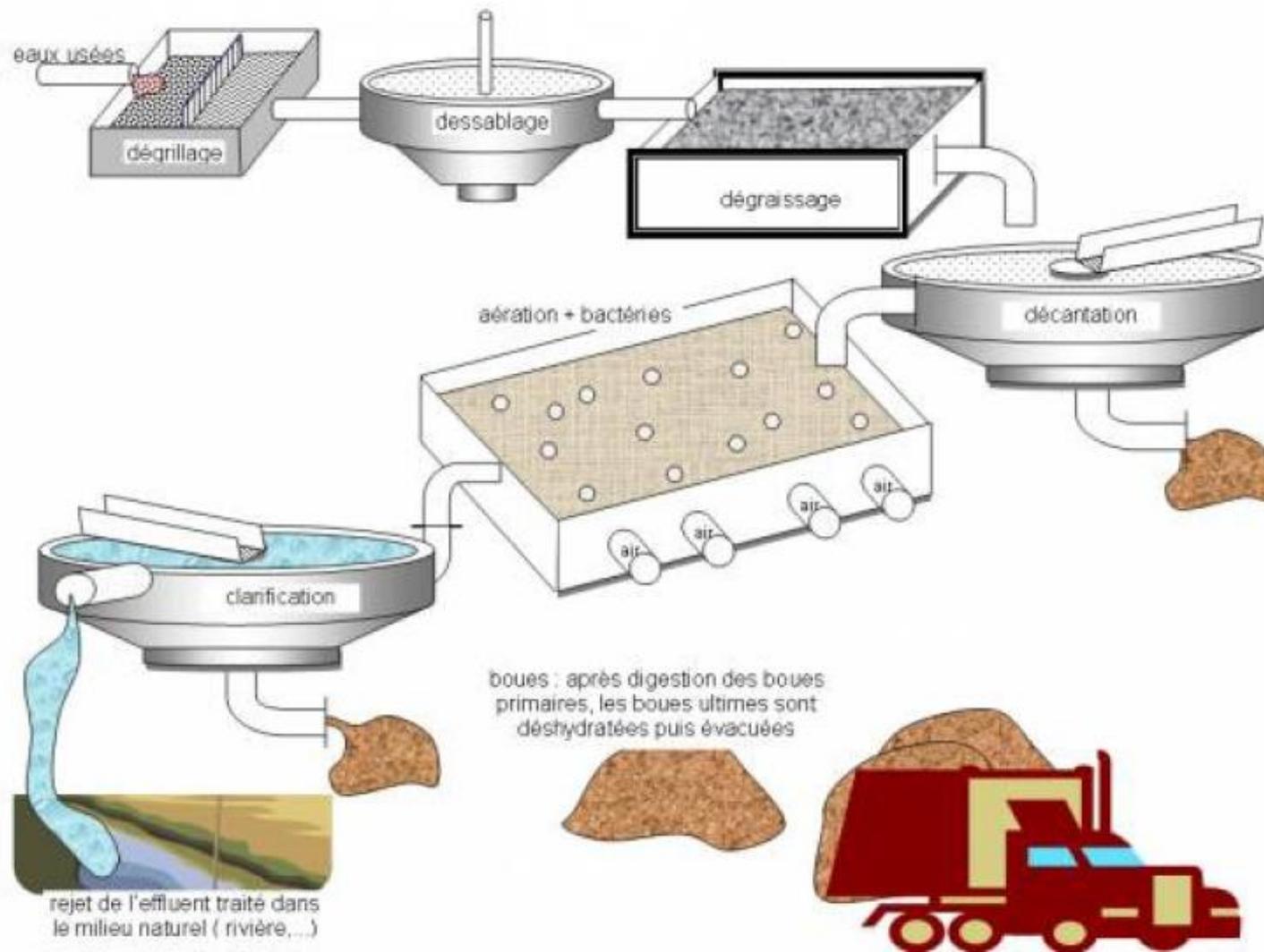
# Gestion des eaux usées

- 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

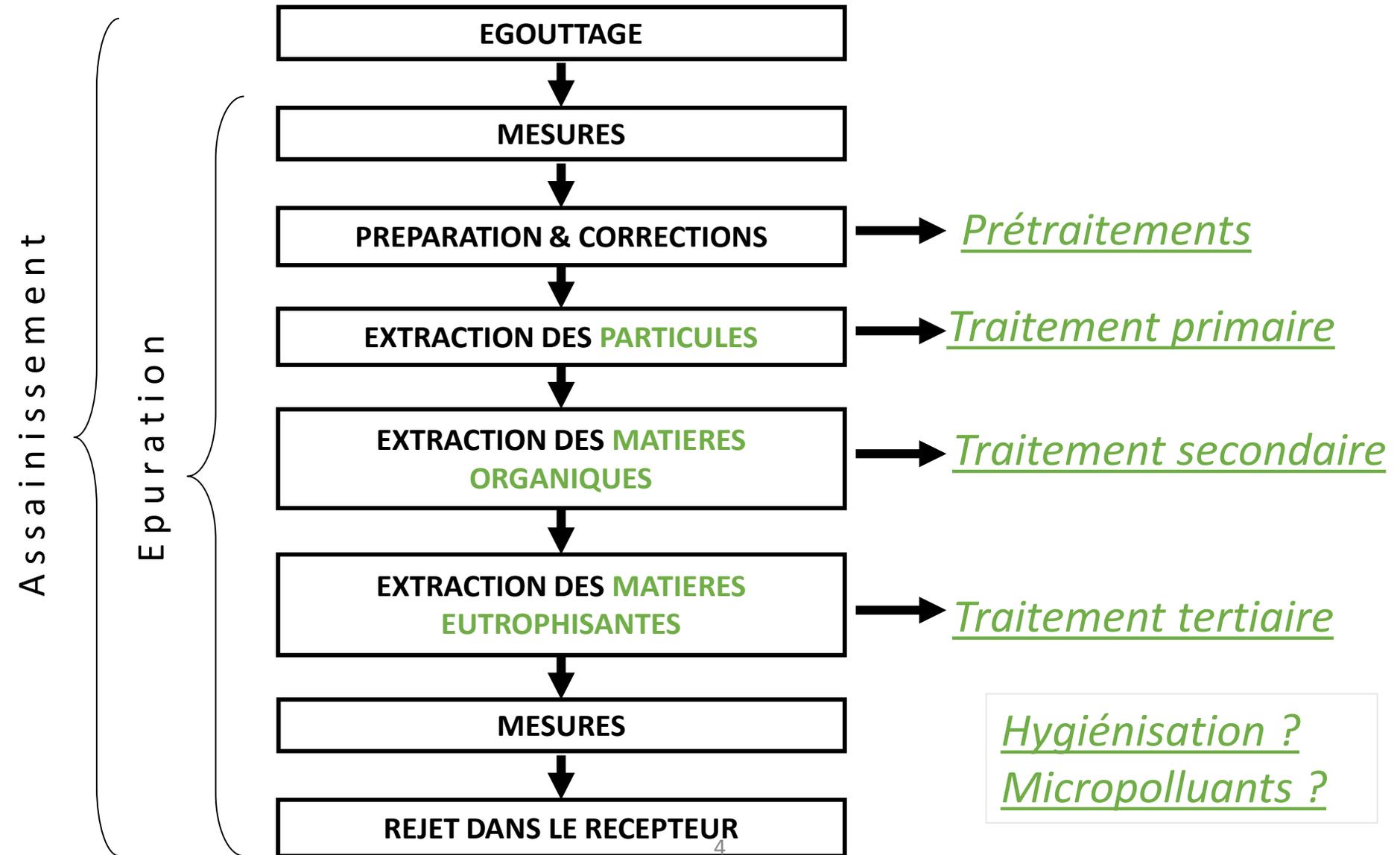
# Épuration des eaux

- **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, ...

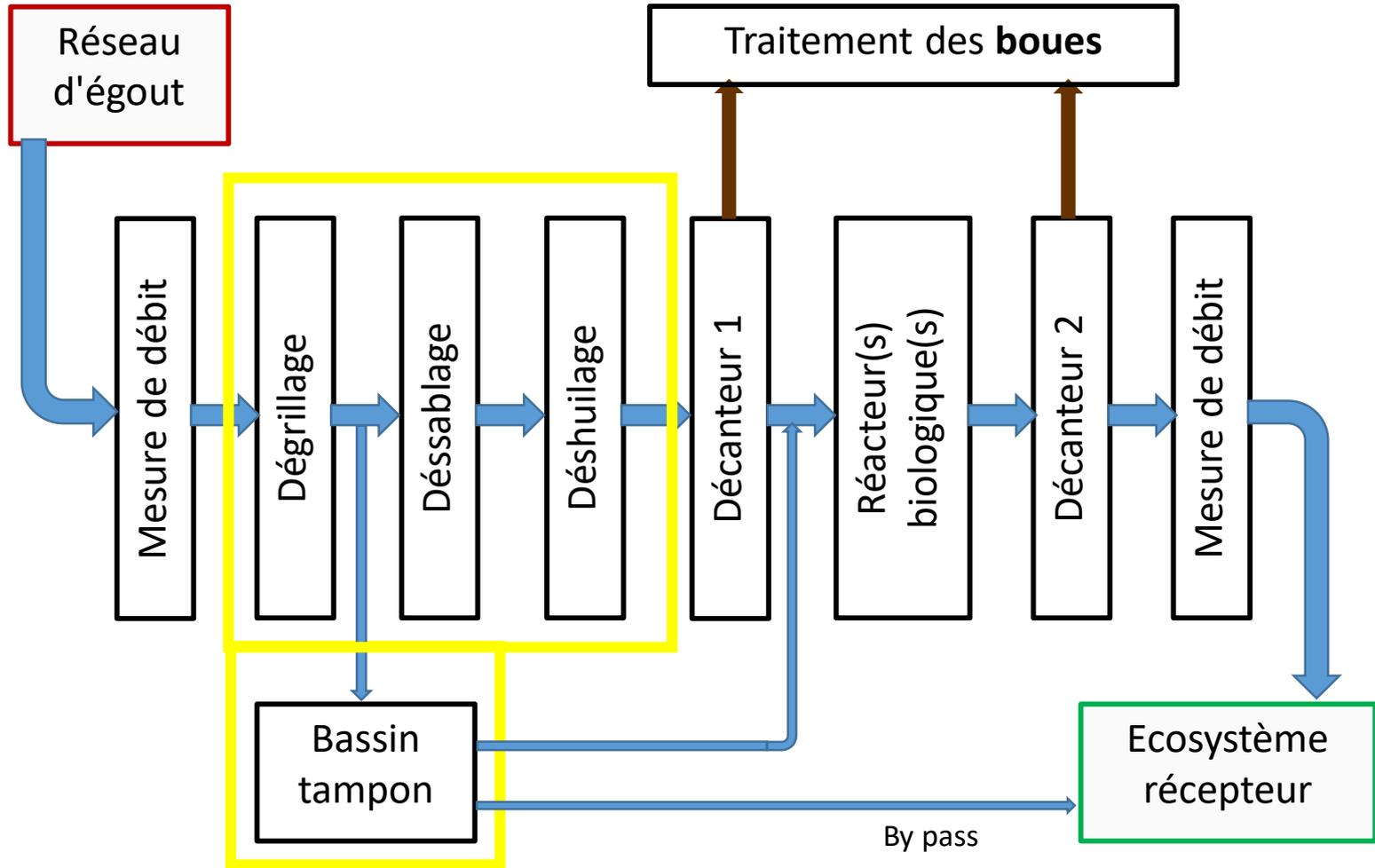
# Epuration des eaux



# 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](http://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)

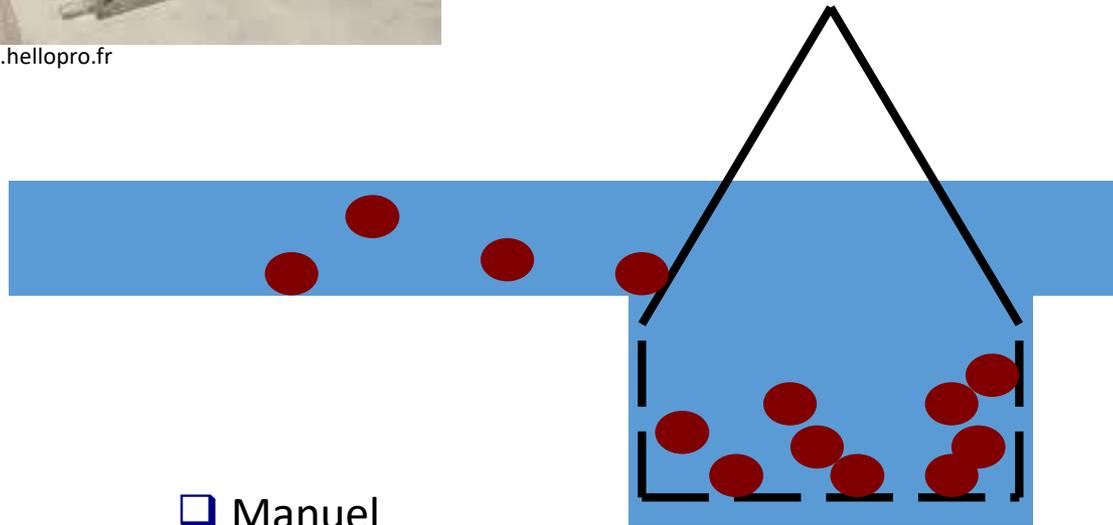
# Piège à cailloux



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>

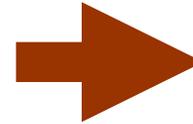
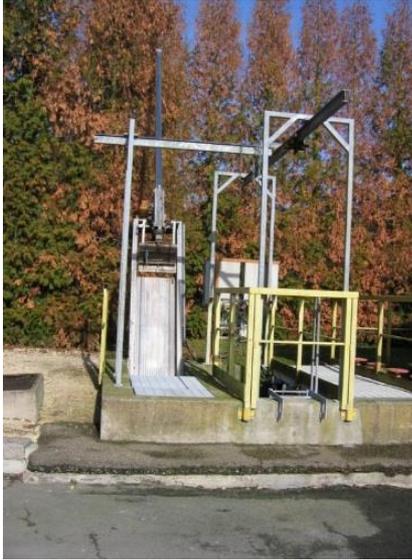
**Q** = débit in

