

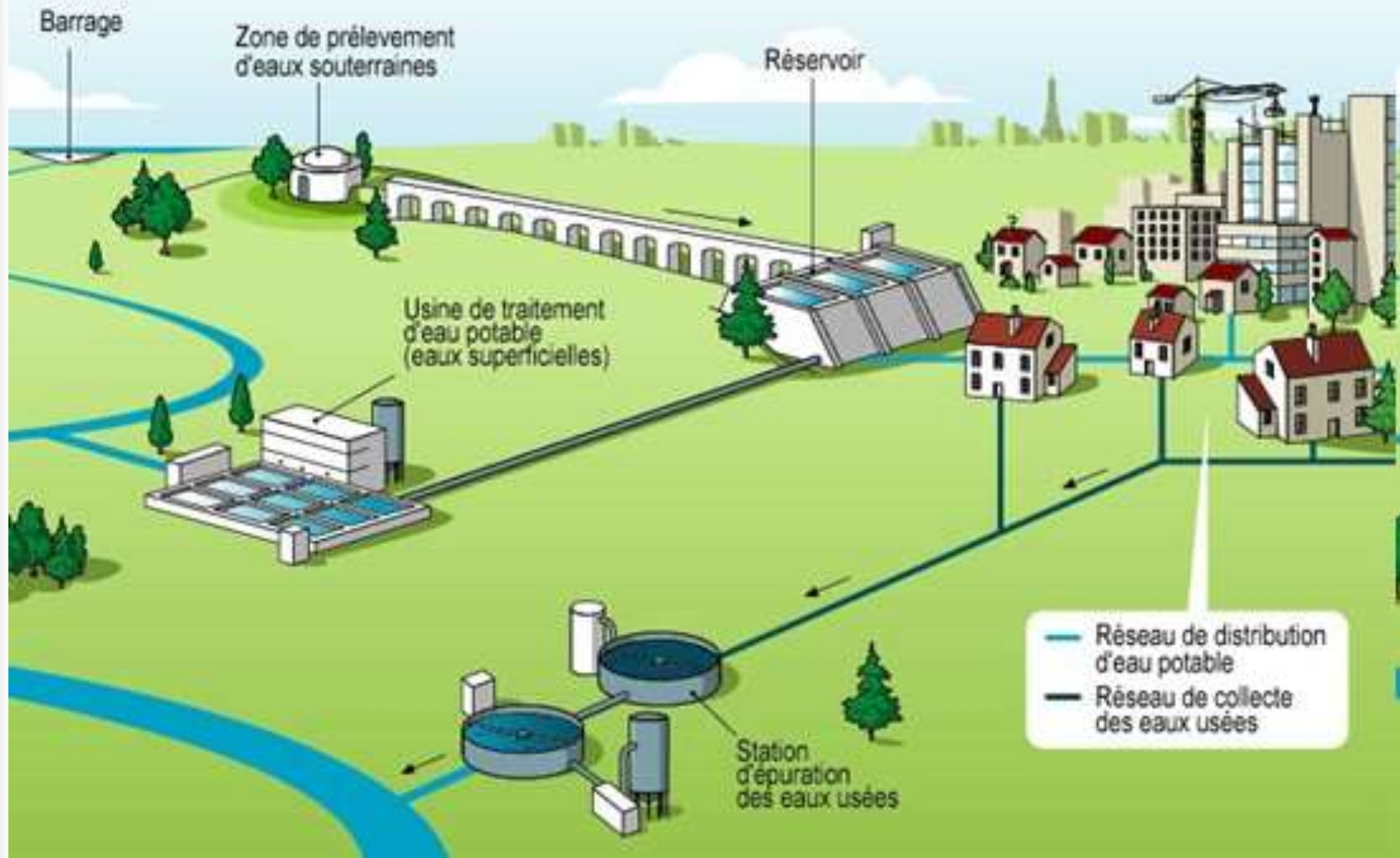
Traitement des eaux usées

Daniel Thévenot & Gilles Varrault
LEESU

Université Paris-Est Créteil, ENPC, ENGREF
(UMR-MA 102)

<http://leesu.univ-paris-est.fr/Traitement-des-eaux-usees-2005.html>

Introduction: eau en ville



Sommaire

- 0- Introduction
- 1- Assainissement
- 2- Prétraitement
- 3- Traitements chimiques
- 4- Traitements biologiques aérobies
- 5- Traitement biologiques anaérobies
- 6- Traitement des boues
- 7- Traitements tertiaires
- 8- Procédés rustiques d'épuration
- 9- Assainissement autonome (individuel)
- 10- Conclusion



0- Introduction

- **Pollutions des eaux usées domestiques et industrielles (eaux résiduaires)**
 - Grossières
 - Volumineuses: déchets, ordures
 - Lourdes: sables, graviers, ferrailles
 - Légères: flottants, graisses, huiles
 - Particulaires
 - Minérales (argiles) ou organiques (domestique)
 - Décantables ou non décantables
 - Dissoute
 - Matière organique, azotée, phosphorée

0- Introduction

- **Effets des rejets directs sans traitement ?**
 - Matière **organique** et **bactéries**
 - consommation d'oxygène dissous
 - asphyxie des poissons
 - **MES** contaminées → dépôt de sédiments et relargage différé de polluants
 - Pollution **dissoute** (ammonium, nitrates, phosphates)
 - eutrophisation, toxicité, difficultés de production d'eau potable
- **Pourquoi traiter les eaux usées domestiques et industrielles → Réglementation !**

0- Introduction

■ Politique d'assainissement européenne et française

- **Directive européenne** du 21 mai 1991 (91/271/CEE), **loi sur l'eau** 3 janvier 1992, Décrets n°94-469 & 2000-318
 - Obligations de collecte, traitement et contrôle
 - Modulées selon taille agglomération et sensibilité du milieu récepteur ⇒ **zone sensible**
 - Sujette à eutrophisation: rejets N & P à réduire
 - Protection spéciale: prise eau, baignade, pisciculture...



0- Introduction

- **Politique d'assainissement européenne et française**
 - **Directive européenne** du 21 mai 1991 (91/271/CEE), **loi sur l'eau** 3 janvier 1992, Décrets n°94-469 & 2000-318 (voir www.cieau.com)
 - **Valeurs limites de rejets:**
 - MES: 35 mg/l ou 90% réduction
 - DBO5: 25 mg/l ou 70-90% réduction
 - DCO: 125 mg/l ou 75% réduction
 - N global: 10-20 mg/l ou 70-80% réduction ⇒ **Zones sensibles**
 - P total: 1-2 mg/l ou 80% réduction ⇒ **Zones sensibles**
 - **Responsabilité communale:** budget propre, distinct alimenté par prix de l'eau potable
 - **Directive cadre sur l'eau (DCE)** (décembre 2000)



0- Introduction

■ Équivalent habitant: rejets quotidiens

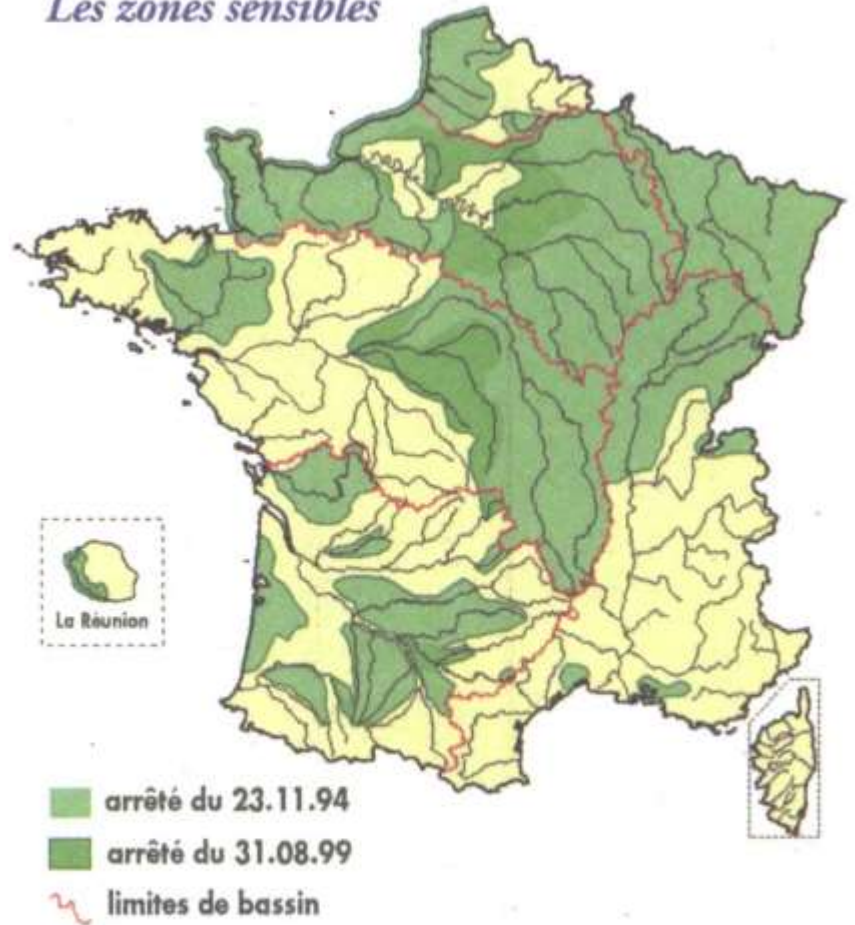
- Volume eau: 180-250 L (Paris: 500 L)
- MES: 90 g
- DBO5: 57 g
- Azote total: 15 g
- Phosphore total: 4 g (50% avec détergents)
- 10^{11} Coli fécaux

0- Introduction

■ Zones sensibles

- 23 nov. 1994
- 31 août 1999
- Extension régulière !

