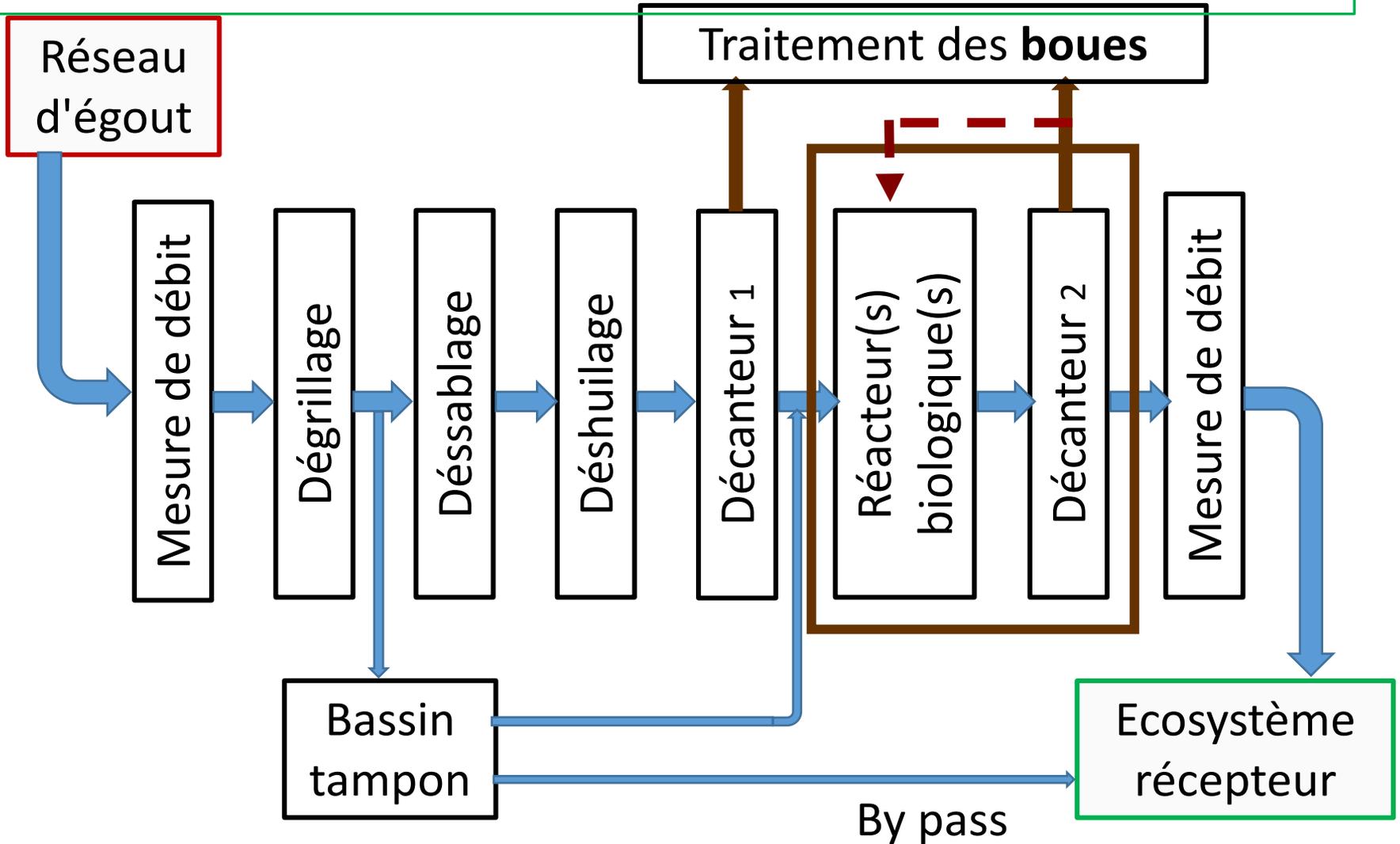


Gestion des eaux usées

- 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 tertiaire



Traitement tertiaire

GENERALITES

❑ **FONCTION** : extraire la **charge eutrophisante** = abattement **N & P**

❑ **TECHNOLOGIE** : **processus biologique et/ou physico-chimique**

❑ N : $N\text{-org} + N\text{-NH}_4^+ \rightarrow N_2 \uparrow$ (+ C-cell (boues II))

❑ P : $P\text{-org} + P\text{-PO}_4^{---} \rightarrow C\text{-cell}$ (boues II et/ou III)

 **Biomasses particulières et conditions particulières**

❑ **CONSEQUENCES**

❑ Boues secondaires riches en P

❑ Risque d'acidification en cours de nitrification

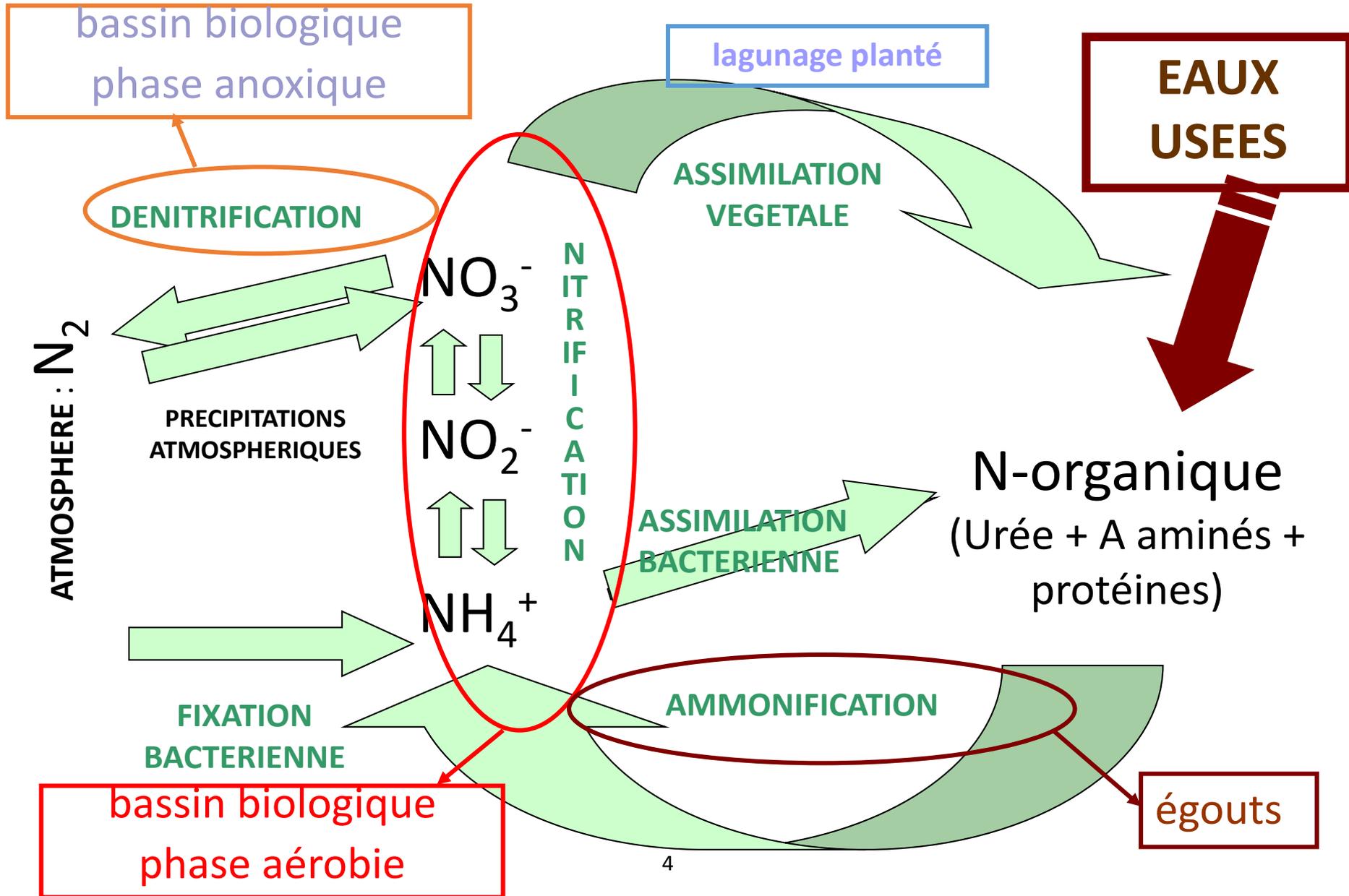
❑ **REMARQUE**

❑ Pas toujours présent

❑ Obligatoire si ≥ 10.000 EH en zone sensible (directive 91/271 CEE)