**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)

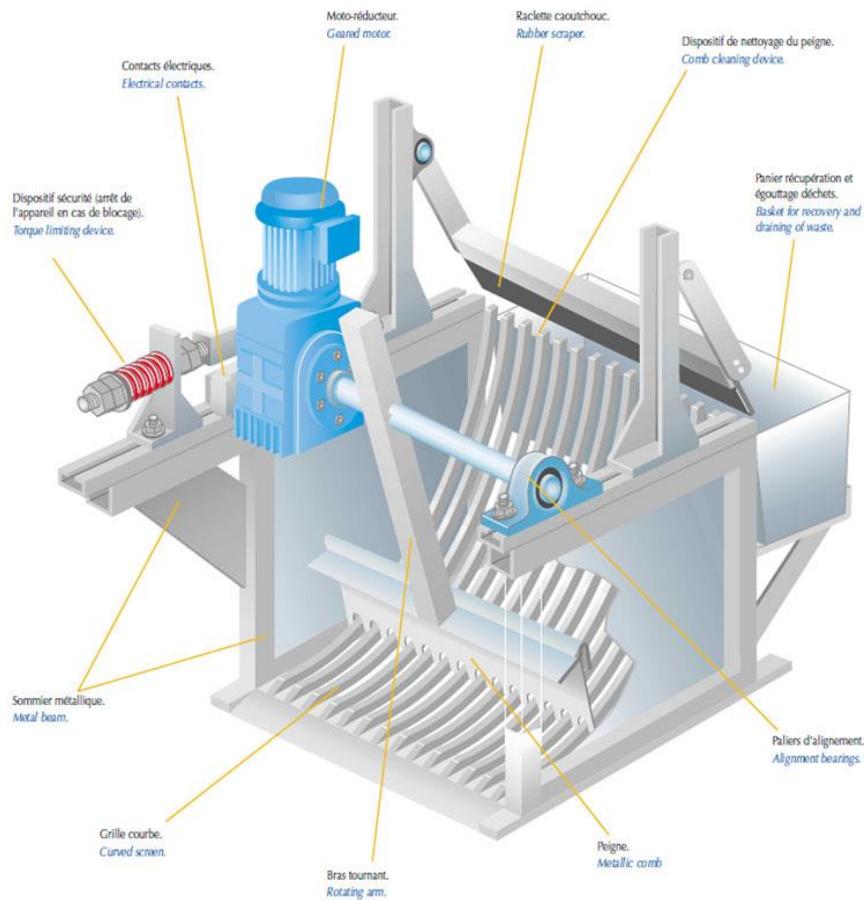
# Dégrillage



Déchets ménagers



# Dégrillage



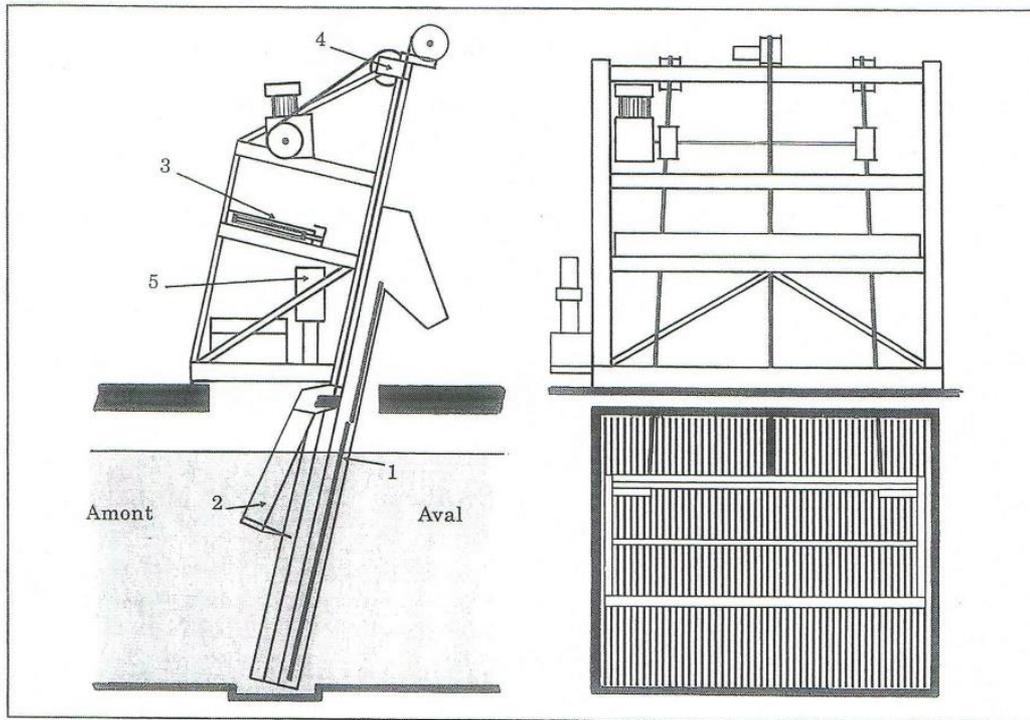
[www.europelec.com](http://www.europelec.com)

Grille courbe



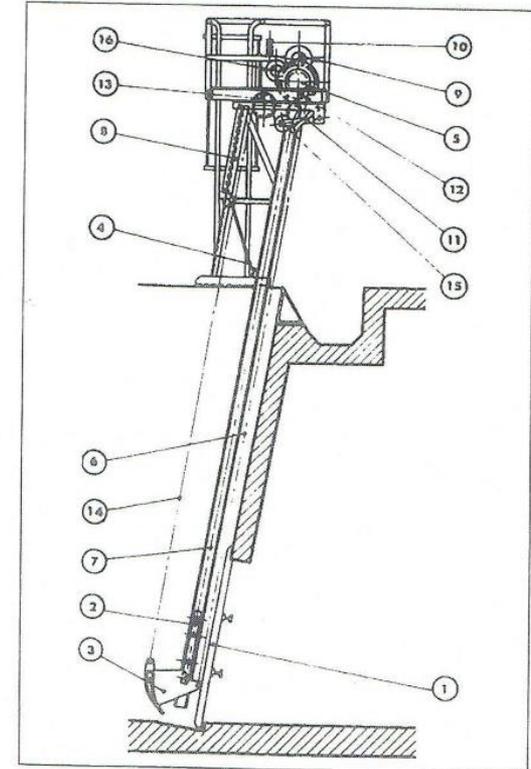
Grille droite

# Dégrillage



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

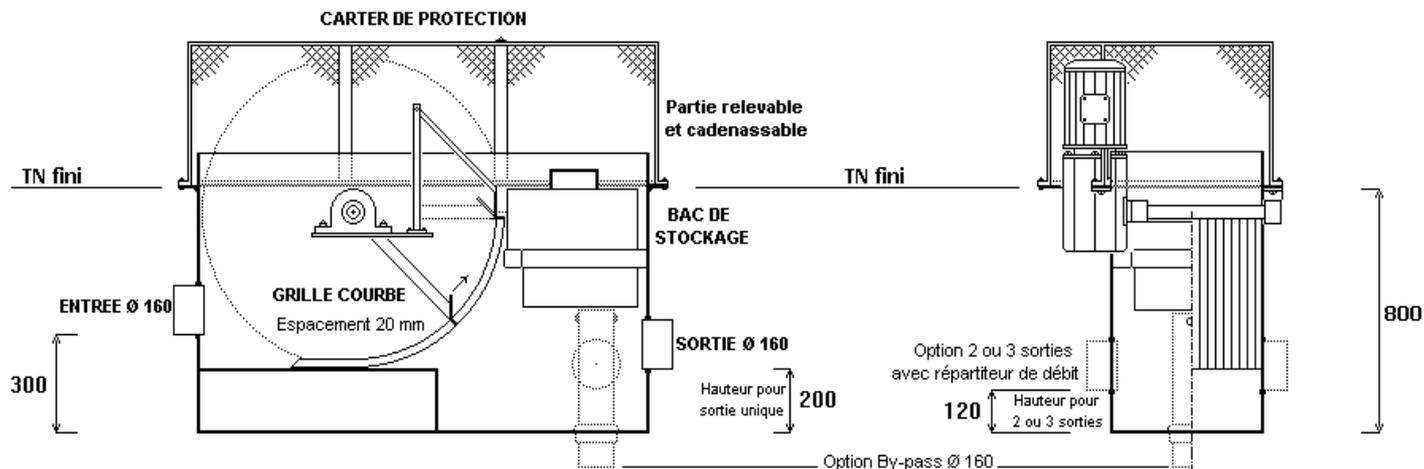
*Schéma de principe d'une grille droite GDC.*



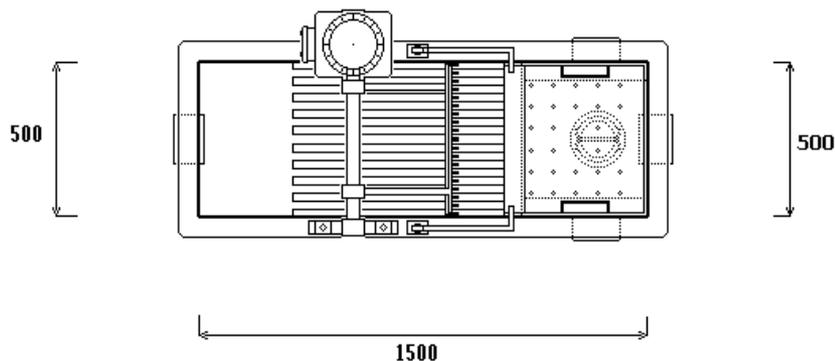
## Grille droite

# 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

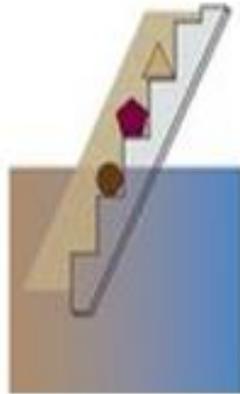
SAS **ABT** Usine et siège Parc d'Activités LES SABLES  
296, avenue Pasteur 33185 LE HAILLAN  
TEL : 0 556 130 023 FAX : 0 556 130 295  
Site internet : [www.abt.fr](http://www.abt.fr)

DEBIT MAXIMUM 40 m<sup>3</sup>/h  
**PLAN DE PRINCIPE**  
**OUVRAGE DE DEGRILLAGE COURBE**

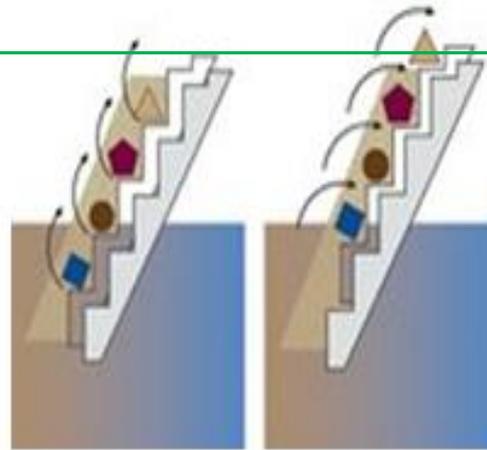
[www.abt.fr](http://www.abt.fr)