Les zones sensibles



Source : Medd (direction de l'Eau), bureau des données sur l'eau, octobre 2000.

0- Introduction

■ Pollutions des eaux usées domestiques

– Solides

- MES: 100-400 mg/L → 200 mg/L (55% décantable)

– Matière organique

- DBO5: 150-1000 mg/L → 200 mg/L (25-30% décant.)
- DCO: 300-1000 mg/L → 400 mg/L (30% décantable)
- COT: 100-300 mg/L → 150 mg/L (30% décantable)

– Nutriments

- Ammonium: 20-80 mg/L (0% décantable)
- NTK (N organ. + NH_4^+): 30-100 mg/L (<10% décant.)
- Nitrate: < 1 mg/L (0% décantable)
- P total: 10-25 mg/L (10% décantable)
- Détergents: 10-25 mg/L (0% décantable)

– Toxiques: métaux, solvants, PCB, HC & HAP...

– Coliformes fécaux: 10^{17,5} / 100 mL

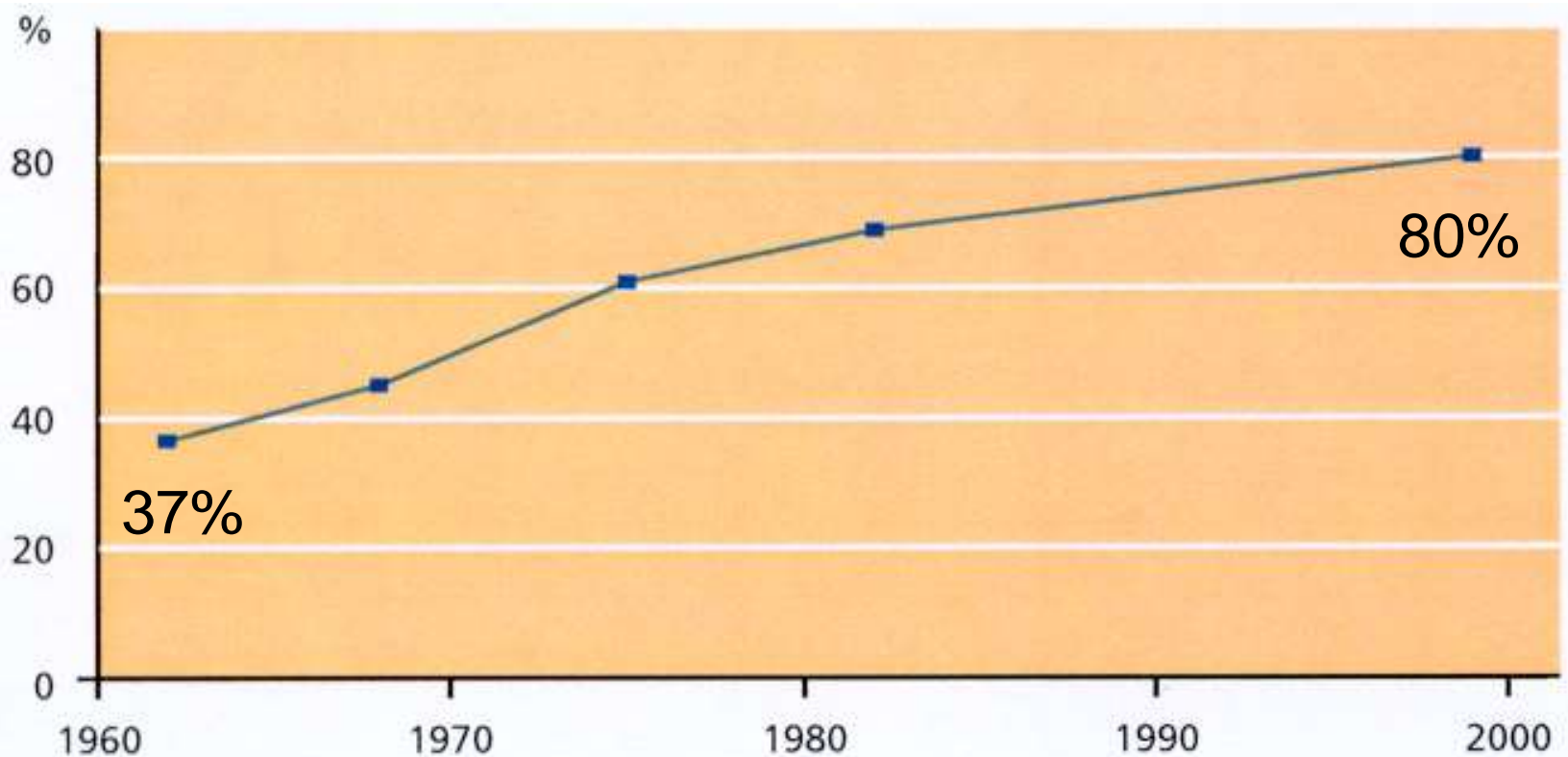
0- Introduction

■ Situation Française

- *Institut Français de l'Environnement IFEN, Données de l'Environnement, n°76, août - septembre 2002 & 98, décembre 2004*
- Réseau de collecte
- Parc des stations d'épuration en France
- Rendement d'épuration: C, N, P

En France : collecte

■ Logements: raccordés à l'égout (%)



source : Insee - recensements de la population.

11/11/2016

Thévenot D.: Eau-Usee-Traitement-2005.ppt

IFEN (76) 2002



En France : collecte

■ Assainissement collectif ou autonome (1998)

| | Nombre de logements | % des logements | Millions d'habitants | % de la population française | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|-----|
| Logements raccordés au réseau d'égout | 22,7 | 79,1% | 46,1 | 78,8% | 79% |
| <i>dont logements raccordés à une station d'épuration publique</i> | 21,9 | 76,3% | 44,6 | 76,2% | 76% |
| Logements munis d'un assainissement autonome | 5,2 | 18,1% | 11,1 | 19,0% | 19% |
| Logements non raccordés et sans assainissement autonome | 0,8 | 2,8% | 1,3 | 2,2% | 2% |

Source : IFEN - SCEES - Agences de l'eau - INSEE, Enquête eau 1998 et Recensement de la population 1999 France métropolitaine