Traitement tertiaire

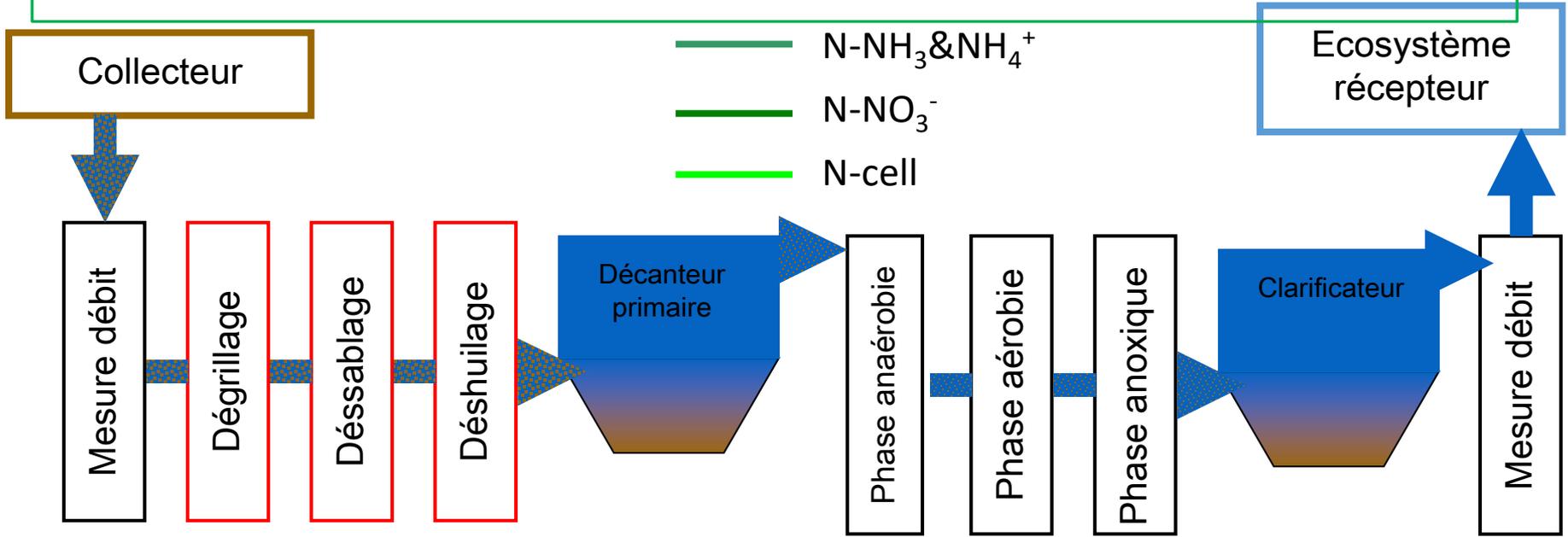
N



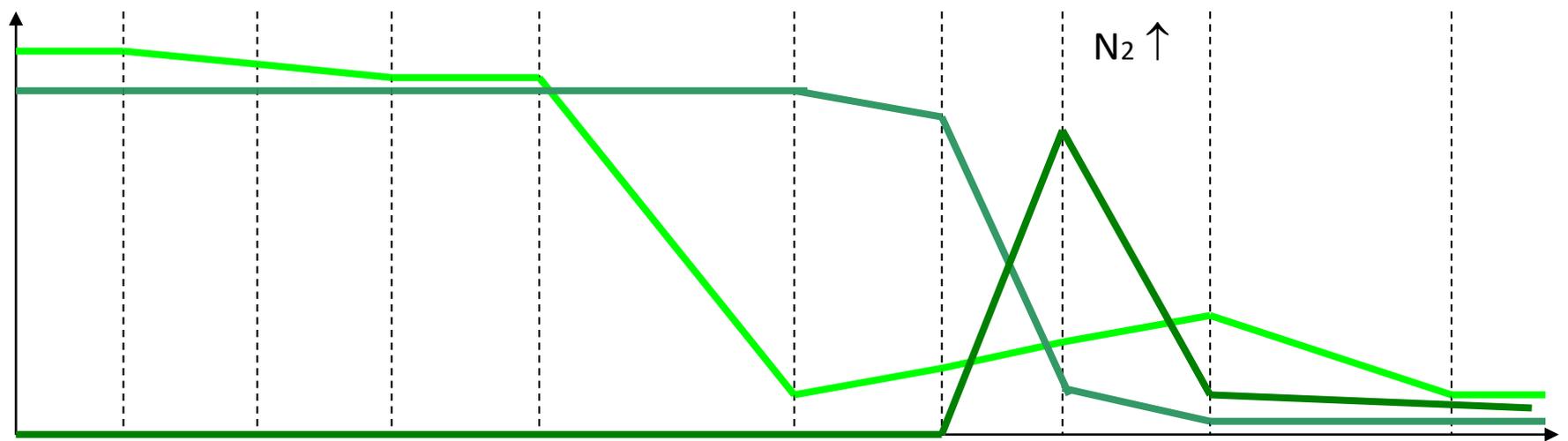
Traitement tertiaire

- **ERU** : N-organique + N-ammoniacal
- **Egouts** → **ammonification** → [N-org] ↓ et [N-NH₄⁺] ↗
- **Entrée** step : N-org + N-NH₄⁺
- **Bassin(s) biologique(s)**
 - **Fin de l'ammonification** → [N-org] = 0 → [N] = [N-NH₃ & NH₄⁺]
 - **assimilation** → [N-NH₄⁺] ↓ et N-Cellulaire ↗
 - **nitrification** → [N-NH₄⁺] ↓ et [N-NO₃⁻] ↗
 - nitritation → N-NH₄⁺ → N-NO₂⁻
 - nitratisation → N-NO₂⁻ → N-NO₃⁻
 - **dénitrification** → [N-NO₃⁻] ↓ et [N-N₂] ↗ → N₂ ↑

Traitement tertiaire



- N-NH₃&NH₄⁺
- N-NO₃⁻
- N-cell



- ERU → P-org + orthophosphates

- Bassins biologiques

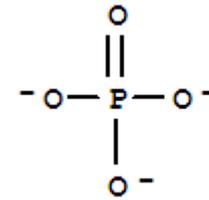
- Bassin anaérobie

- Biomasse aérobie-anaérobie facultative (PAO = **Phosphorus Accumulating Organisms**)

- Conditions "défavorables" → **Stress** →

- accumulation de réserves carbonées → Poly-Hydroxy-Butyrate (**PHB**) → [PHB] intracellulaire ↗

- Utilisation des réserves d'énergie (**polyphosphates**) → **largage** de PO_4^{---} → $[\text{PO}_4^{---}]$ dans liqueur mixte ↗



anaérobiose

Traitement tertiaire

- Bassin aérobie

- Même biomasse (PAO)

- Conditions favorables

- Utilisation des réserves carbonées (PHB)