Grille courbe

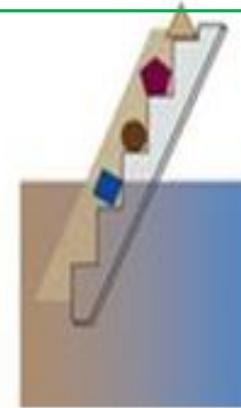
# Dégrillage



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

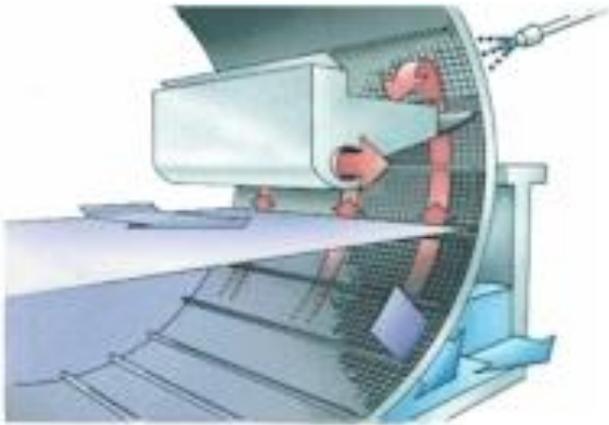
[www.huber.fr](http://www.huber.fr)

"step by step"



# Dégrillage

## Dégrilleur rotatif



<http://veoliawatertechnologies.com/>

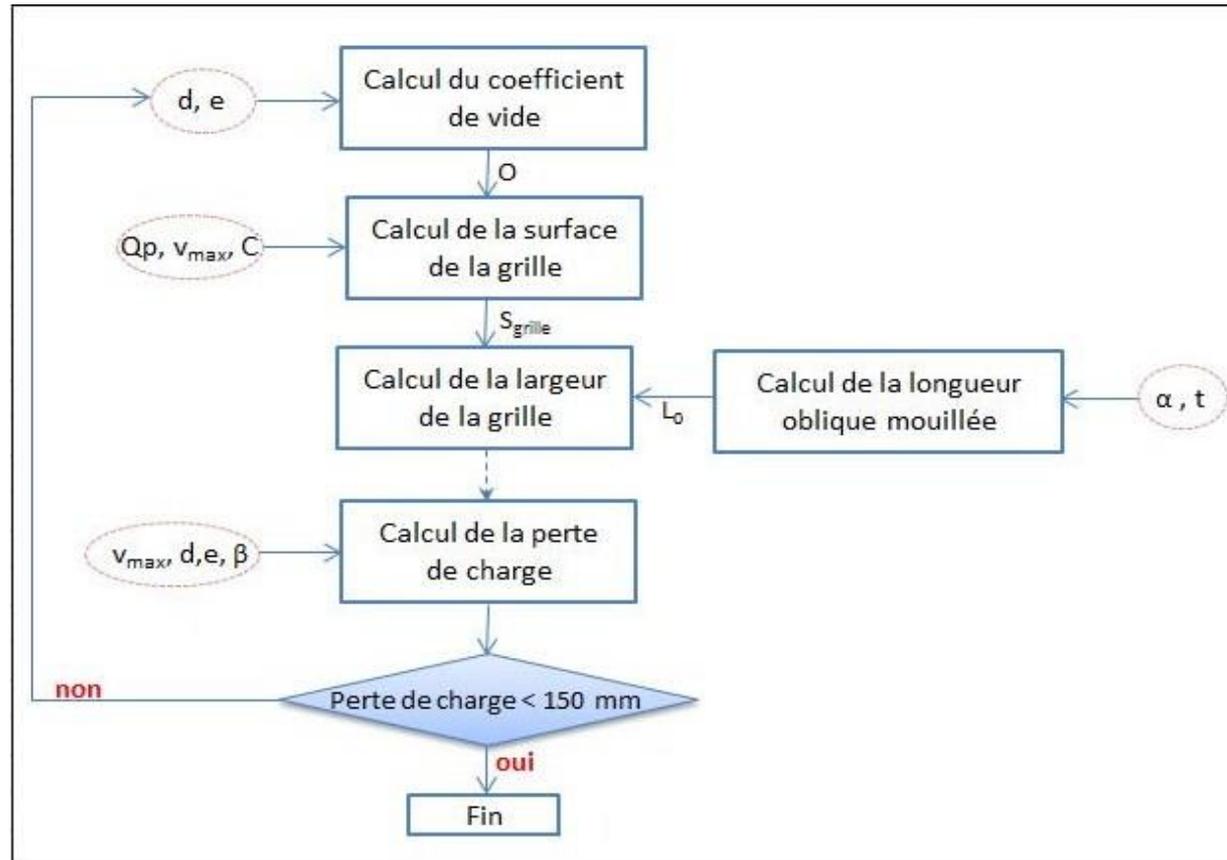


<http://www.matevi-france.com/>

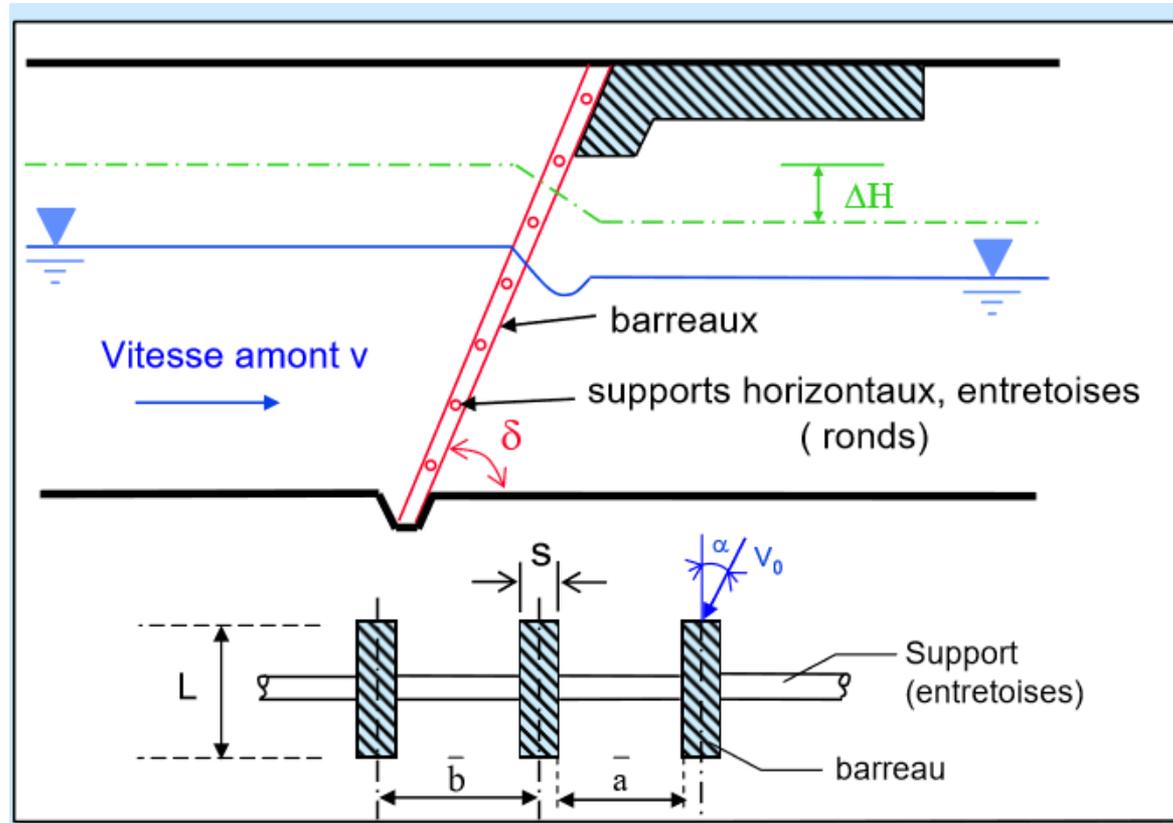


[www.hellopro.fr/](http://www.hellopro.fr/)

# 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

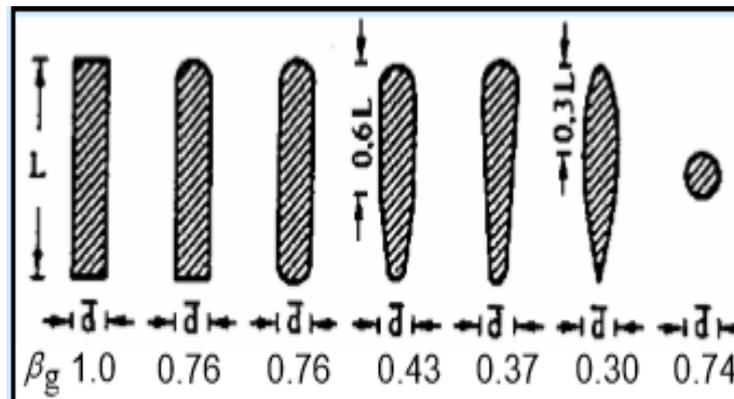
$$\Delta H = \xi_g \cdot \frac{v_0^2}{2g}$$

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

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

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

$\beta_g$  = 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 m<sup>3</sup>/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