IFEN, 2002

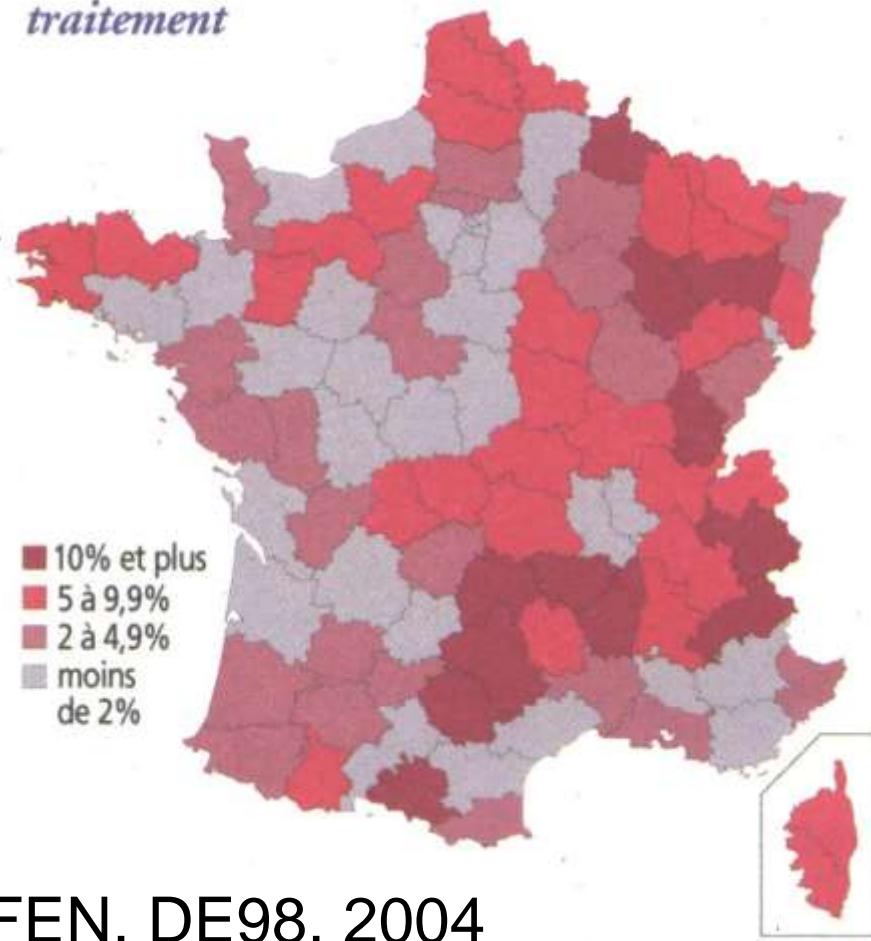
En France : traitement

■ Logements sans traitement des eaux usées

- Répartition par département: 2 à 10%
- En 2001

- 47,1 10⁶ hab ⇒ STEP
- 5,1 10⁶ hab ⇒ assainissement autonome
- 720.000 logements sans traitement
- 660.000 logements raccordés mais sans STEP

Pourcentage de logements par département dont les effluents ne bénéficient d'aucun traitement



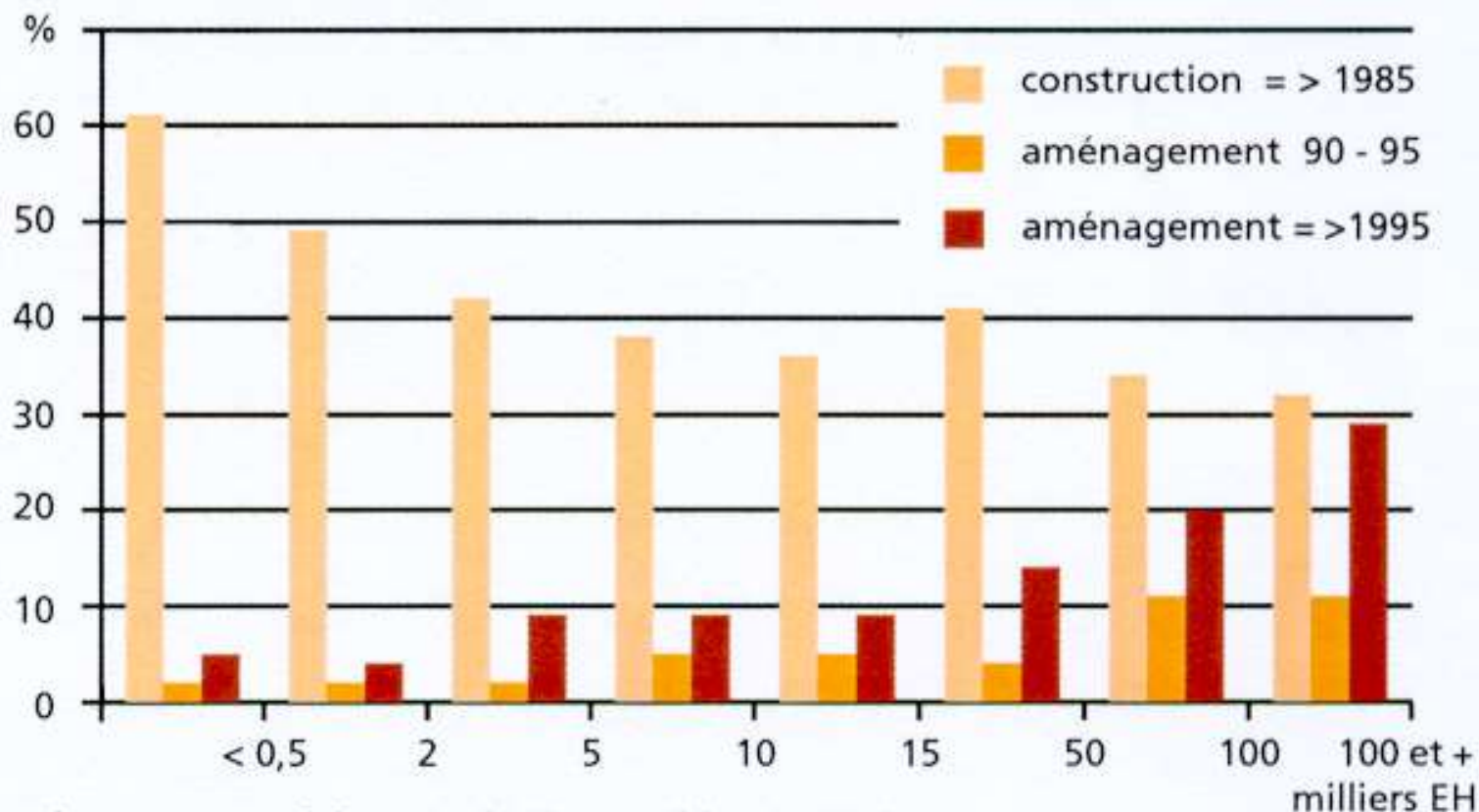
IFEN, DE98, 2004

En France : épuration

- **Stations d'épuration en 1998 & 2001**
 - Stations d'épuration: **15.400** ⇒ **16.100**
 - **Capacité** de traitement (millions équivalent habitant): **81,3** ⇒ **86,4 (47,1 raccordés)**
 - **Petites** stations (< 1.000 équivalent hab.)
 - Nombreuses: 60%
 - Capacité faible: 4%
 - **Grosses** stations (> 100.000 équivalent hab.)
 - Peu nombreuses: 1%
 - Capacité élevée: 44%
 - **Volume traité:** **5,6 10⁹ m³/an** (1998 +25%)
 - **Marché:** Vivendi (29%), Ondéo (19%), Saur (6%)