- Accumulation de réserves énergétiques sous forme de polyphosphates

Surassimilation de PO_4^{---} → $[\text{PO}_4^{---}] \Downarrow$

- Clarificateur

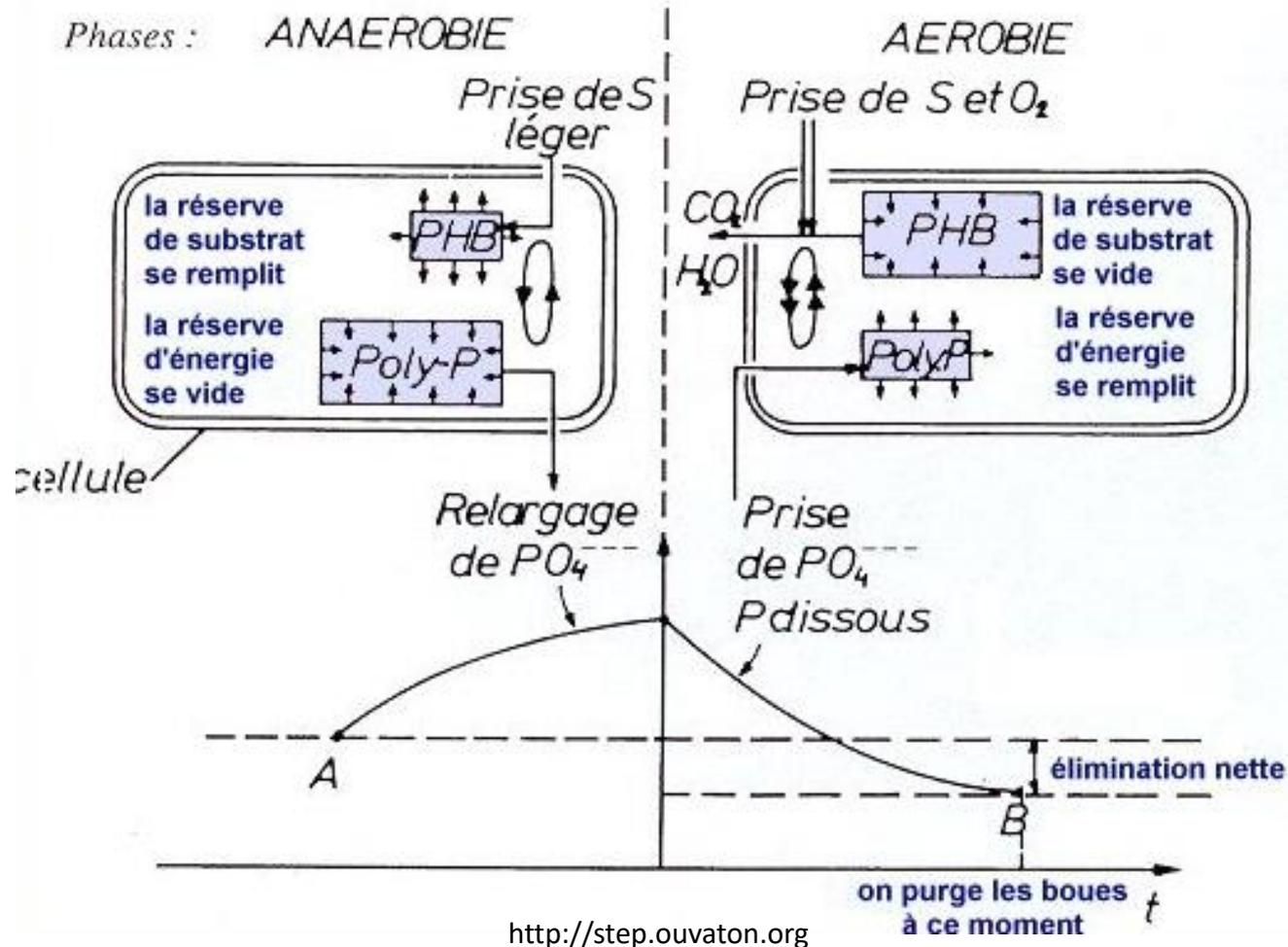


BOUES II

aérobiose

Traitement tertiaire

Élimination biologique du phosphore



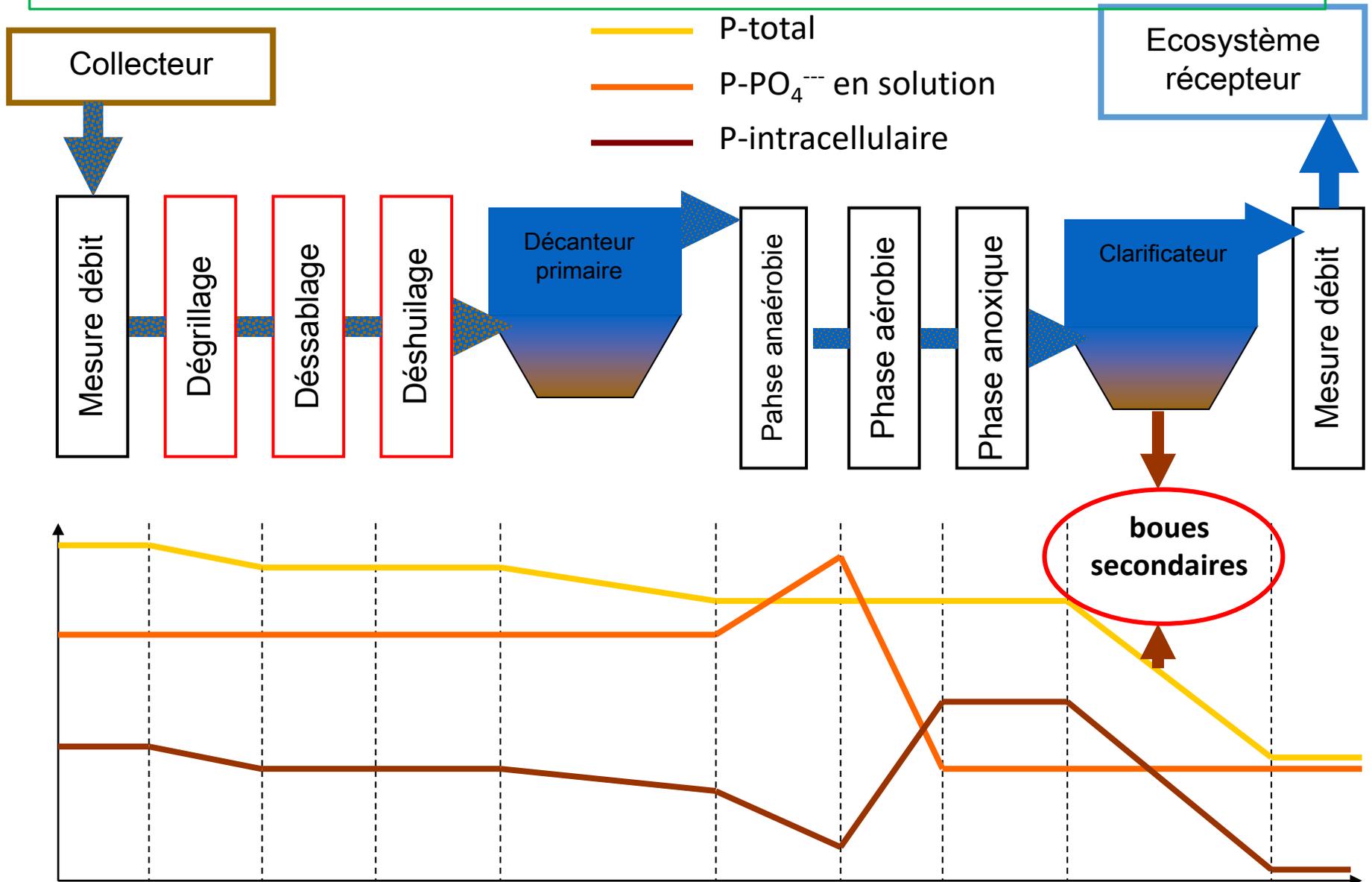
Traitement tertiaire

Elimination physico-chimique du phosphore



BOUES II ou III

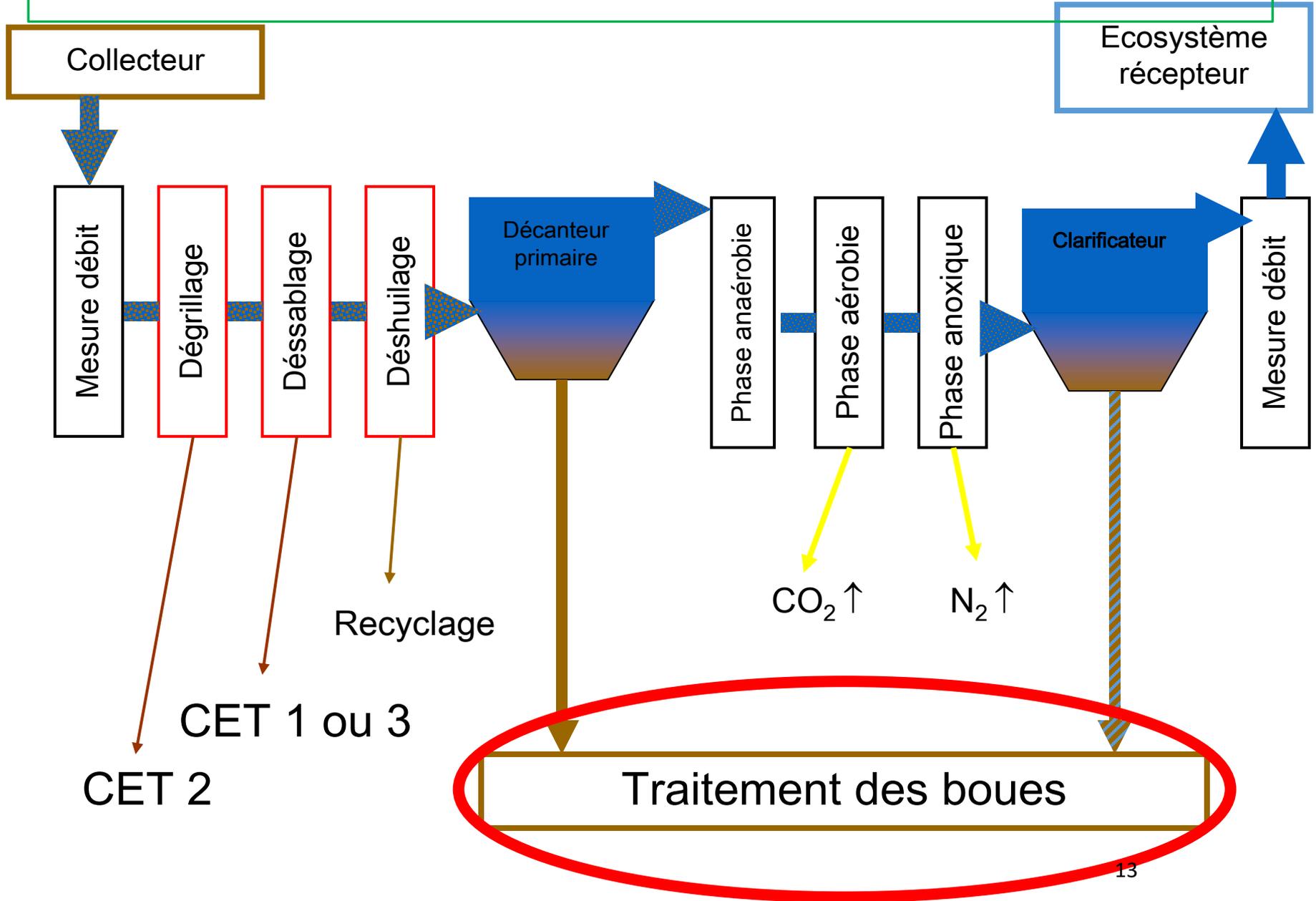
Traitement tertiaire