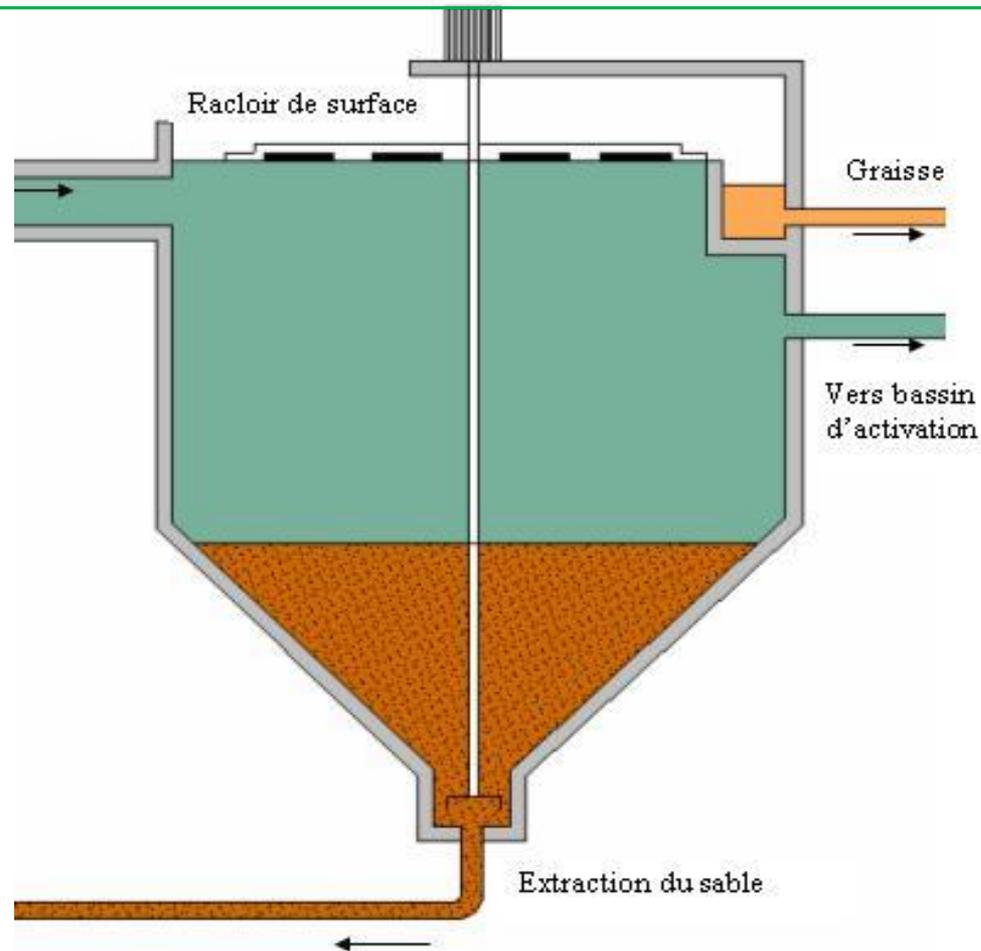
## FONCTIONS

- **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

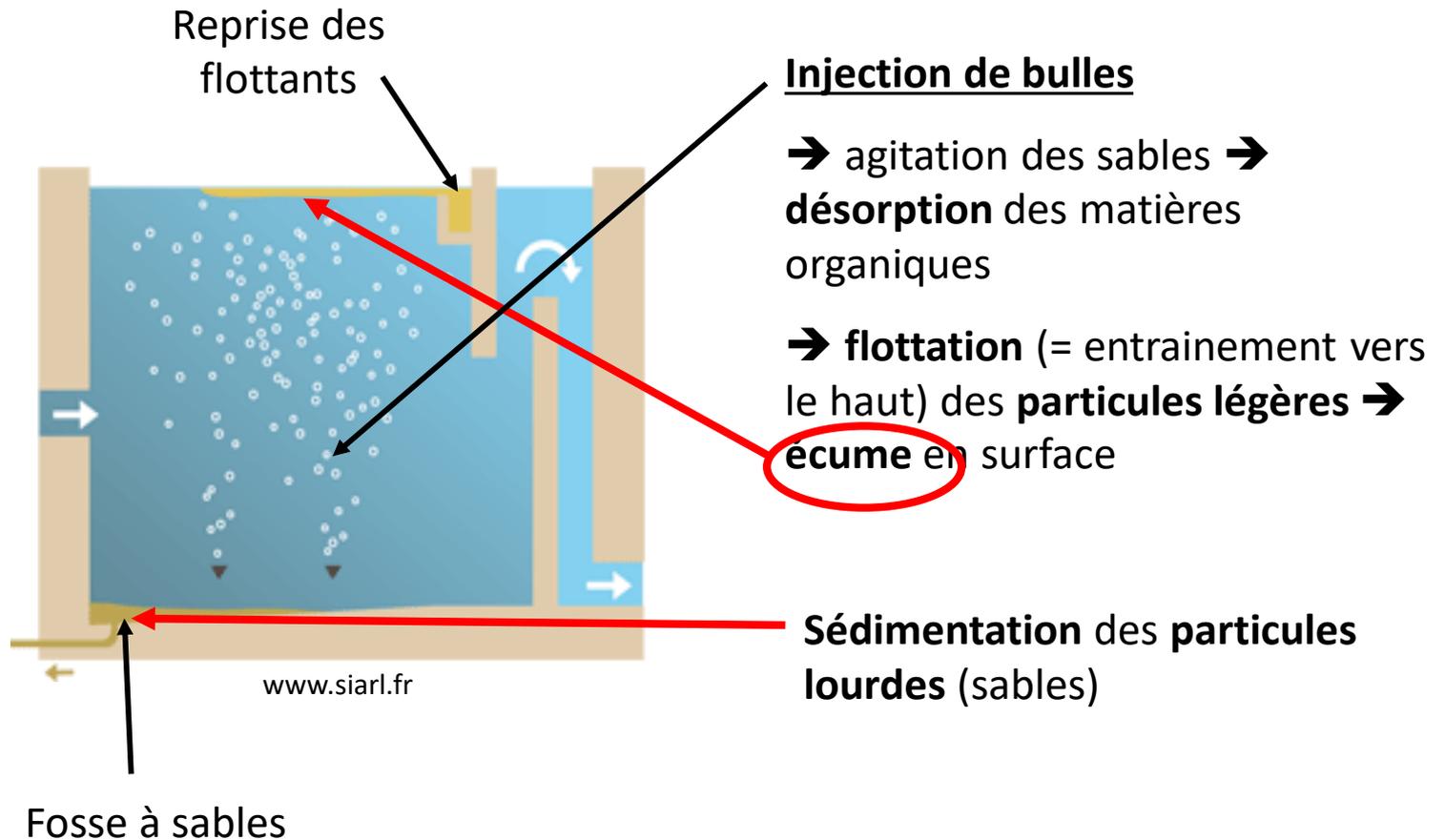
# Dessablage - Déshuilage



<http://hmf.enseeiht.fr>

## Décantation simple

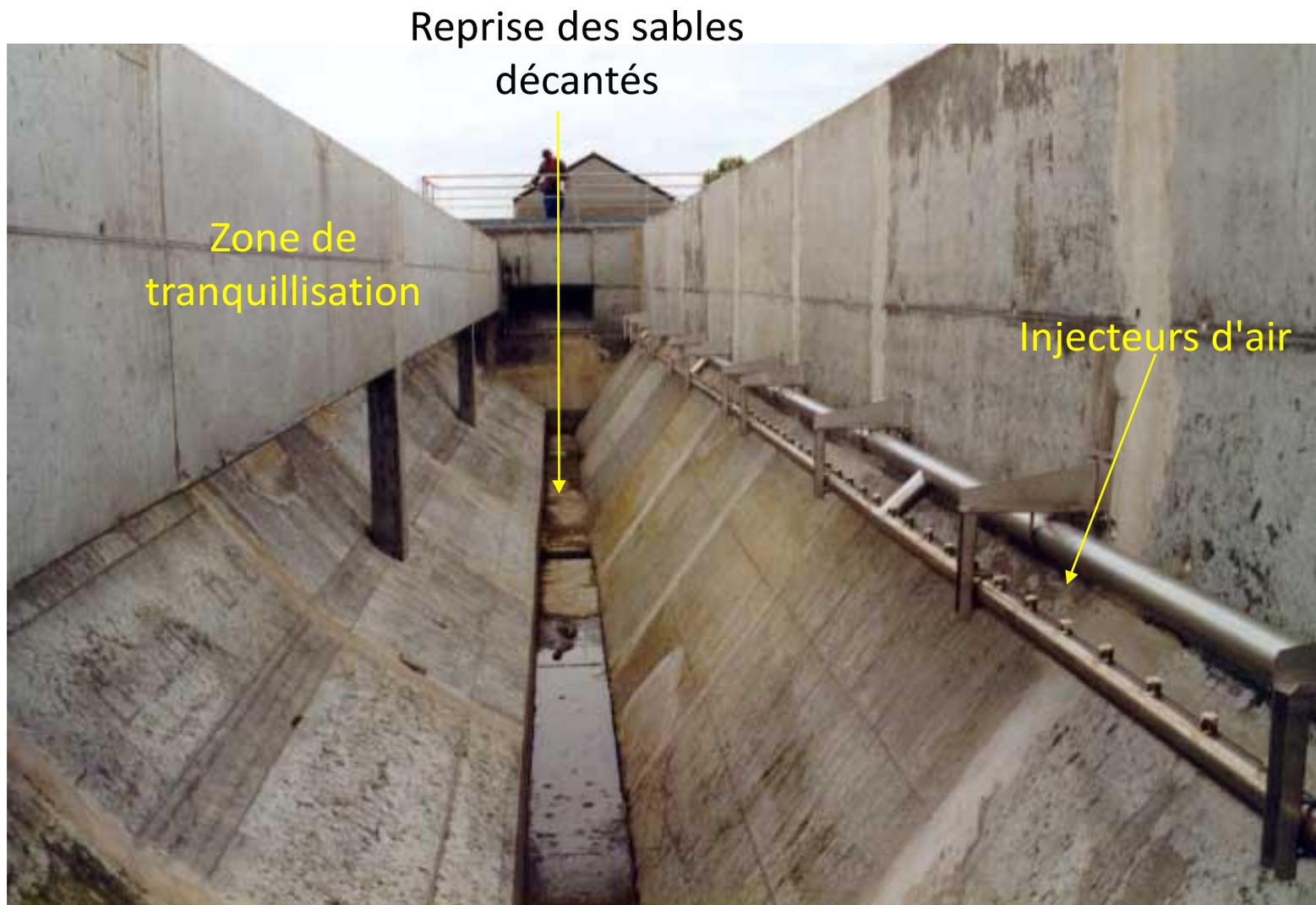
# Dessablage - Déshuilage



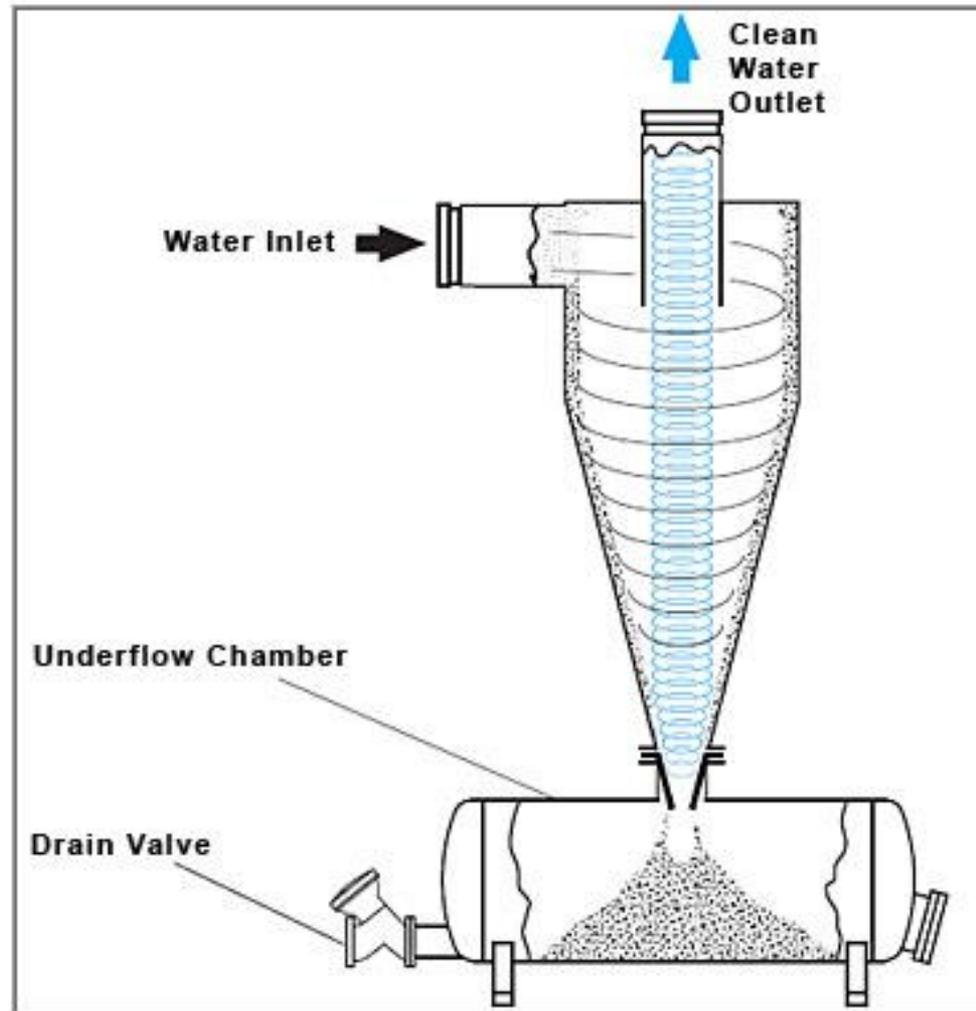
## Décantation améliorée



# Dessablage - Déshuilage



# Dessablage - Déshuilage

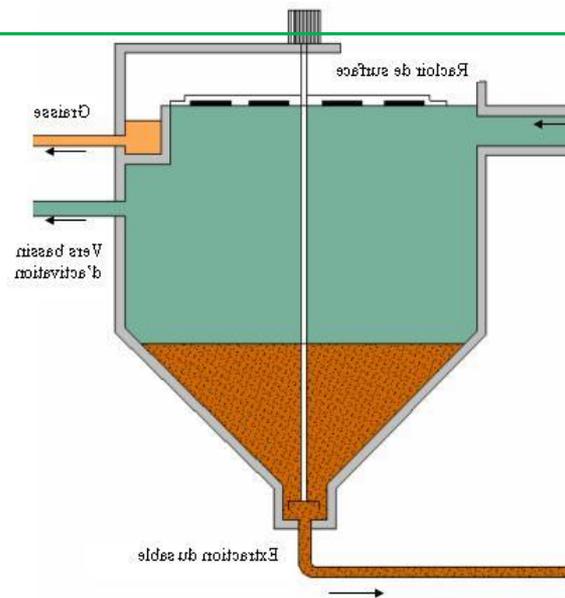


<http://www.psoxin.com>

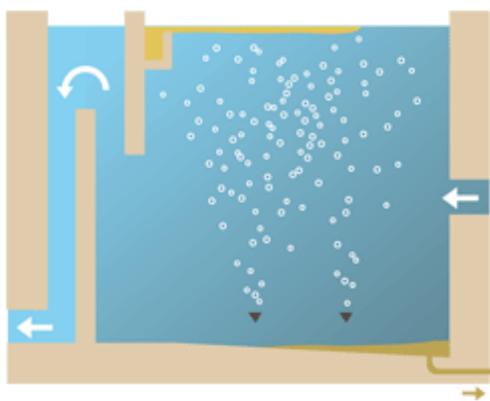
**Hydrocyclone**

# Dessablage - Déshuilage

## Egouttage et essorage



<http://hmf.enseeiht.fr>



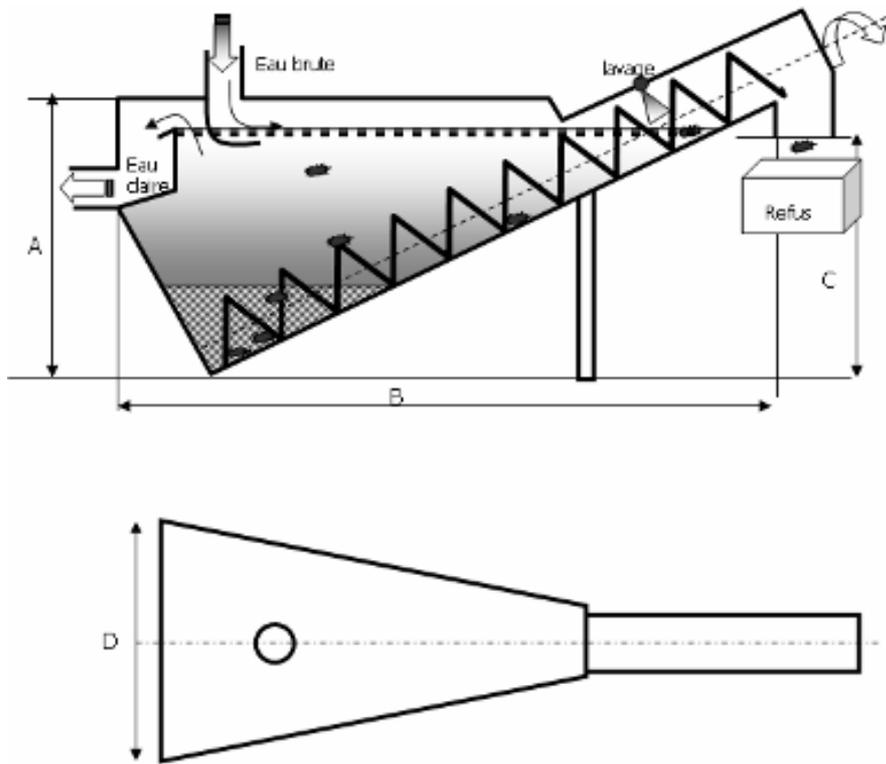
[www.siarl.fr](http://www.siarl.fr)



<http://hmf.enseeiht.fr>

Classificateur à sables