En France : épuration

- **STEP: nombre de stations aménagées en 1990-98 → efforts sur grosses STEP**

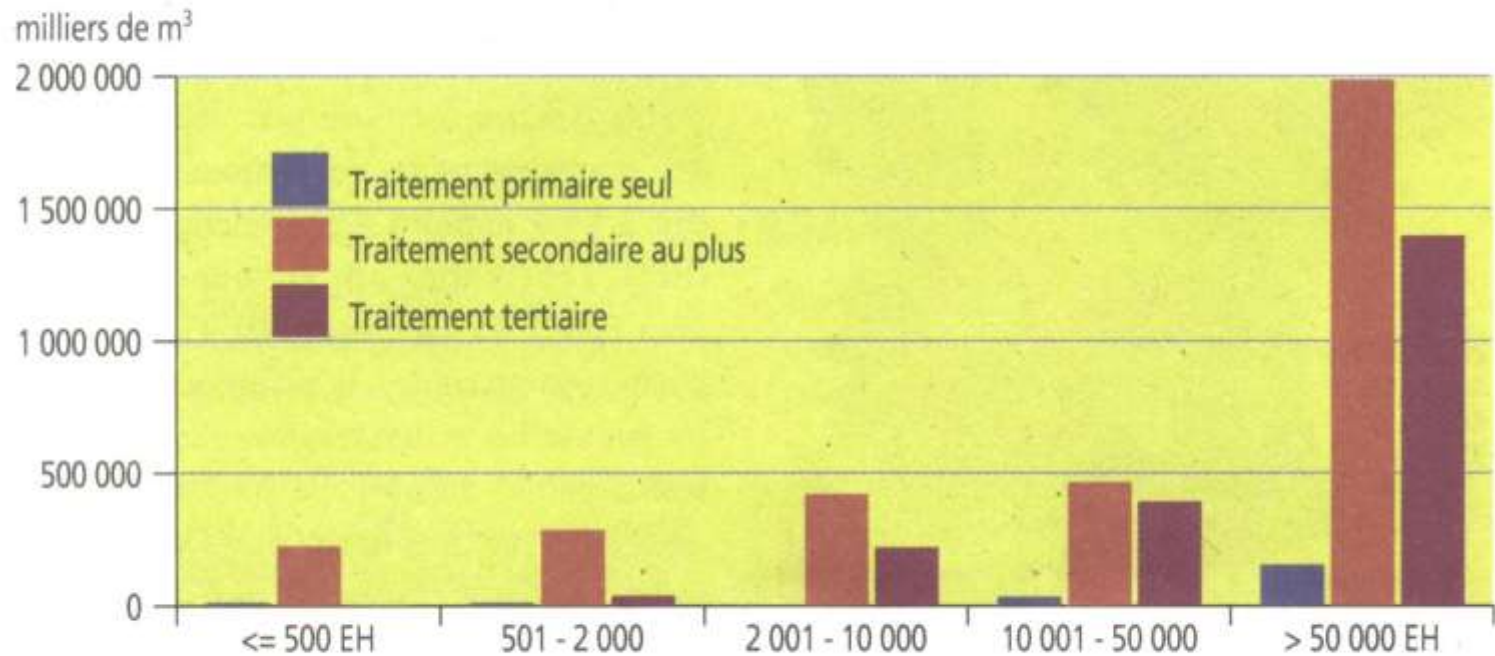


Source : Ifen, Scees, Agences de l'eau - enquête "Eau et assainissement 1998". IFEN (76) 2002

En France : épuration

- Types de traitement: volumes/an selon taille STEP (2001)

Volumes d'effluents traités selon le type de traitement maximum employé et selon la capacité des stations d'épuration

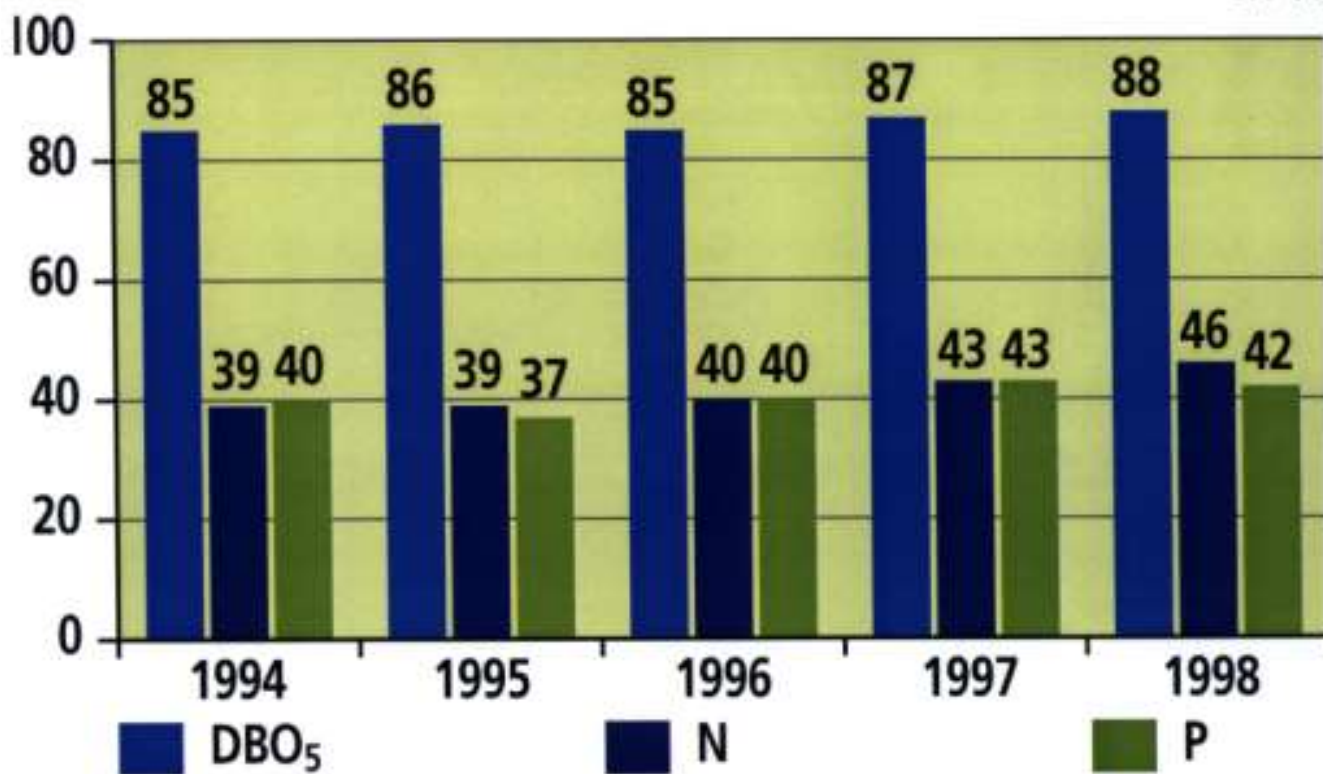


Source : Ifen-Scees, enquête Eau 2001.

IFEN, DE98, 2004

En France : % épuration

- Epuration MOOX (88%) >> N = P (44%)
- Légère amélioration pour MOOX !



Source : Agences de l'eau -RNDE, BNDE

France métropolitaine

* Agglomérations de plus de 10 000 équivalent-habitants

IFEN, 2002

Assainissement de la région parisienne: histoire

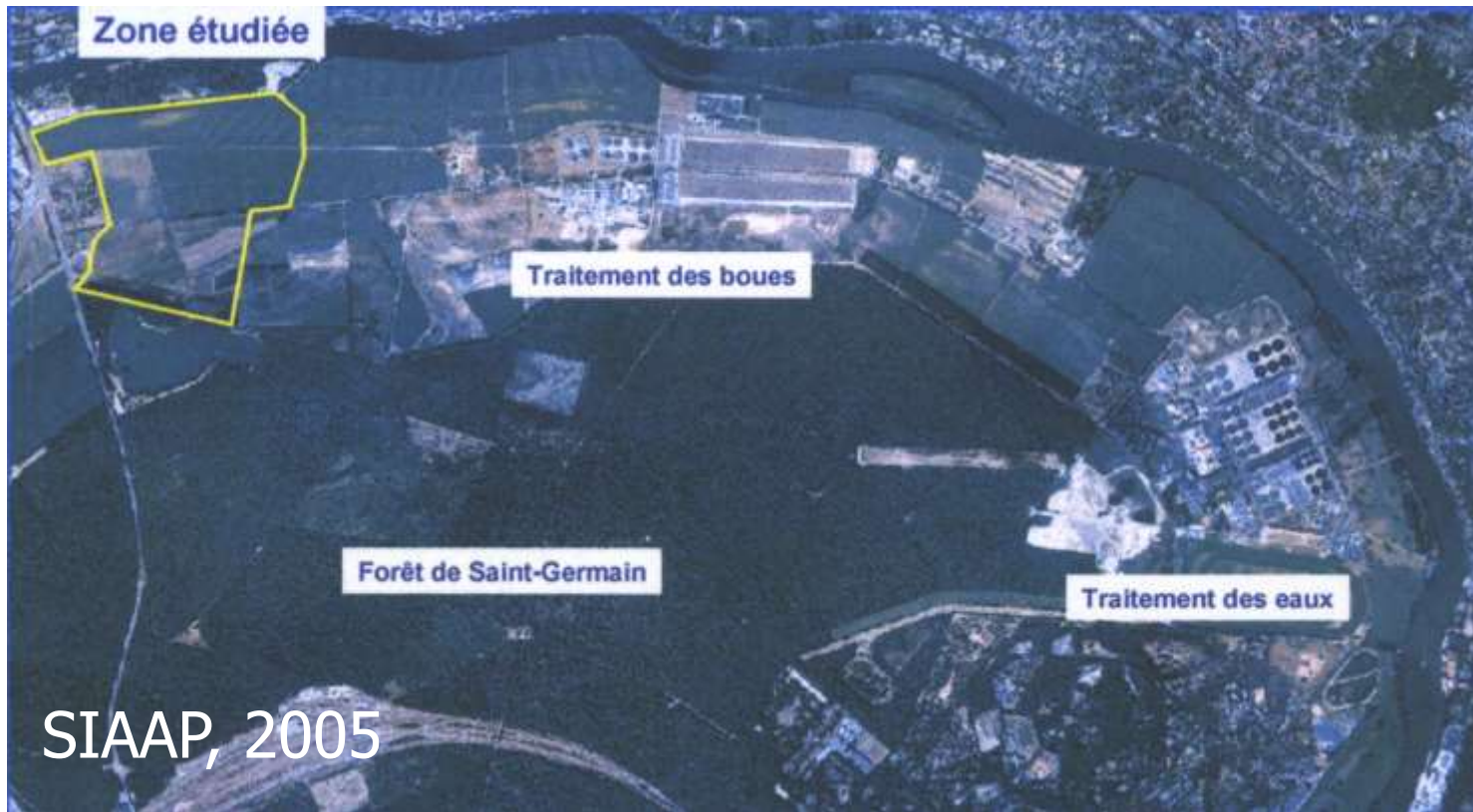
- **Champs d'épandage : 1895 à 1998**
 - Achères, Triel, Pierrelaye
 - Depuis 2000 irrigation avec eau traitée (Colombes)