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 des boues



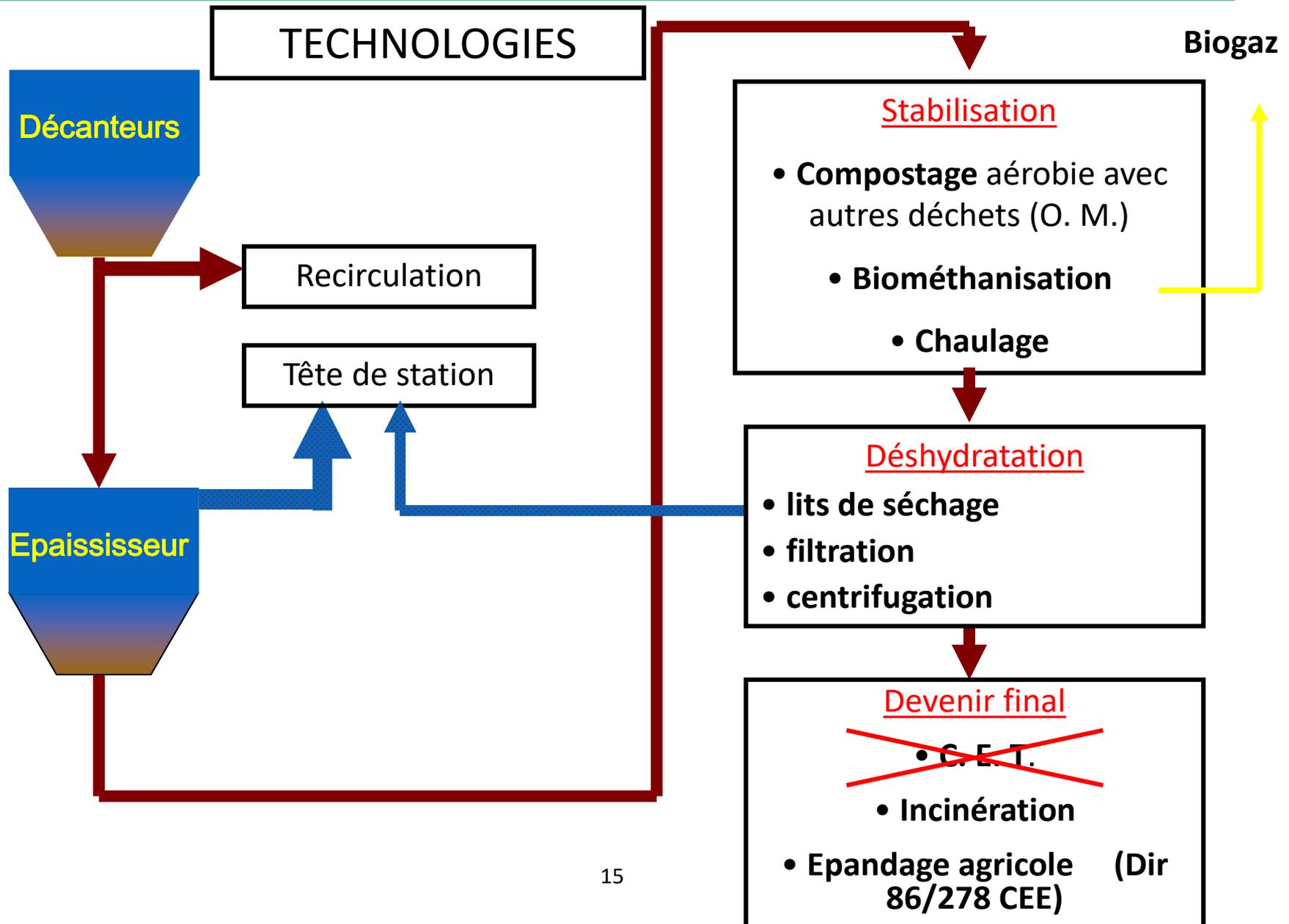
Traitement des boues

- Rappel : déchets step :
 - Dégrillage → CET 2
 - Déssablage → CET 1 ou CET 3
 - Déshuilage → recyclage ou valorisation énergétique
 - Décanteur I → **boues I** → traitement des boues
 - Clarificateur → **boues II** → traitement des boues

Boues 1 = MES minérales (non biologiques) et partiellement organiques

Boues 2 = biomasse → biologiques (MSV)