# Dessablage - Déshuilage



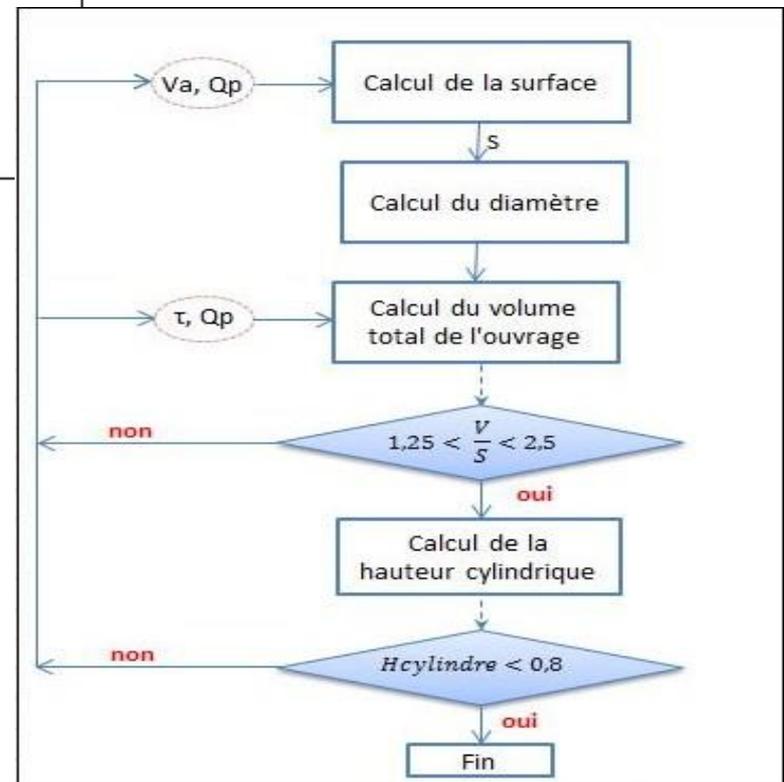
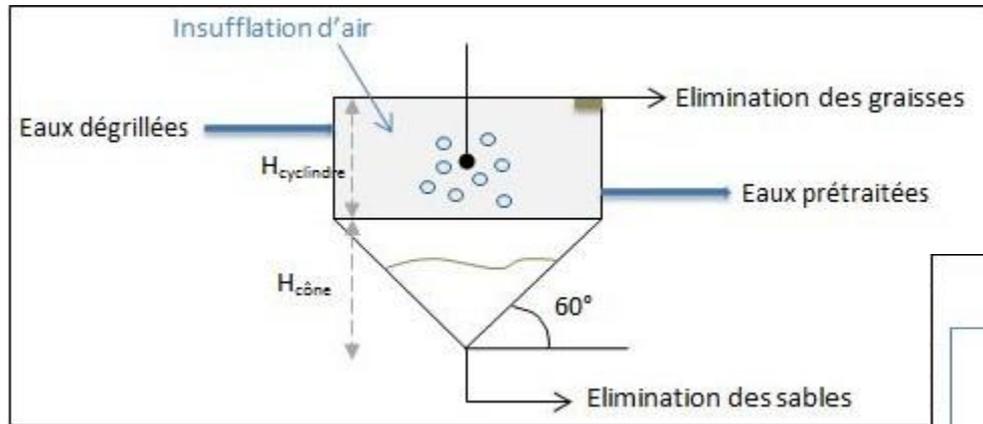
<http://www.serinol.com/>

## 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  $15 \text{ m/h}$ .

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

Que consomme pour un  $\text{m}^3$  par an ce système d'aération en supposant une puissance moyenne de  $25 \text{ W/m}^3$  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**

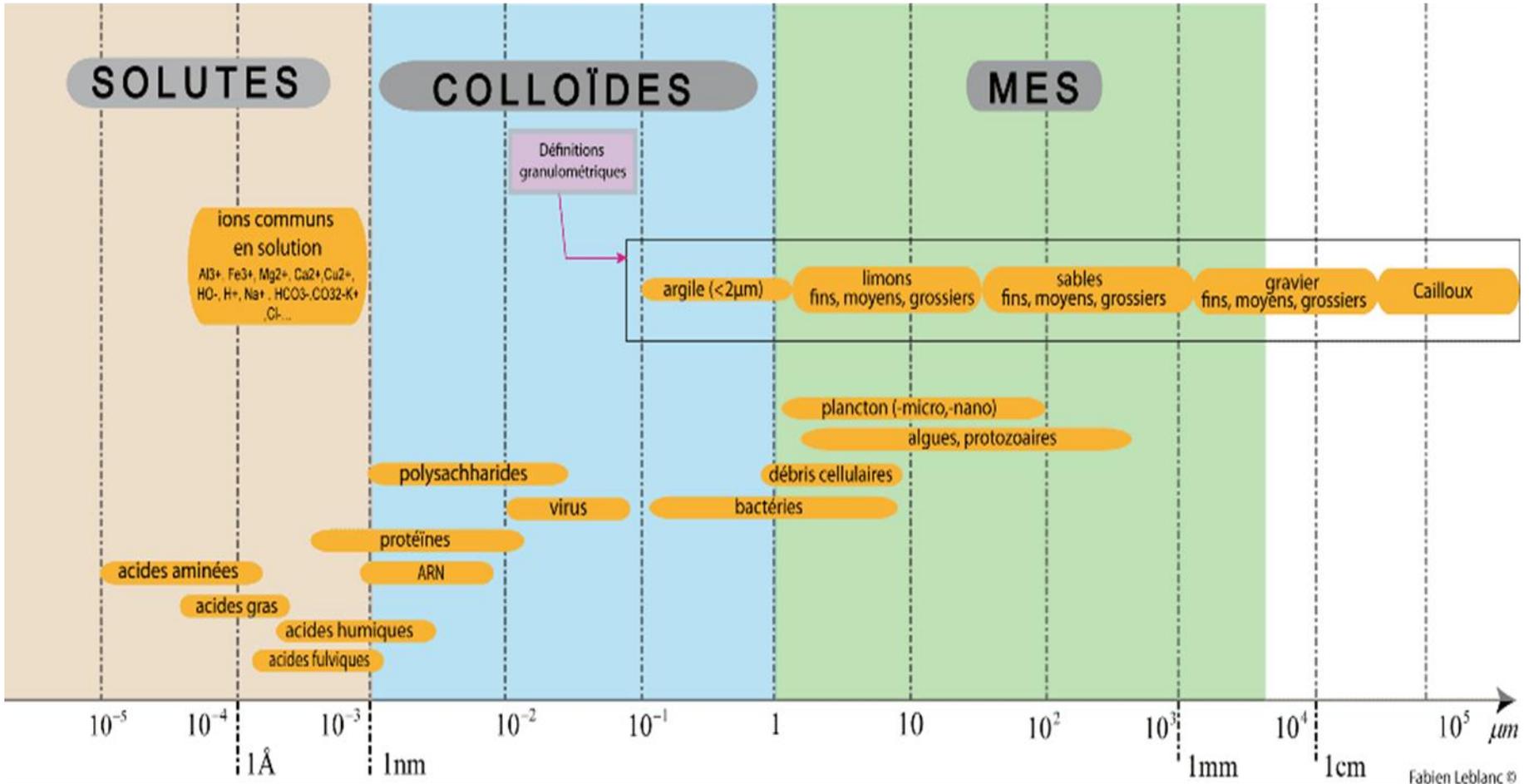
## JUSTIFICATION

- 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 [ $\mu\text{m}$ ]	Type de particules	Temps de décantation pour 1m d'eau	Surface spécifique [ $\text{m}^2/\text{m}^3$ ]
$10^4$	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