SIAAP, 2005

Assainissement de la région parisienne: épandage

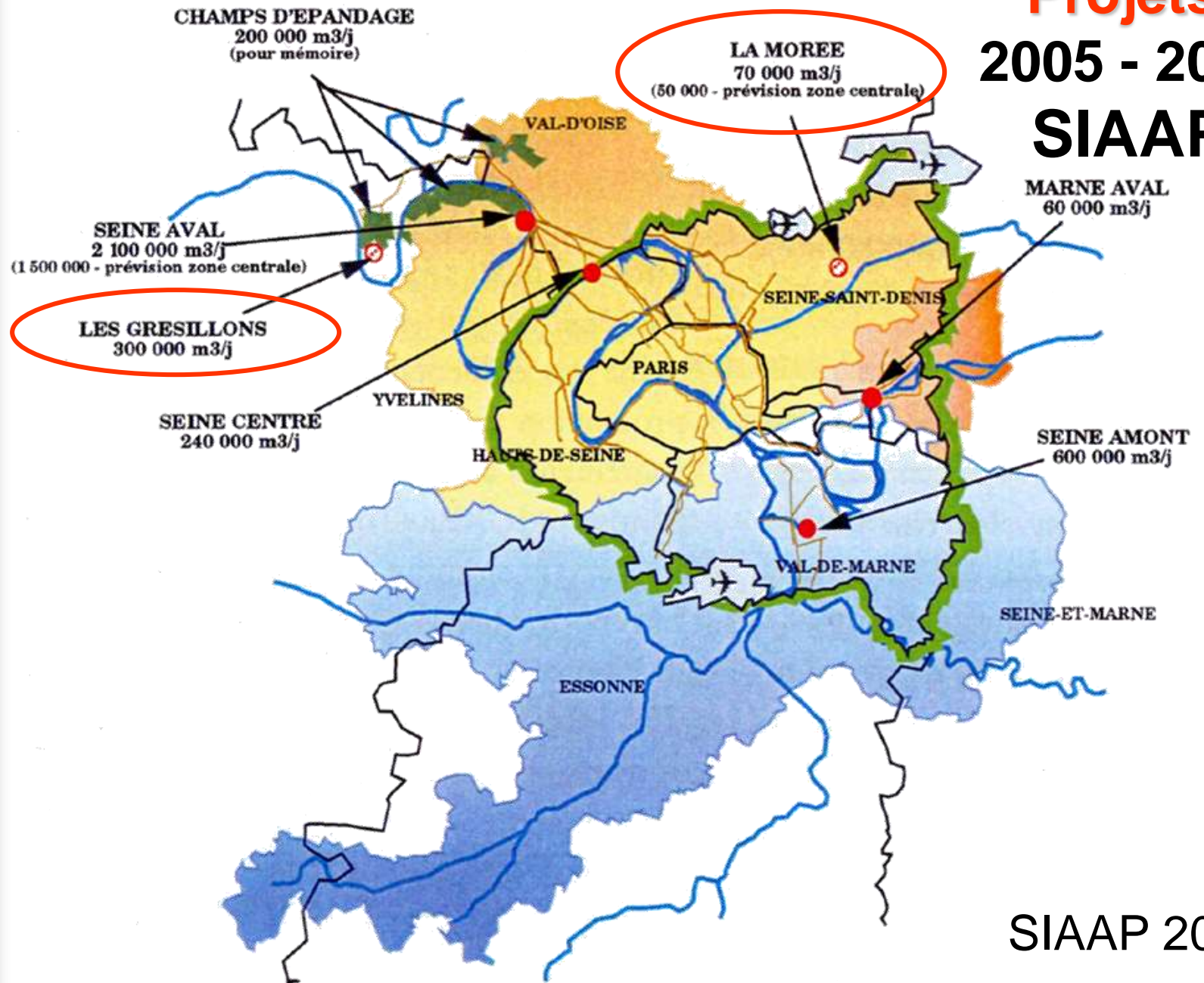
- Achères: champs d'épandage/irrigation



Projets

2005 - 2010

SIAAP

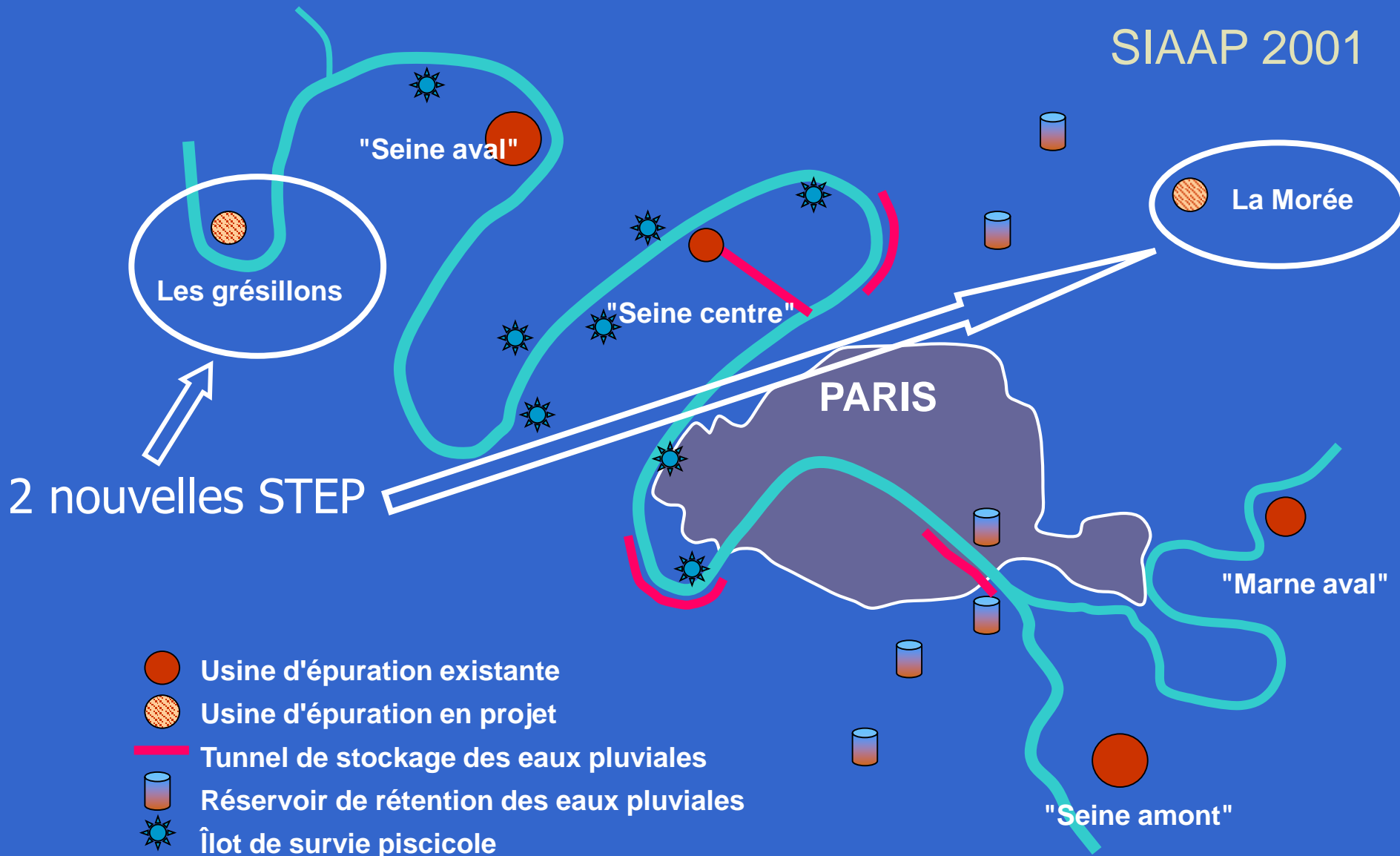


SIAAP 2001



Projet d'assainissement de l'agglomération parisienne à l'horizon 2005 - 2010

SIAAP 2001



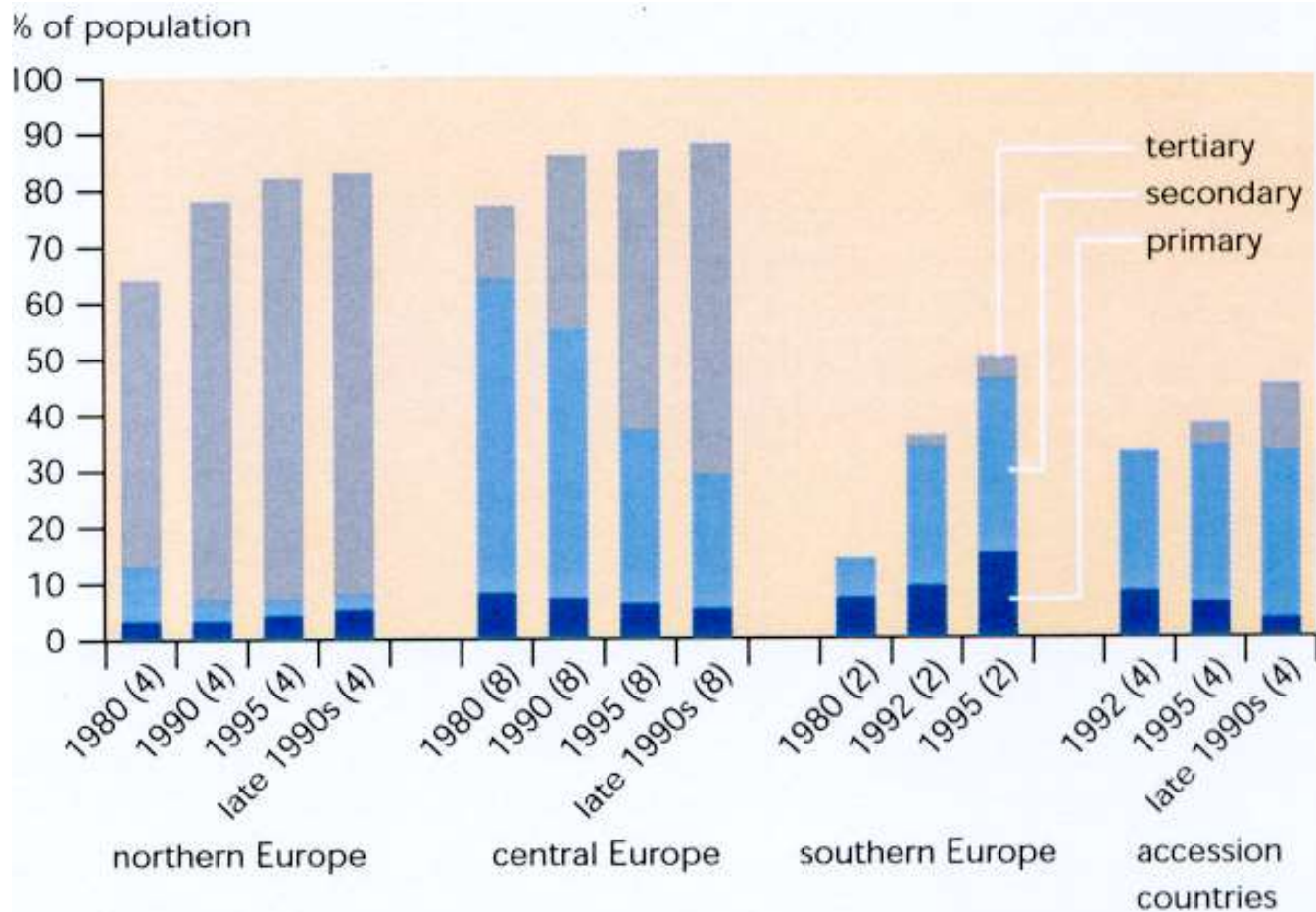
Europe: épuration eaux

■ Population raccordée: ≠ type de STEP

1. MES

2. C

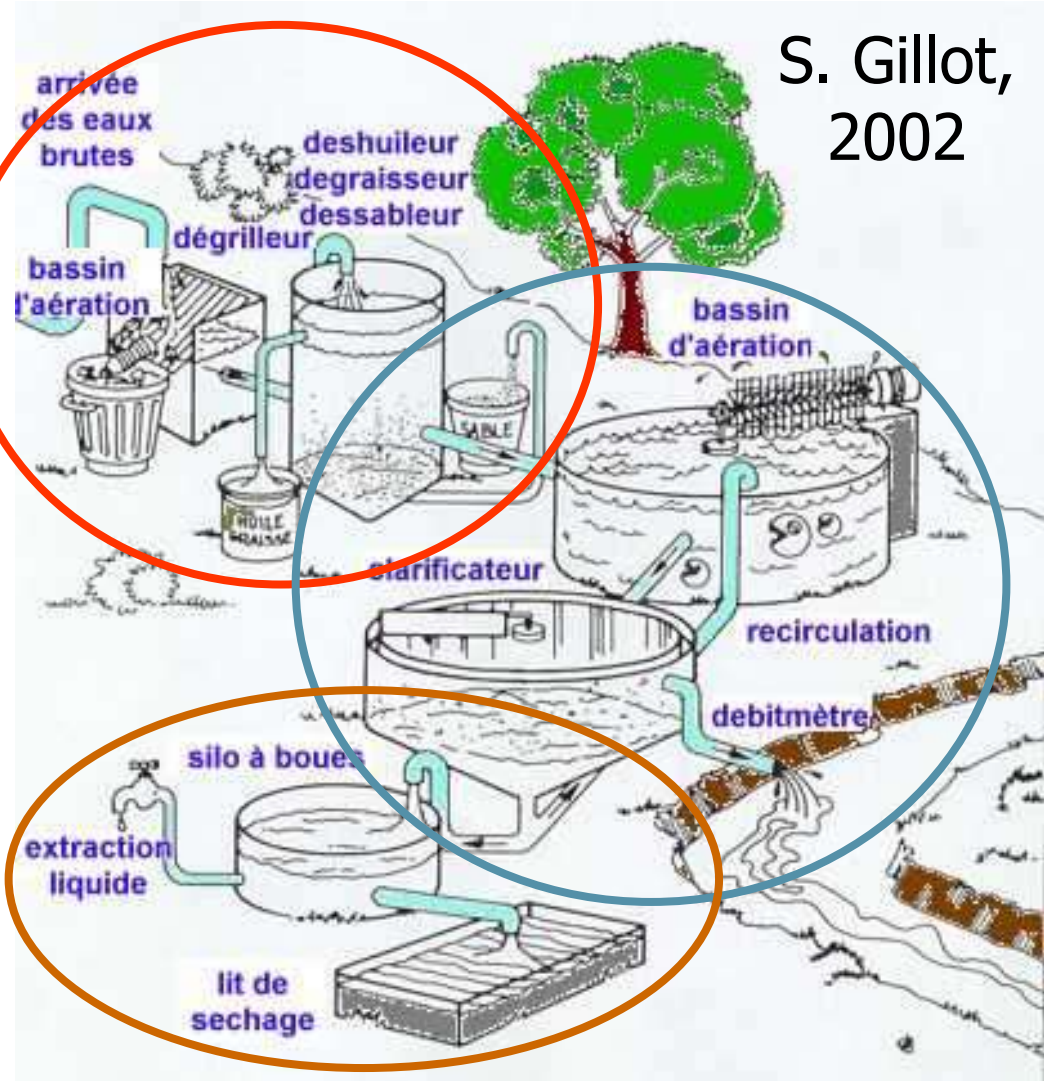