Traitement des boues



Filtration

Déshydratation = filtration

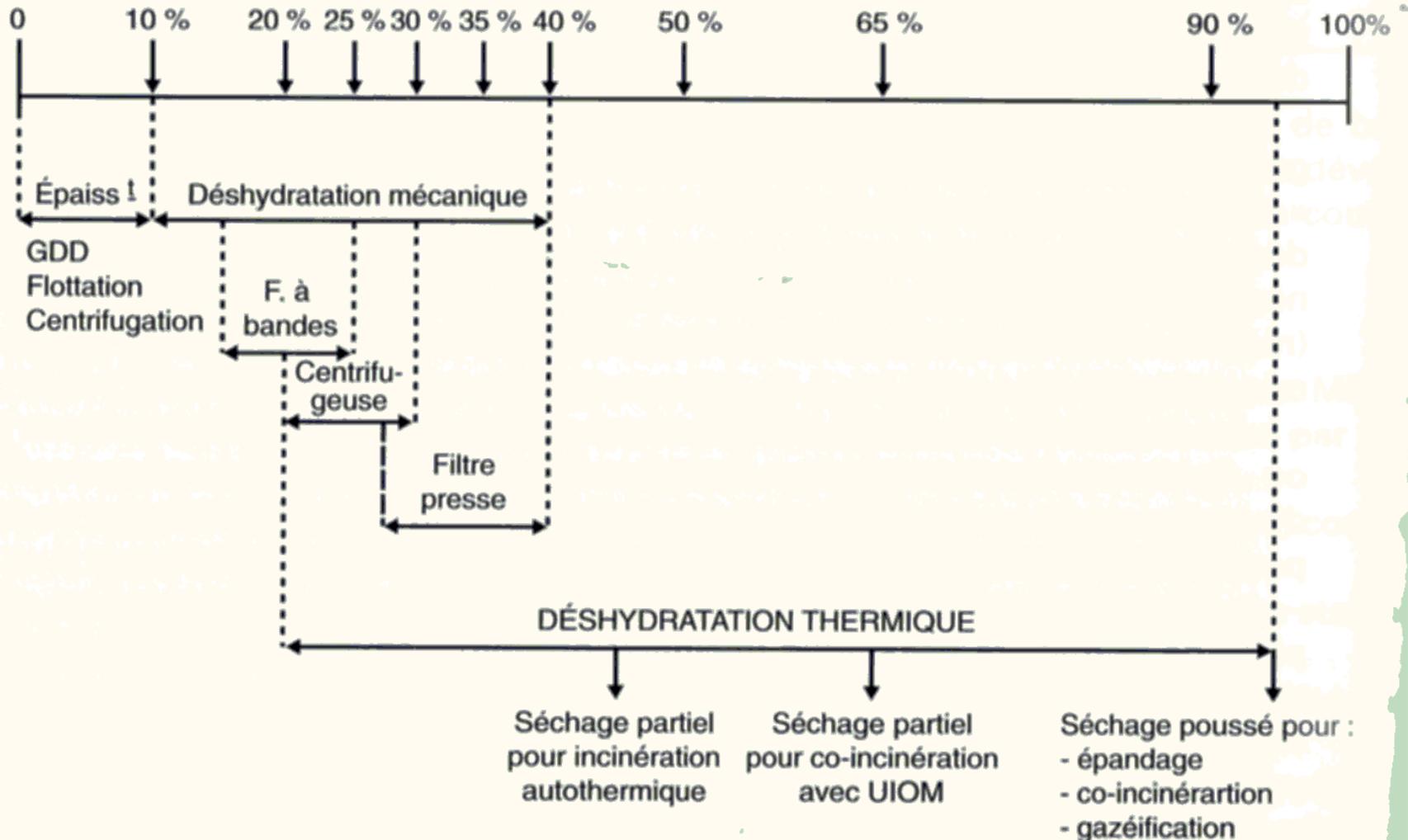
- Filtration avec formation de gâteau
 - Filtration en surface : pouvoir de coupure
 - Filtration dans le gâteau
- ➔ Augmentation perte de charge

Objectifs du traitement

- Réduire les volumes et/ou les masses:
 - Epaissement statique
 - Déshydratation mécanique (filtres à bande ou presse)
 - Centrifugation
 - Séchage thermique
- Stabiliser (arrêter le processus de dégradation):
 - Chaulage
 - Traitements biologiques (aérobie et anaérobies)

Techniques de déshydratation

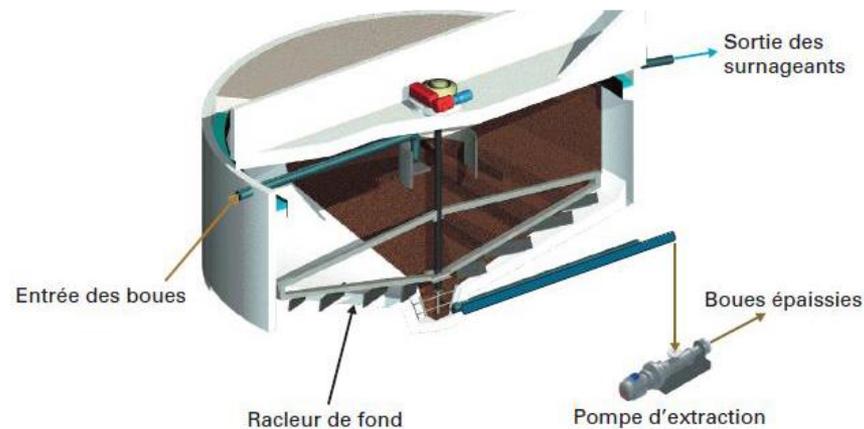
ÉCHELLE DES SICCIÉTÉS



Epaississement statique

Epaississeur statique

- D'après la théorie de Kynch
- Boues contiennent initialement 99 à 99,8% d'eau, épaissies à 90-96% d'eau



Déshydrations mécaniques

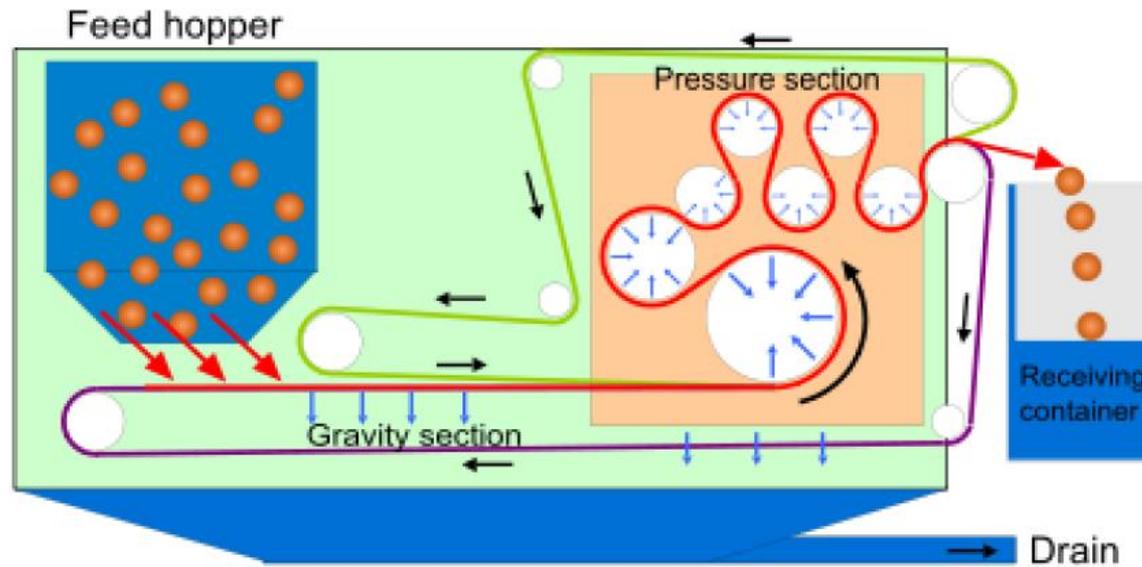
Filtre à bandes



<http://www.protecsales.com/Tefsa%20plate%20and%20frame%20recessed%20plate%20membrane%20and%20belt%20filters.htm>