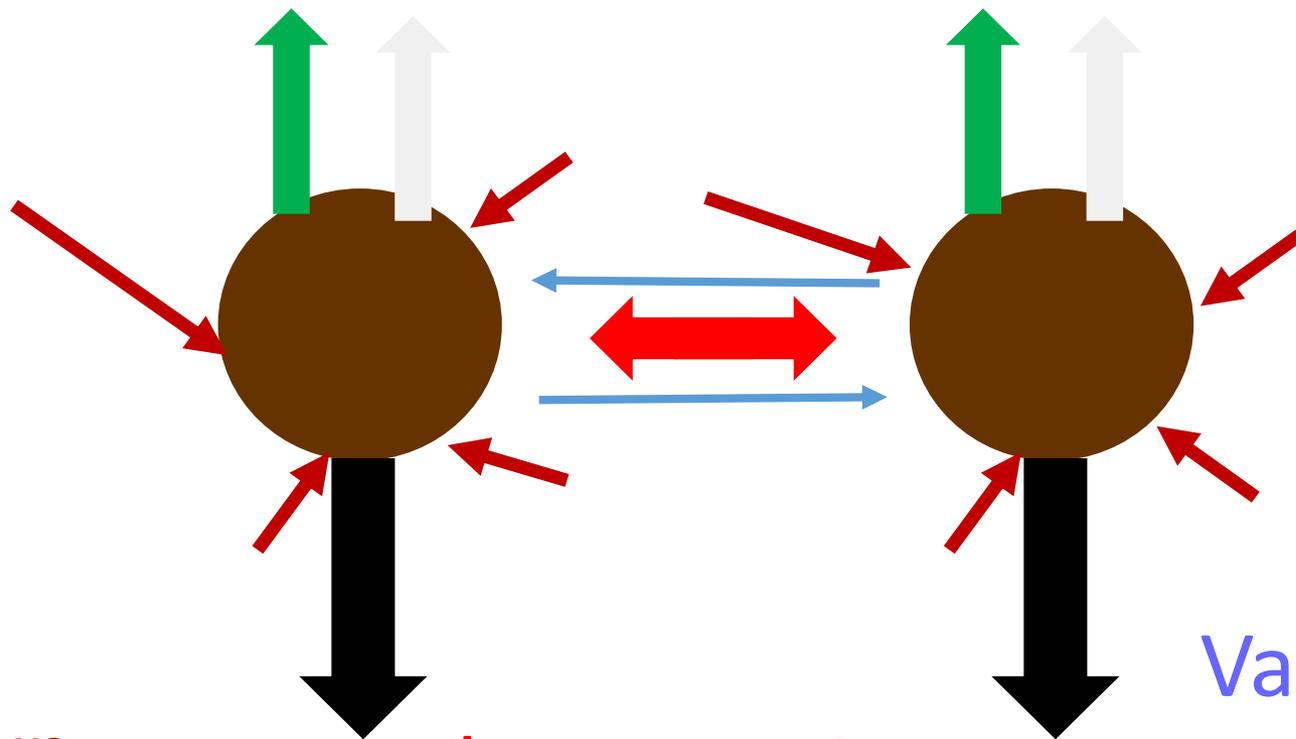
<http://technique.eau.free.fr>

# 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

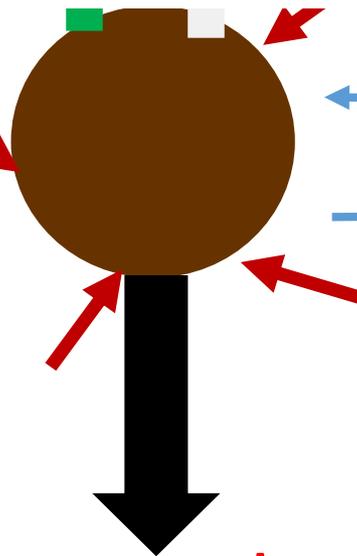
Gravité

Archimède

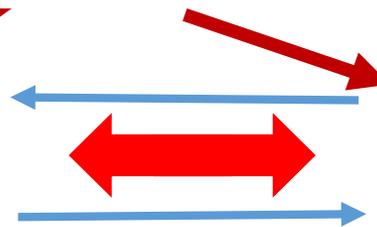
Frottements



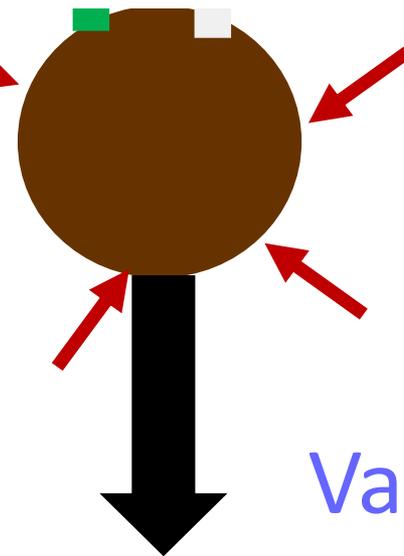
Forces apparemment appliquées à des particules fines en suspension dans un fluide → **suspension colloïdale**



Brown

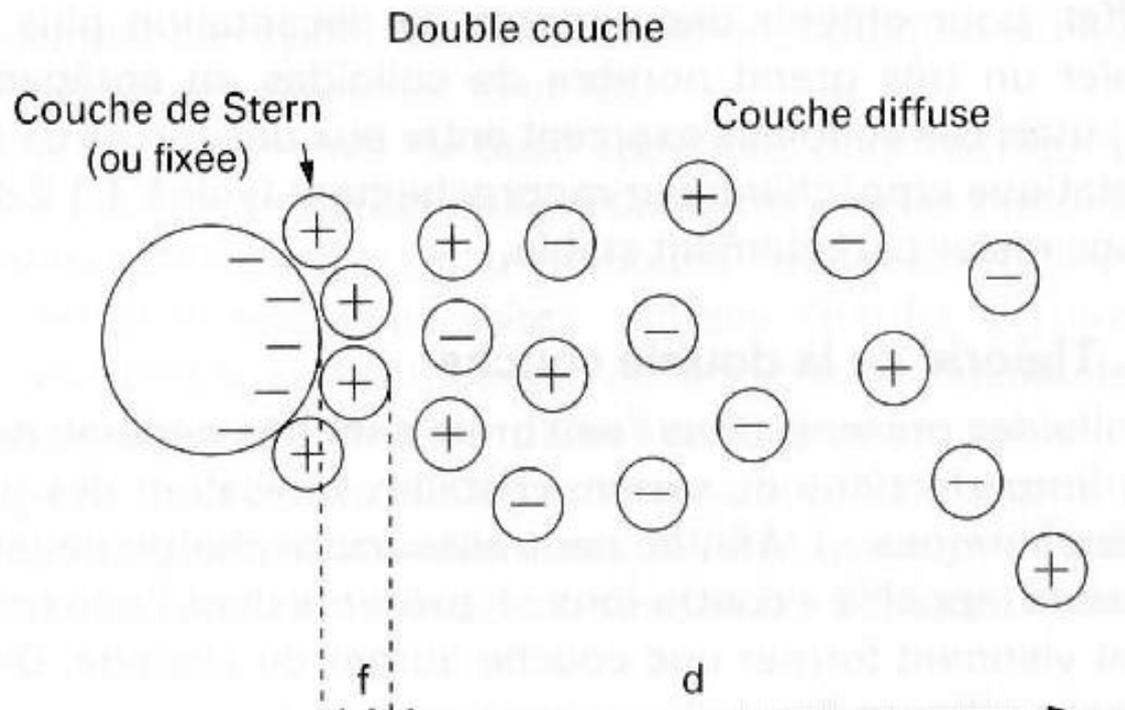


Electrostatique  
(répulsion)

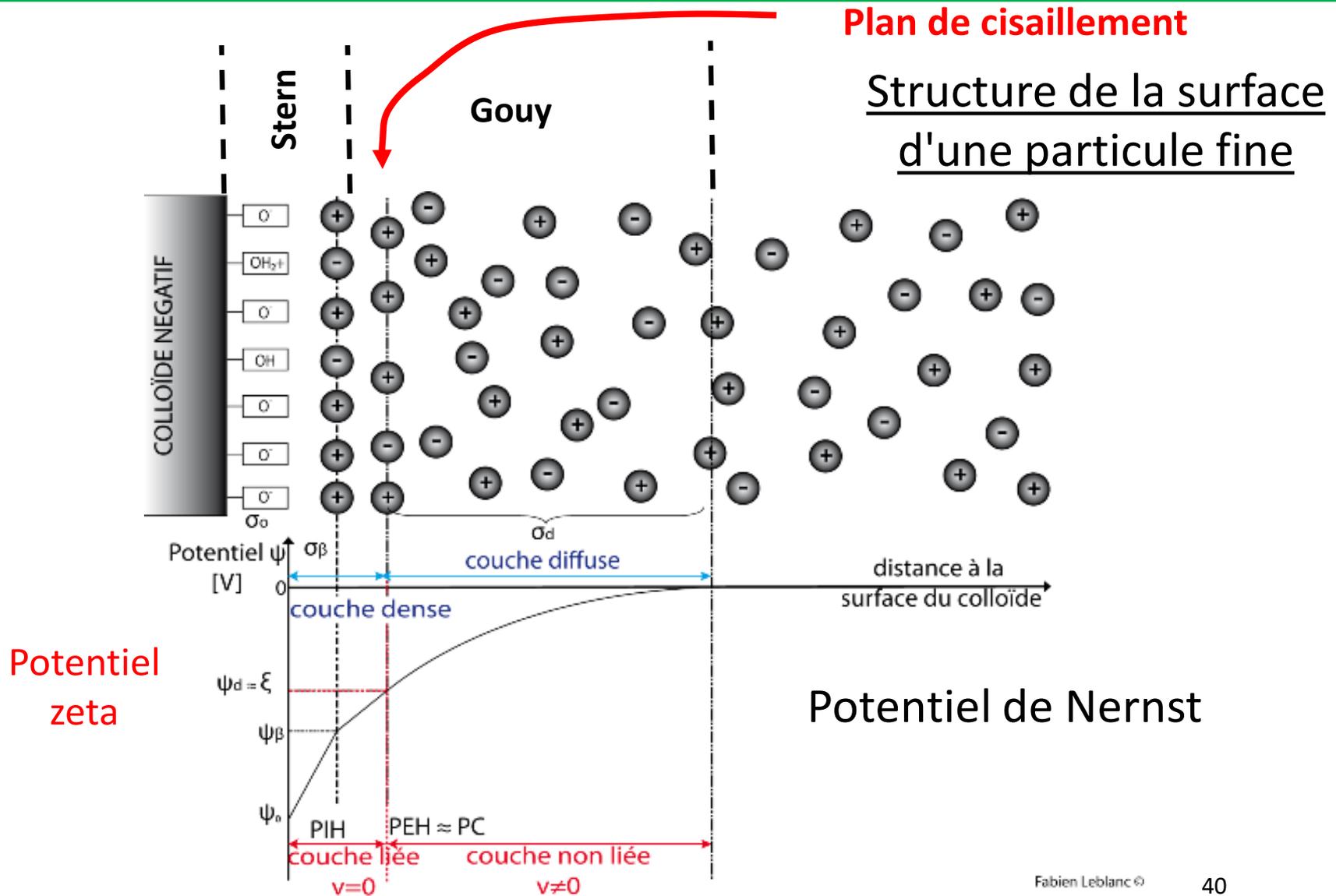


Van der  
Waals  
(attraction)

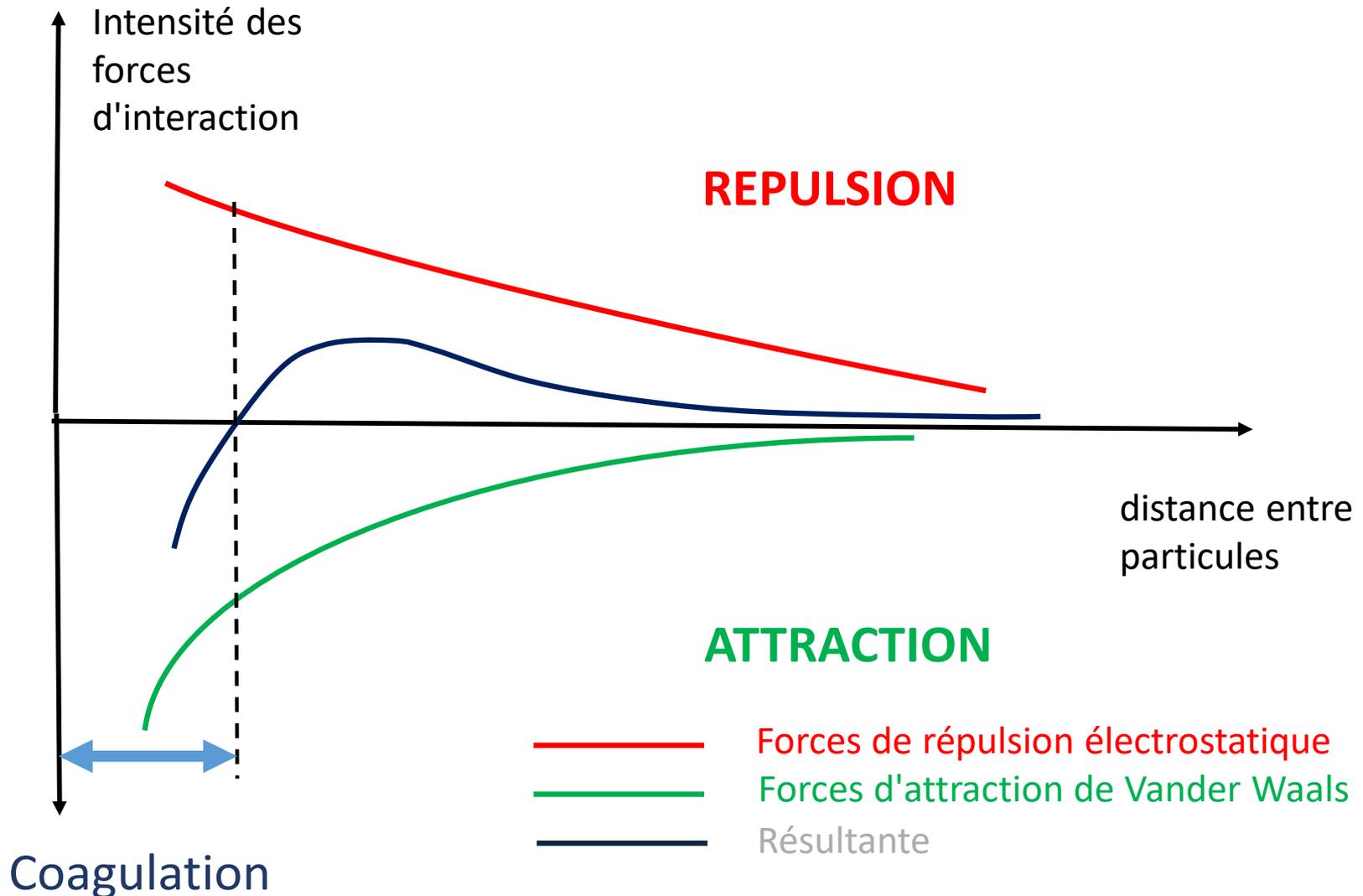
# Coagulation – flocculation



# Coagulation – flocculation



# Coagulation – 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 →  $\text{Fe}^{+++}$  et  $\text{Al}^{+++}$  → **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