3. N, P



EEA, OECD
2002

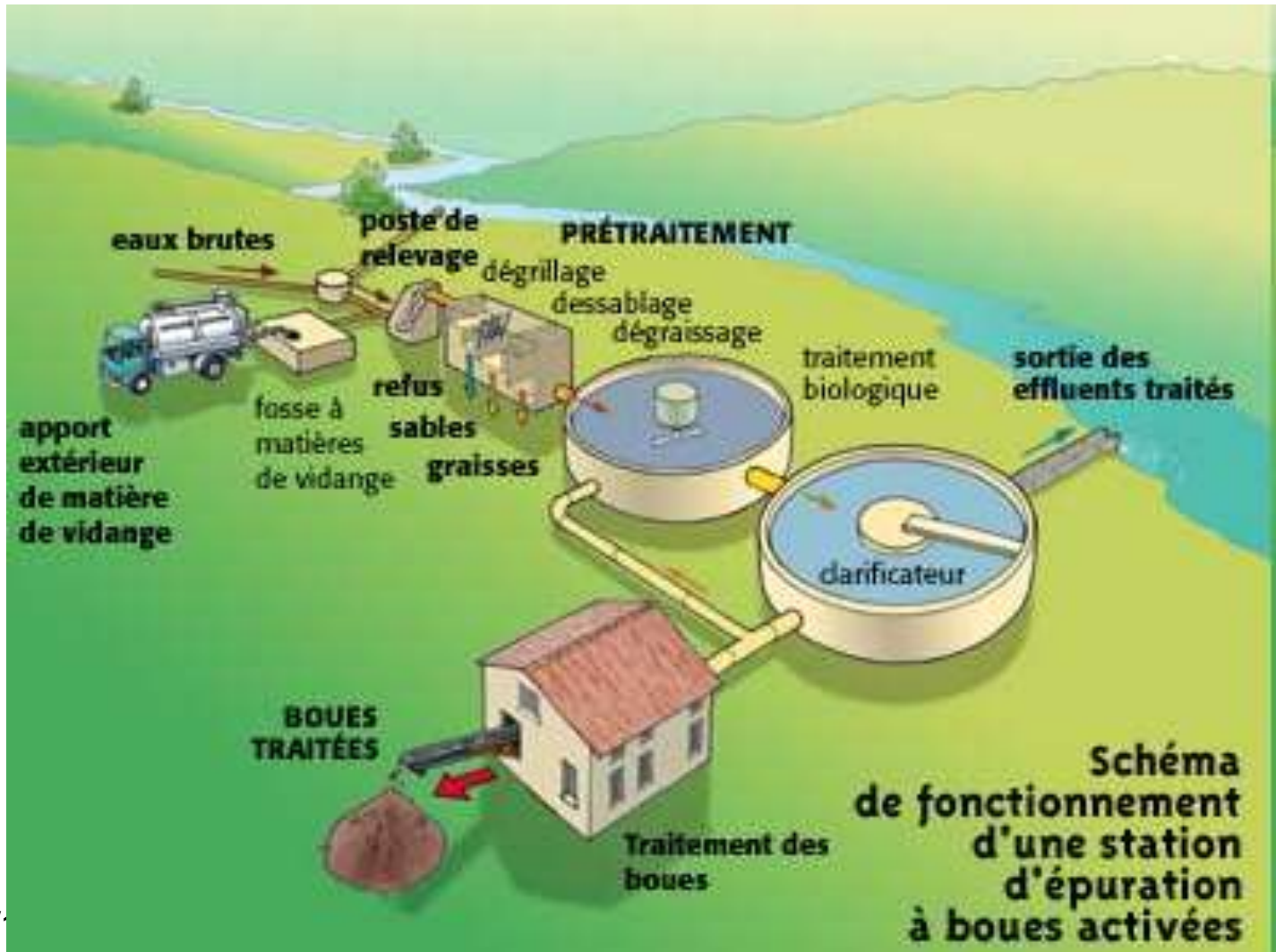
0- Filière de traitement

- Filière biologique
 - prétraitement
 - traitement (secondaire)
 - traitement des boues
 - traitement tertiaire (éventuel)



S. Gillot,
2002

0- Filière de traitement des eaux usées





0- Filière de traitement

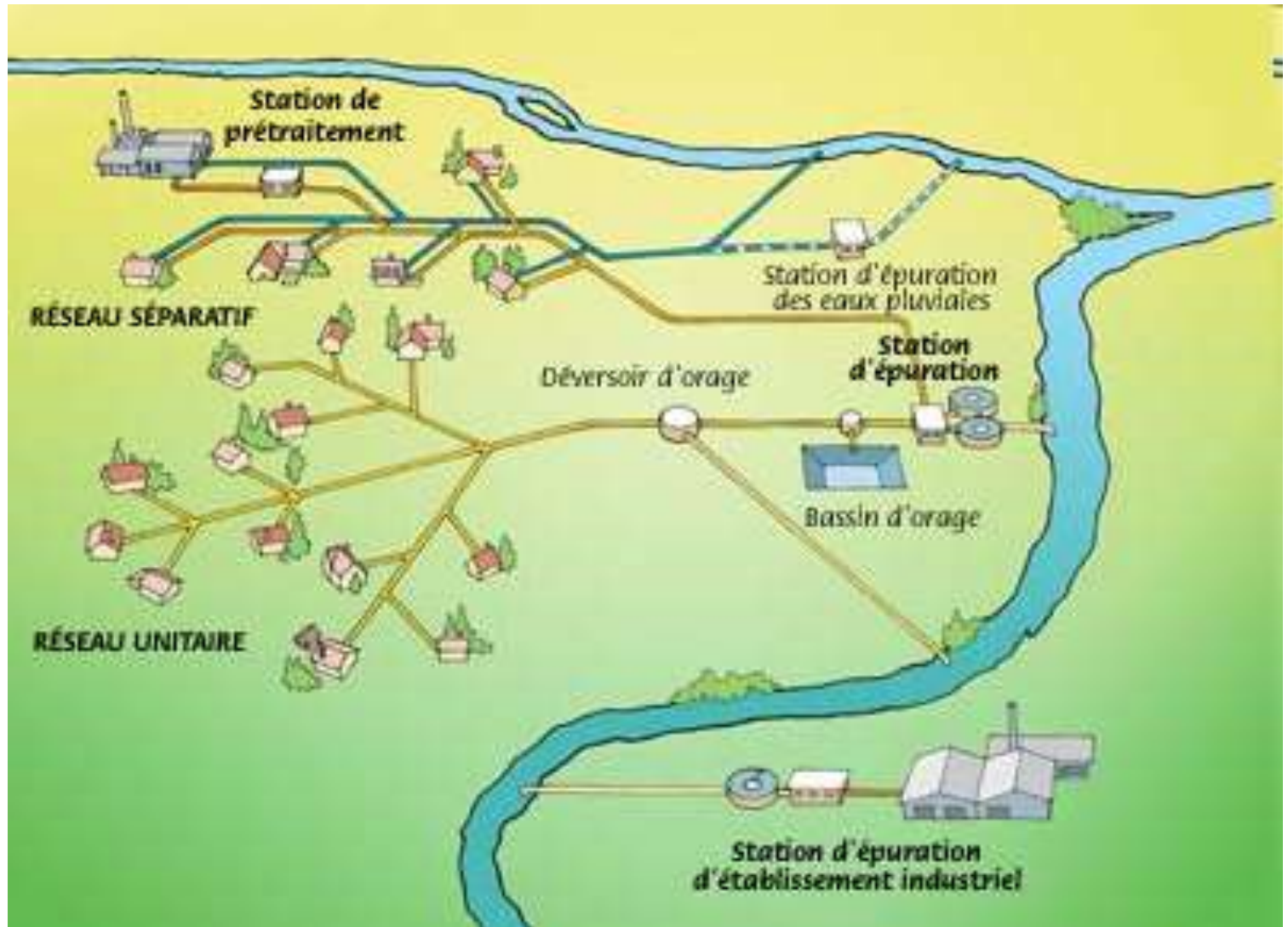
- Des questions ?



1- Assainissement

- **Définitions: collecte des eaux usées (résiduaires)**
 - Coût de l'assainissement \geq épuration
 - Réseaux d'assainissement unitaires et séparatifs (réseaux pluviaux séparés)
- **Traitements en réseaux**
 - Dégrillage: déchets encombrants (flottants)
 - Dessablage: chambres à sable
 - Association dessablage et arrêt des flottants: chambre de « rétention des pollutions »

1. Assainissement



1- Assainissement

- **Collecteur romain à Athènes (Agora)**
 - Collecteur couvert de dalles
- **Réseau d'assainissement parisien**
 - Mis en place: XIX^{ème} siècle