Déshydrations mécaniques

Filtre à bandes



https://en.wikipedia.org/wiki/Belt_filter

Déshydrations mécaniques

Filtre presse



Déshydrations mécaniques

- Filtre-presse

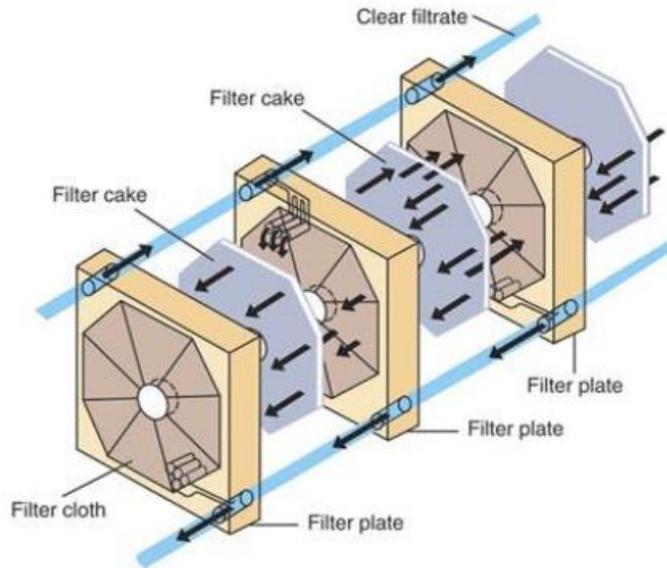
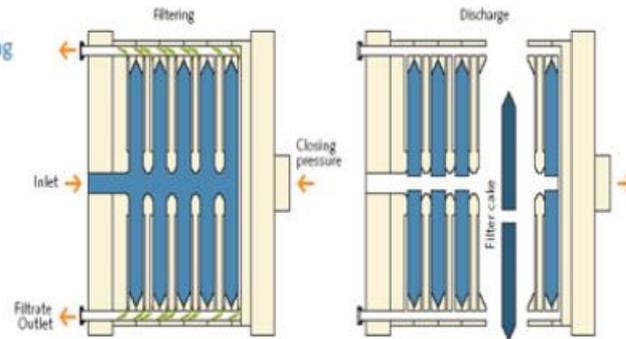


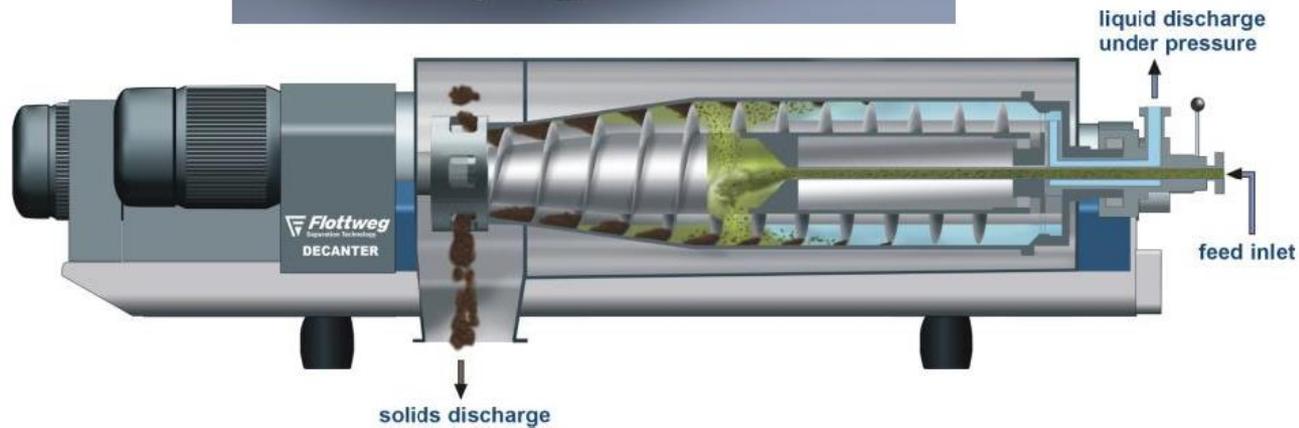
Diagram showing operation



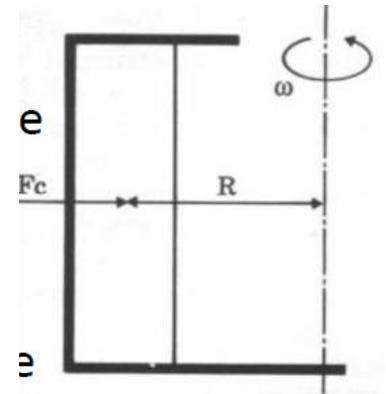
http://www.beckart.com/wastewater_treatment/filter_presses.php

Déshydrations mécaniques

Décanteur centrifuge

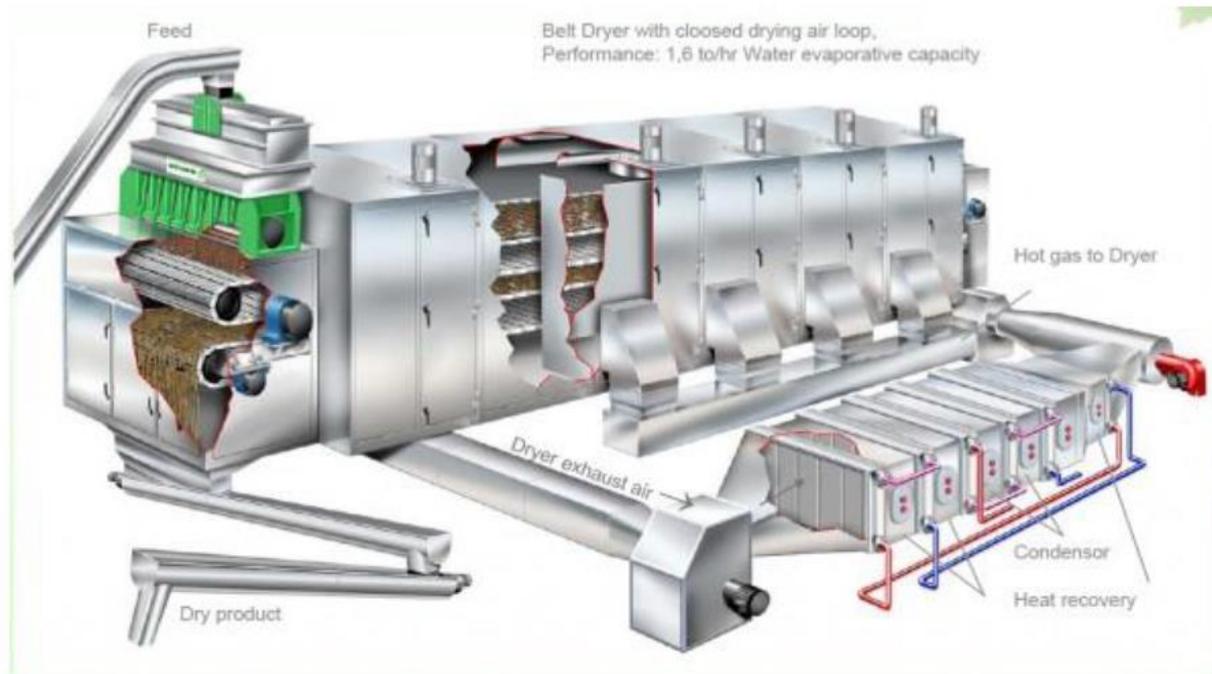


$$\gamma = \omega^2 R$$



Séchages thermiques

Sécheur à bandes



Stabilisation des boues

- Par voie biologique:
 - Aérobie: $C \rightarrow CO_2 \uparrow$
 - Compostage (en mélange avec d'autres déchets, afin de permettre une bonne aération des tas)
 - Lit de séchage ou minéralisation (aération forcée ou naturelle)
 - Anaérobie: Biométhanisation, production de:
 - Biogaz $C \rightarrow CH_4 + CO_2$ (gaz combustible)
 - Digestat = boues appauvries en C
- Chaulage:
 - processus physico-chimique
 - $pH > 11$ + aw faible = arrêt des fermentations
 - boues chaulées = amendement