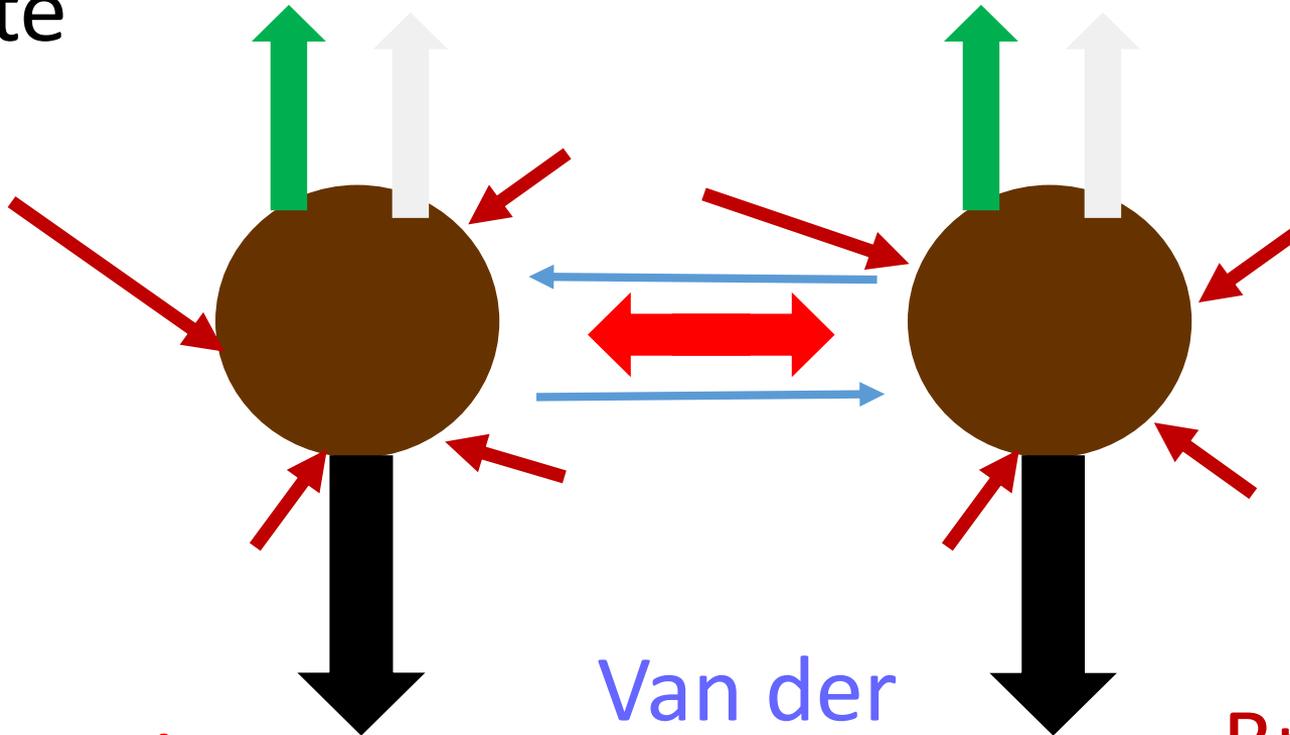


Gravité

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

Archimède

Frottements

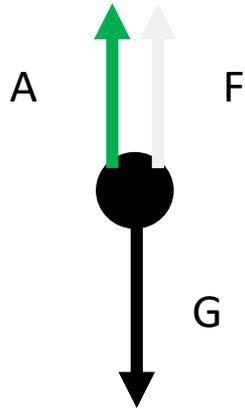


Electrostatique

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

$\rho_S$  et  $\rho_L$  = densités de la phase solide (particule) et de la phase liquide (eau)

$g$  = accélération gravitaire

$\mu$  = 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  $\leq 300$  mg/L)
  - Clarification = surnageant d'un décanteur (MES  $\leq 50$  mg/L)

# Décantation

## Types d'interactions

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

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

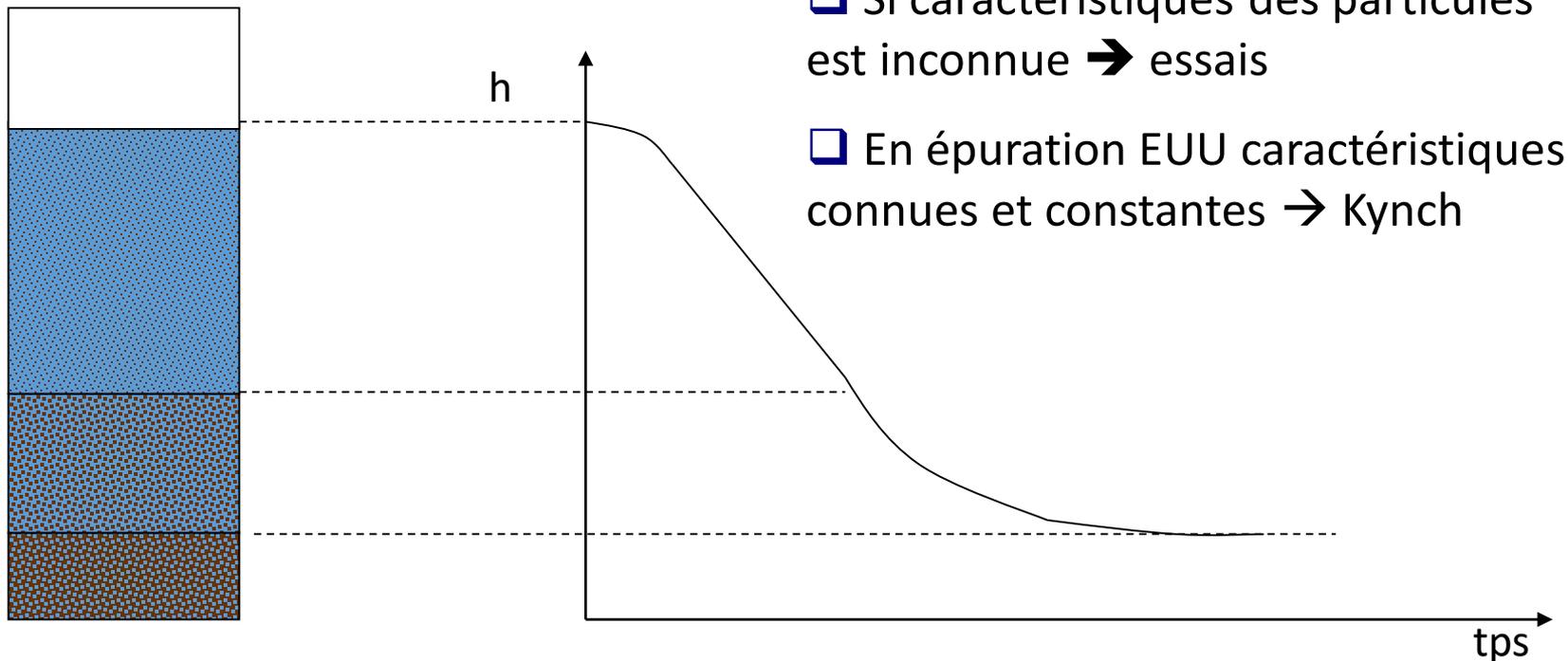
P = taux d'élimination des MES

t = temps

# Décantation

## Principes de Kynch

- $v_v = f(\text{concentration})$  pour MES  $\geq 500$  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



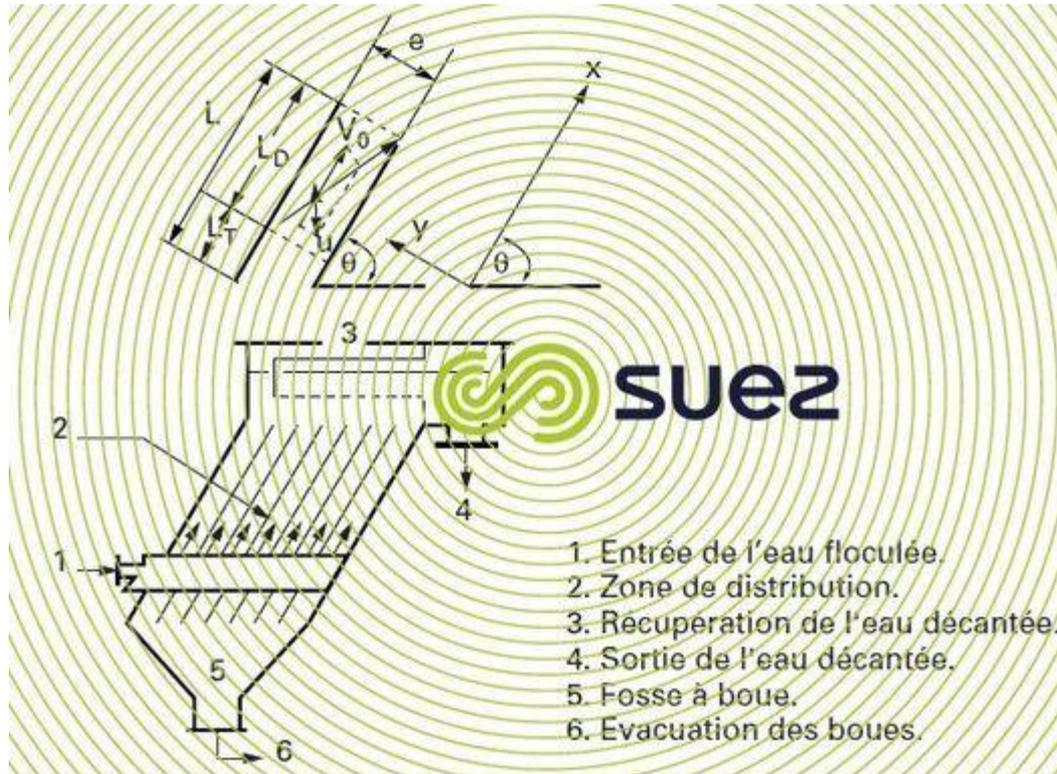
$$Q_E = Q_S$$

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

*alimentation = décantation + sortie*

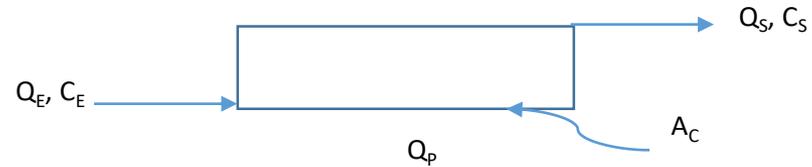
$$1 - \frac{C_S}{C_E} = \frac{u_S}{\frac{Q_S}{A_C}}$$