Séchage par voie aérobie

- Lit de séchage



- Compostage



Filtration

Perte de charge du support

$$u_L = \frac{1}{r_F \mu_L} \left(- \frac{\Delta P_F}{Z_F} \right)$$

u_L = vitesse superficielle d'écoulement du liquide [m/s]

r_F = résistance volumique du filtre [m^{-2}]

μ_L = viscosité dynamique du liquide [Pa.s]

ΔP_F = perte de charge sur le filtre [Pa]

Z_F = épaisseur du filtre [m]

Filtration

Perte de charge du gâteau

$$u_L = \frac{1}{r \mu_L} \left(-\frac{\Delta P_C}{Z_C} \right)$$

$r =$ résistance volumique du gâteau [m^{-2}]

$\Delta P_C =$ perte de charge sur le gâteau [Pa]

$Z_C =$ épaisseur du matériau filtrant [m]

Globalement

$$u_L = \frac{1}{\mu_L} \left(\frac{-\Delta P_C - \Delta P_F}{r Z_C + r_F Z_F} \right) = \frac{1}{\mu_L} \left(\frac{-\Delta P}{r Z_C + r_F Z_F} \right)$$

Filtration

Bilan sur l'eau

$$A u_L = \frac{dV_L}{dt}$$

A = surface du matériau filtrant [m²]

V_L = volume de filtrat [m³]

$$\frac{dV_L}{dt} = \frac{A}{\mu_L} \left(\frac{-\Delta P}{r Z_C + r_F Z_F} \right)$$

$$V_C = A Z_C$$

$$\frac{V_C}{V_L} = K_C$$

Filtration

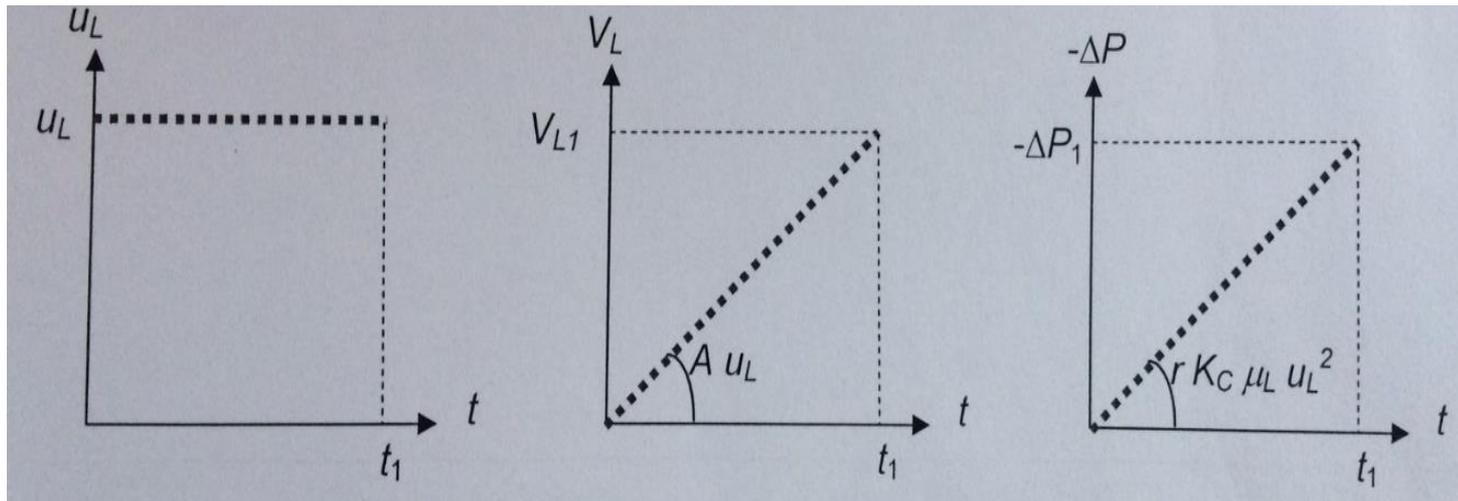
$$Z_C = \frac{V_L K_C}{A}$$

$$dt = \frac{\mu_L r K_C}{A^2 (-\Delta P)} V_L dV_L + \frac{\mu_L r_F Z_F}{A (-\Delta P)} dV_L$$

Filtration

Intégration à vitesse de filtration constante

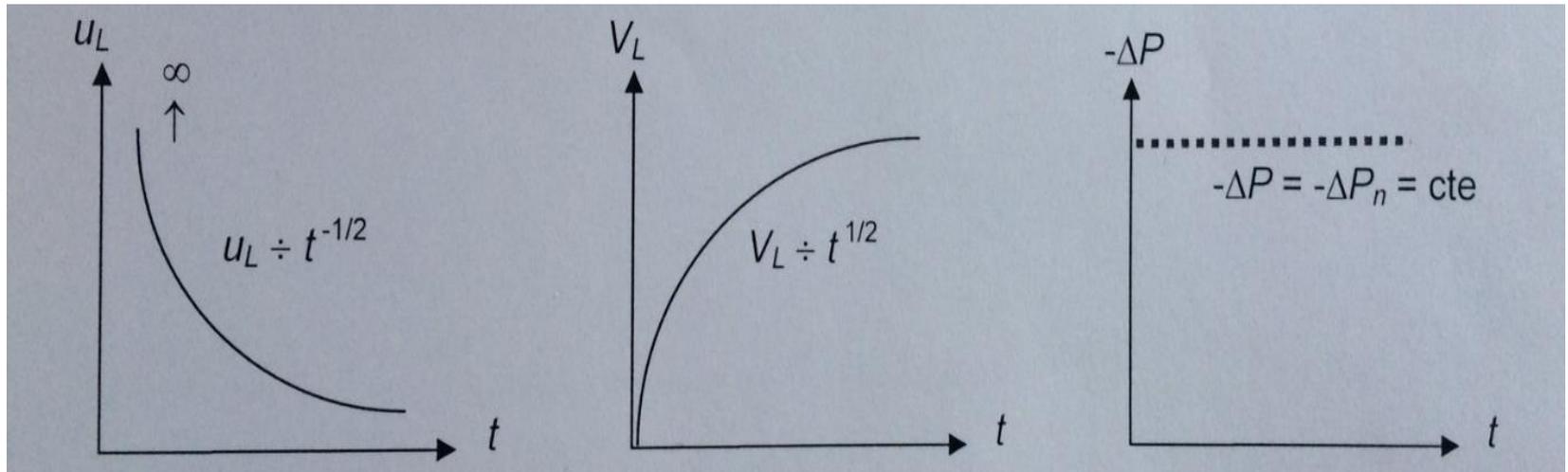
$$-\Delta P = \left(\frac{\mu_L r K_C}{A^2} \frac{V_L}{t_F} \right) V_L + \left(\frac{\mu_L r_F Z_F}{A} \frac{V_L}{t_F} \right)$$



Filtration

Intégration à perte de charge constante

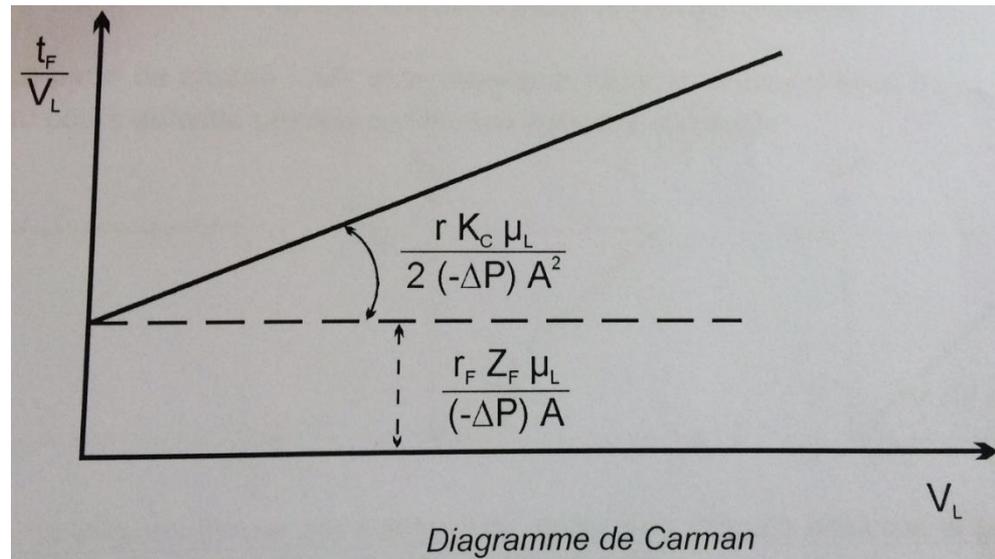
$$t_F = \frac{\mu_L r K_c}{2 A^2 (-\Delta P)} V_L^2 + \frac{\mu_L r_F Z_F}{A (-\Delta P)} V_L$$