# 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*

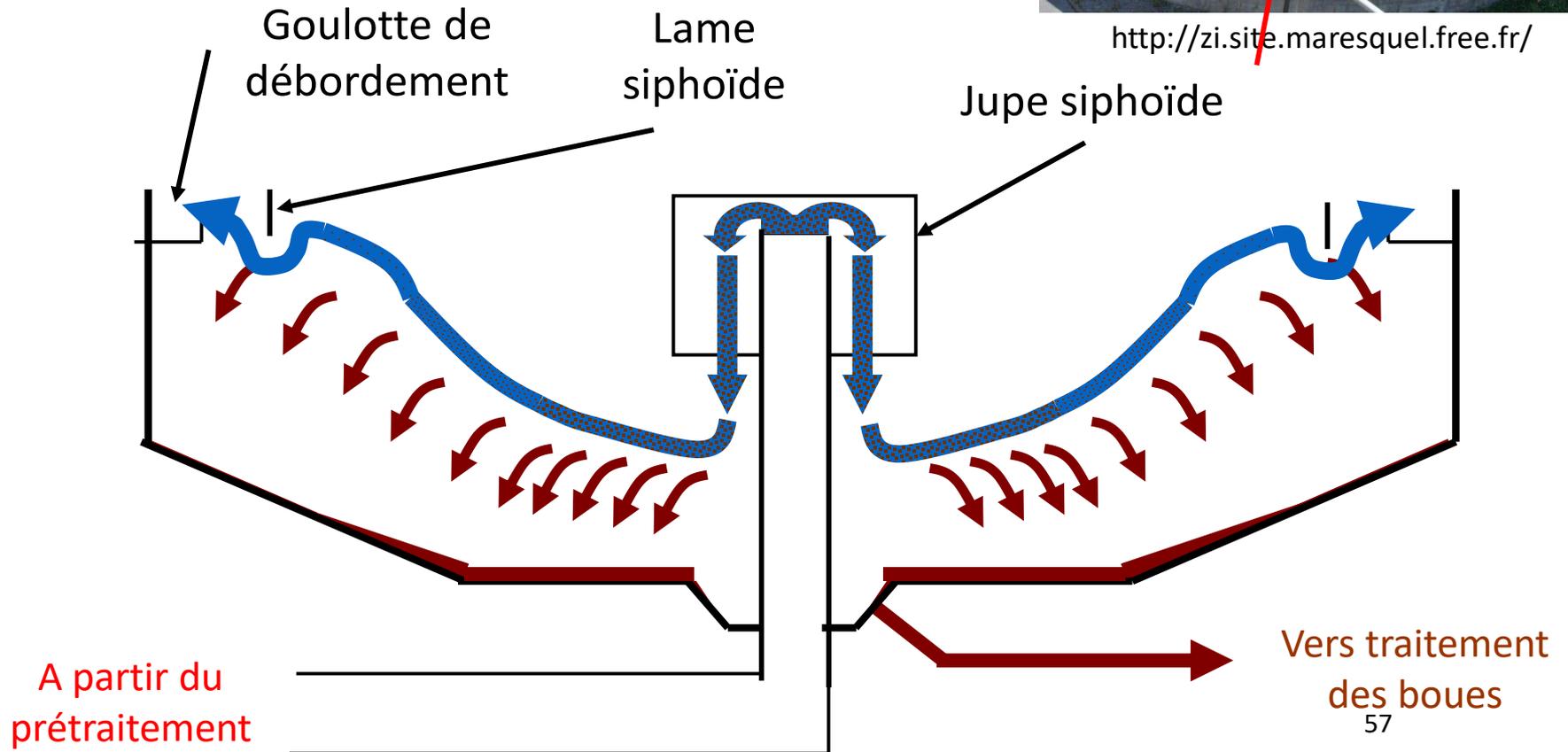
$$1 - \frac{C_S}{C_E} = \frac{u_S}{\frac{Q_S}{A_C}}$$

# Décantation

## Décanteur à flux vertical



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



# Décantation

Raclette de  
fond

Goulotte

Raclette de  
surface

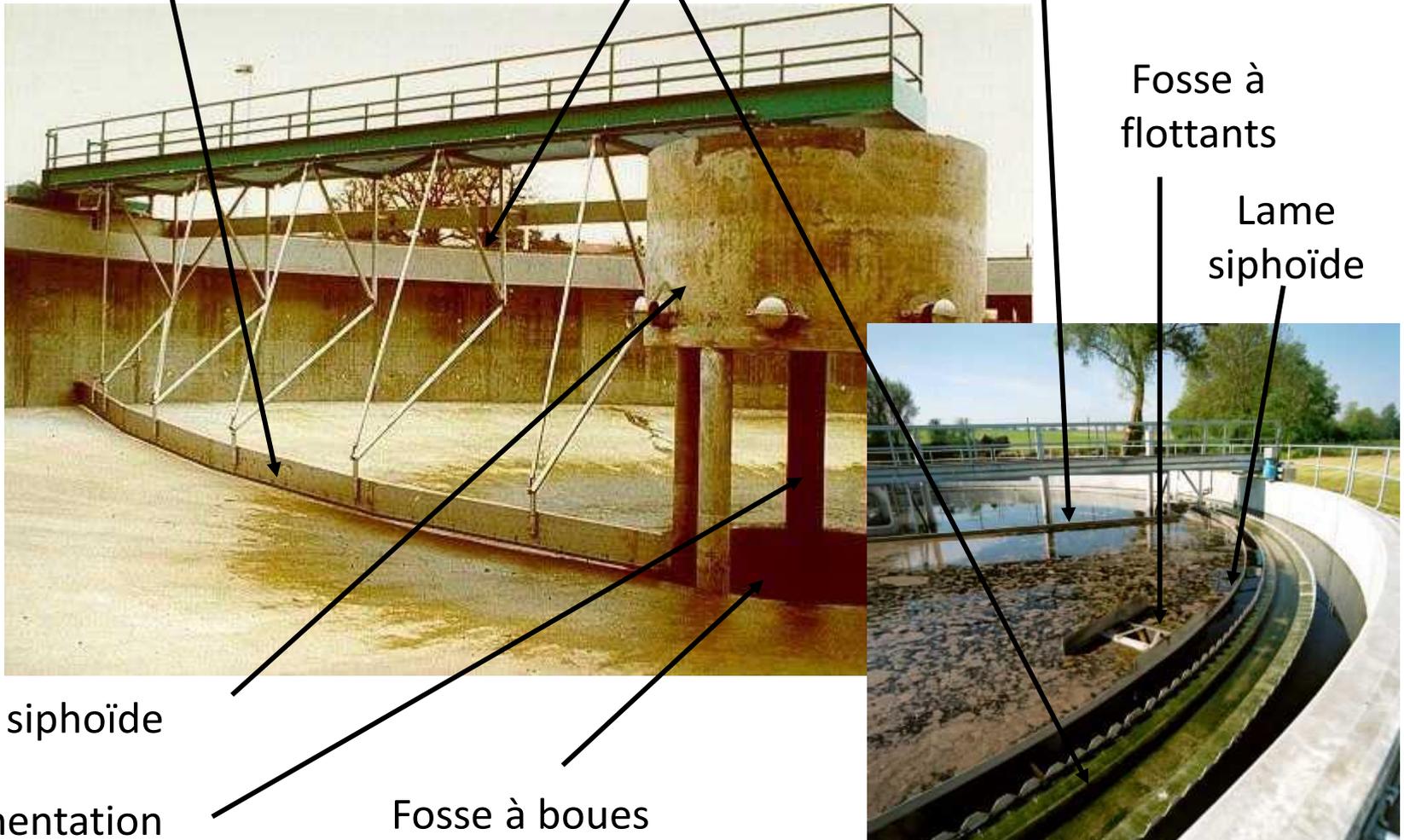
Fosse à  
flottants

Lame  
siphonoïde

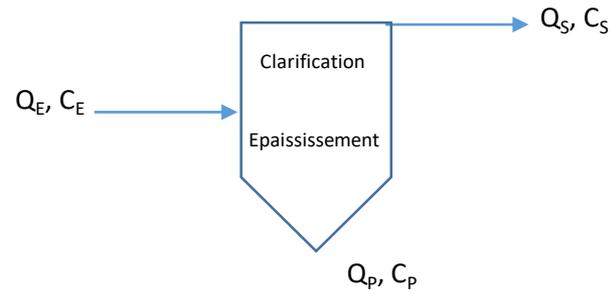
Jupe siphonoïde

Alimentation

Fosse à boues



# Décantation

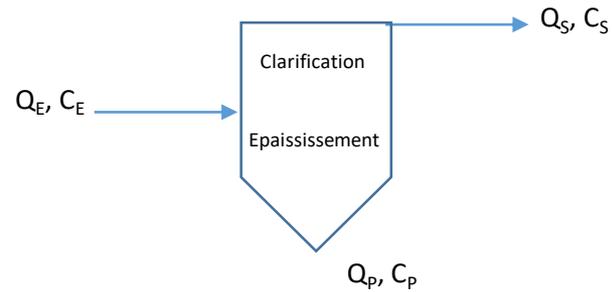


$$Q_E = Q_P + Q_S$$

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

$$Q_P C_P = N_T A_C$$

# 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 m<sup>3</sup>/j.

# Exercices

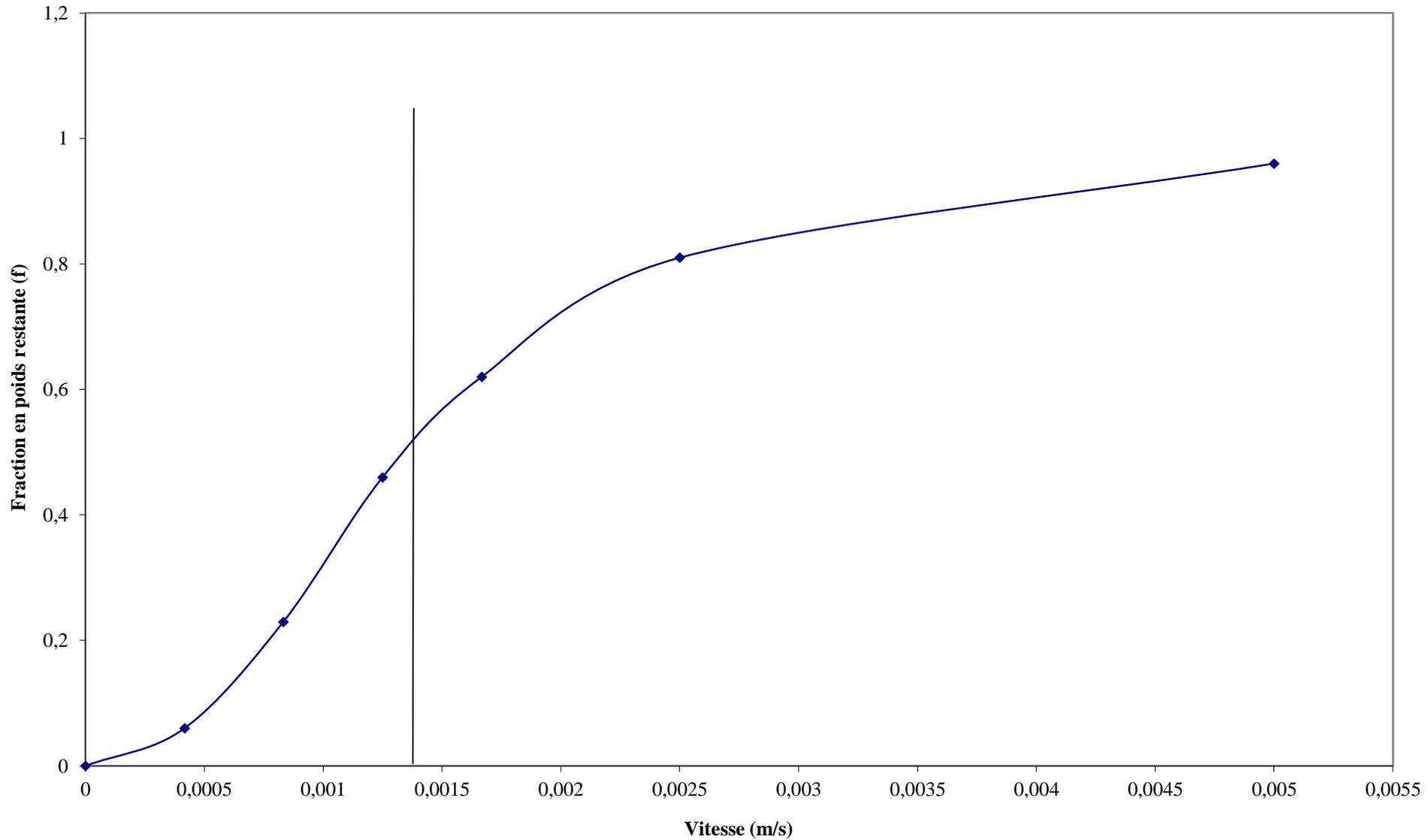
Une suspension de particules sable (diamètres variables) décante dans une colonne test au repos. Des échantillons sont collectés à 1,5 m sous le niveau de liquide à différents intervalles de temps.

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

# Exercices

$C_i$ (kg/m <sup>3</sup> )	$u_i$ (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