Filtration

Intégration à perte de charge constante

$$\frac{t_F}{V_L} = \frac{\mu_L r K_C}{2 A^2 (-\Delta P)} V_L + \frac{\mu_L r_F Z_F}{A (-\Delta P)}$$



Filtration

Intégration à perte de charge constante

- Deux paramètres importants caractérisent la filtrabilité d'une eau chargée en MES :
- La résistance volumique r [m^{-2}] ou son inverse, la perméabilité α [m^2]
- Le facteur de formation du gâteau K_C [-]

$$\frac{V_C}{V_L} = K_C$$

$$C = \frac{M_C}{V_L}$$

$$r K_C = R C$$

$$R = r \frac{K_C}{C} = r \frac{V_C}{M_C} = \frac{r}{\rho_C}$$

Filtration

Bilans de matière

- Volume : $V_0 = V_L + V_C$
- Solide : $V_0 C_0 = V_L C_L + V_C C_C$
- Concentration massique : $C = \frac{M_C}{V_L}$, $C_C = \frac{M_C}{V_C} \rightarrow C = \frac{V_C C_C}{V_L}$
- $V_C (C_0 - C_C) = V_L (C_L - C_0)$
- $\frac{C}{C_C} = \frac{(C_L - C_0)}{(C_0 - C_C)}$

Filtration

Dimensionnement

- Capacité de filtration = $\frac{\text{masse de solide enlevé}}{\text{unité de temps} \cdot \text{surface filtrante}}$

- $L = \frac{M_c}{A \cdot t}$

- Temps de filtration = $t_F \rightarrow L_F = \frac{C \cdot V_L}{A \cdot t_F}$

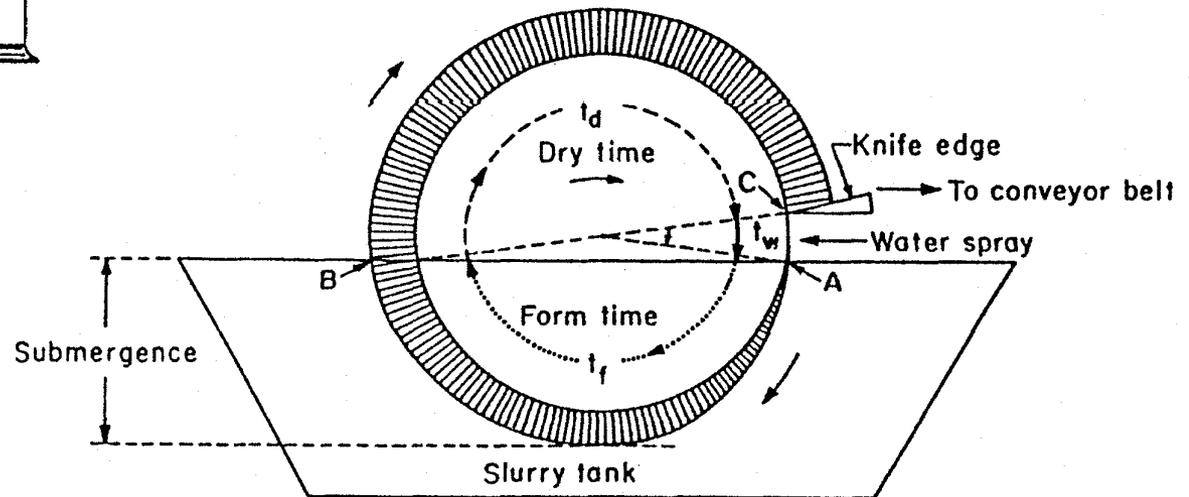
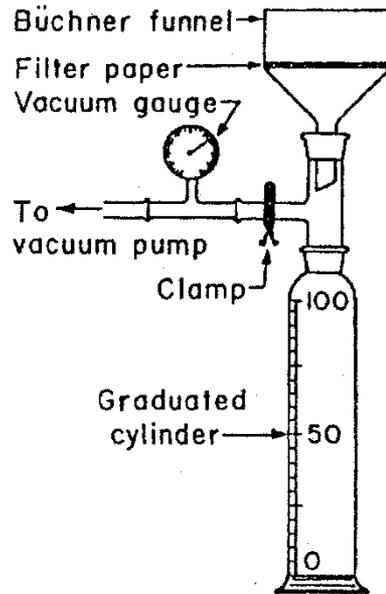
- Dans Carman :

$$\left(\frac{C \cdot V_L}{t_F^2} \right) \frac{t_F}{V_L} = \frac{\mu_L R C}{2 A^2 (-\Delta P)} V_L \left(\frac{C \cdot V_L}{t_F^2} \right)$$
$$\frac{C}{t_F} = \frac{\mu_L R}{2(-\Delta P)} L_F^2$$

- Pour le cycle (filtration et temps mort)

$$L_c = \frac{C \cdot V_L}{A \cdot t_c}$$

Filtre rotatif



Exercice

- Les données fournies dans le tableau ci-dessous ont été obtenues par un test de filtration en laboratoire basé sur l'appareil de Büchner. Le slurry à filtrer contient 7% de solide. On travaille sous un vide de 67,7 kN/m² et à une température de 20°C. La surface du filtre est de 73,6 cm². On considère que le filtrat a les propriétés de l'eau à 20°C ($\mu = 10^{-3}$ kg/ms). A la fin du processus de filtration, on considère que tout le solide est retenu sur le filtre sous la forme d'un gâteau concentré à 27 %.
- Déterminer la résistance spécifique du gâteau et la comparer à la résistance du filtre.

| | | | | | | |
|-------------------|------|-----|-------|-----|-------|-----|
| Vol. filtrat (ml) | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 |
| Temps (s) | 27.5 | 110 | 247.5 | 440 | 687.5 | 990 |

Exercice

A partir des résultats de cet essai, dimensionner un filtre rotatif sous vide opérant dans les conditions suivantes :

- vide de 67,7 kN/m²
- immersion du filtre pendant 50% du temps total d'un cycle
- temps de séchage : 42 s
- $f_w = 20\%$
- facteur de sécurité pour la surface du filtre rotatif : 0.9
- le filtre rotatif, qui tourne en continu, doit assurer une élimination de 10,344 tonnes de solide toutes les 24 heures.

Ce dimensionnement comprendra :

- les différentes durées caractéristiques d'un cycle de filtration : t_f , t_d , t_w , t_c
- la surface effective totale du filtre rotatif
- le rendement effectif du filtre rotatif en kg de solide enlevé par m² et par heure.

Exercice

- Pour rappel

$$\frac{t_F}{V_L} = \frac{\mu_L R C}{2 A^2 (-\Delta P)} V_L + \frac{\mu_L r_F Z_F}{A (-\Delta P)}$$

t_F temps de filtration (s)

V_L volume de filtrat recueilli au temps t_F (m³)

R résistance volumique du gâteau (m/kg)

A section du filtre (m²)

R_m résistance volumique du support filtrant (m/kg)

Capacité filtrante = masse de solide enlevée par unité de temps et de surface

$$L = \frac{M_c}{A t} = \frac{C V_L}{A t}$$

Aide : La capacité filtrante peut être exprimée en fonction de Carman en multipliant les deux côtés de l'équation par une expression adéquate. On suppose $R_m = 0$ pour cette partie.