1- Assainissement

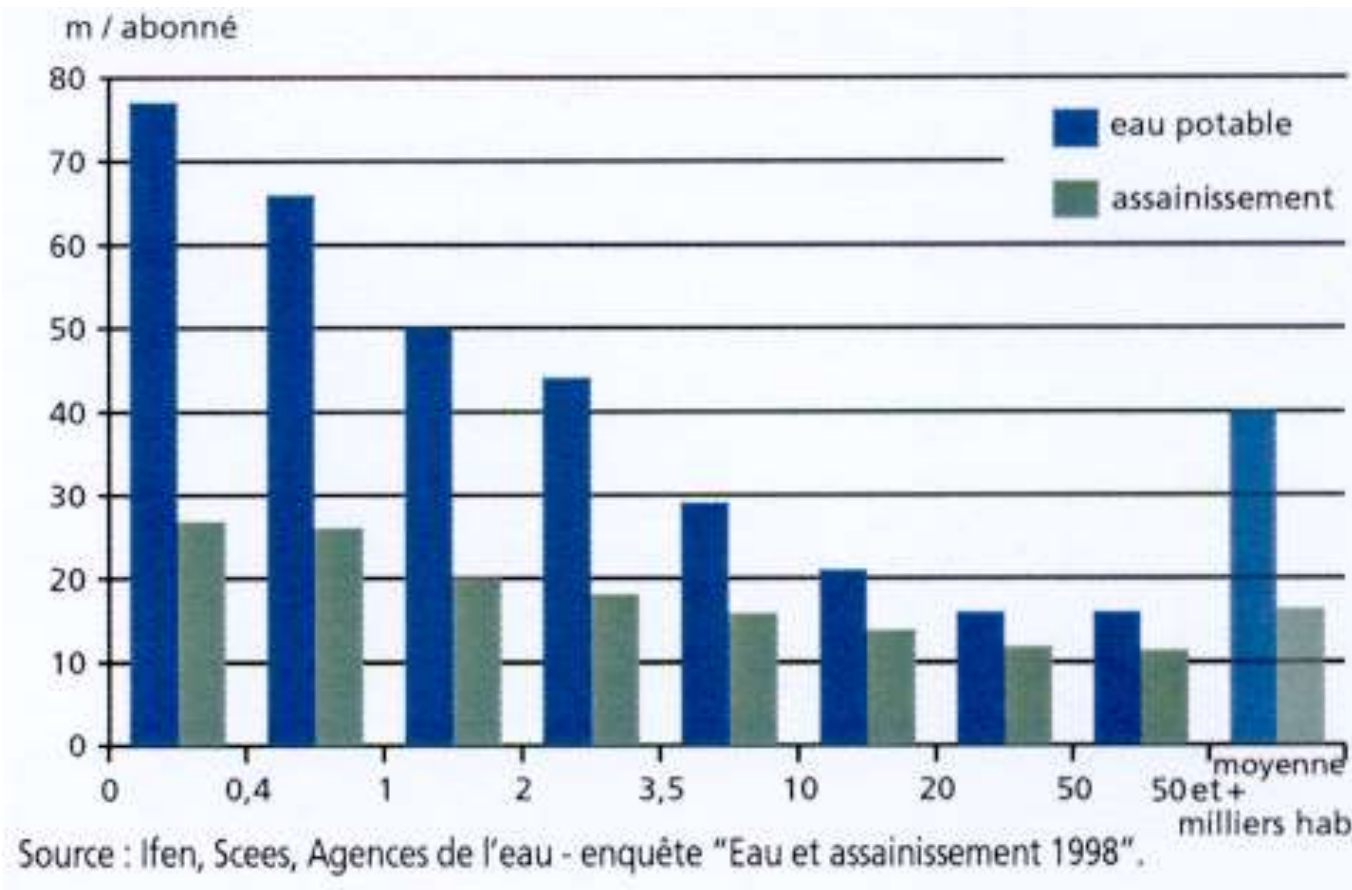
■ Réseau d'assainissement parisien

- Unitaire
- Visitable
- Accueille autres réseaux
 - Eau potable
 - Eau lavage rues...



1- Assainissement: France

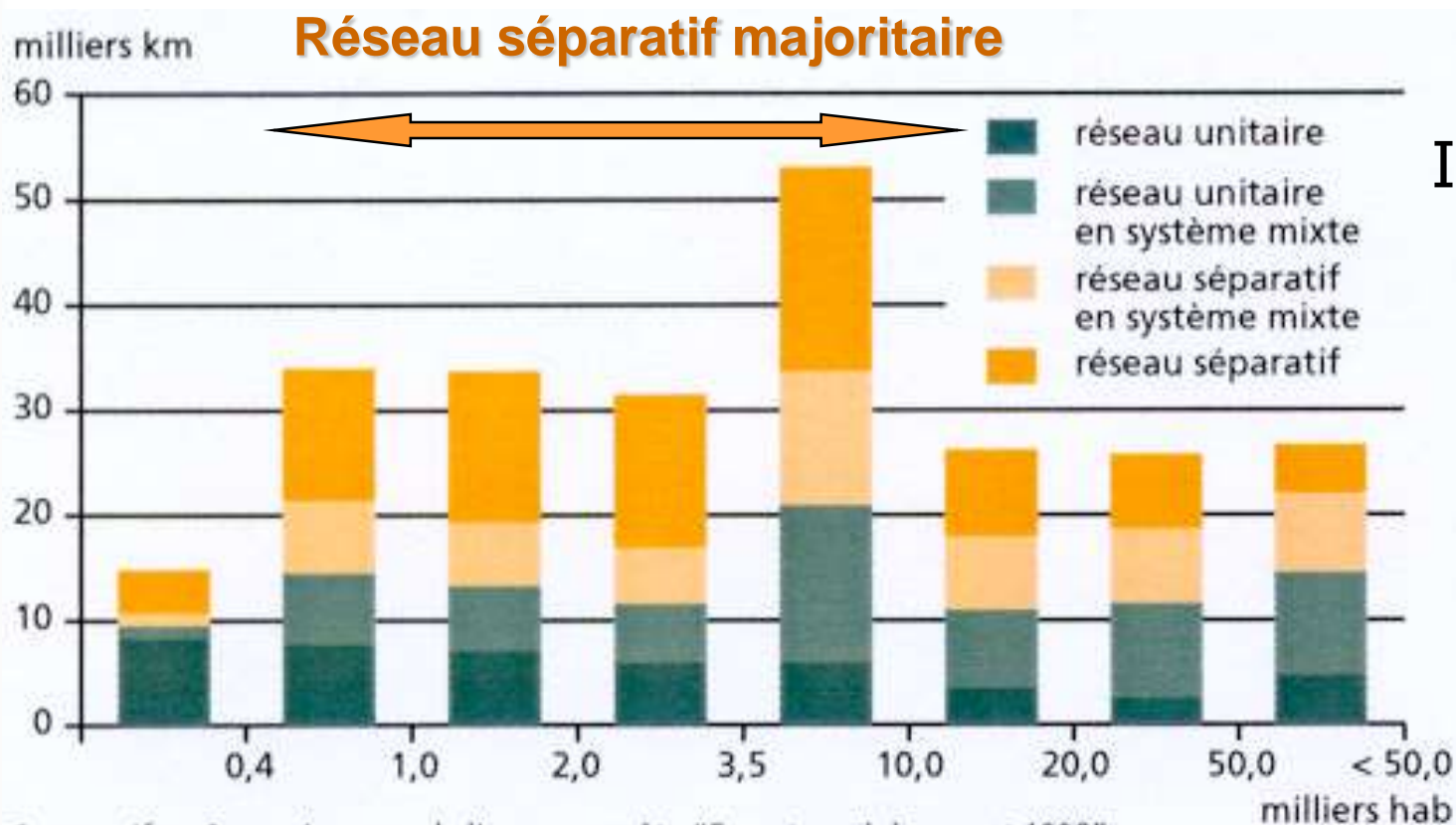
- Longueur du réseau assainissement < eau potable (pour petites communes)



IFEN, 76
2002

1- Assainissement: France

- **Longueur des réseaux:** dépend taille de l'agglomération et type de réseau



IFEN, 76
2002

Source : Ifen, Scees, Agences de l'eau - enquête "Eau et assainissement 1998".

1- Assainissement

■ Conclusion

- Taux de raccordement au réseau d'assainissement: France 1998 (76%)
- Assainissement autonome (19%)

■ Cas de la région parisienne

- Syndicat Intercommunal d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP)
- Schéma directeur du SIAAP: 2005-2010



1- Assainissement

- Des questions ?

2. Pré traitement

■ Introduction: principe

– Séparation par **taille**

- Dégrillage, tamisage

– Séparation par masse volumique ou **densité** par rapport à l'eau (d_{eau})

- Dessablage: $d_{\text{eau}} > 1$
- Déshuilage: $d_{\text{eau}} < 1$
- Décantation primaire: d_{eau} légèrement > 1

■ Procédés physiques, sans réactif



2- Prétraitement

- 1. Dégrillage
- 2. Dessablage
- 3. Déshuilage
- 4. Décantation primaire
 - Particules: grenues ou floculées
 - Chute des particules: équation de Stokes
 - Décanteur idéal de Hazen
 - Décanteur réel: gestion
 - Décanteur lamellaire

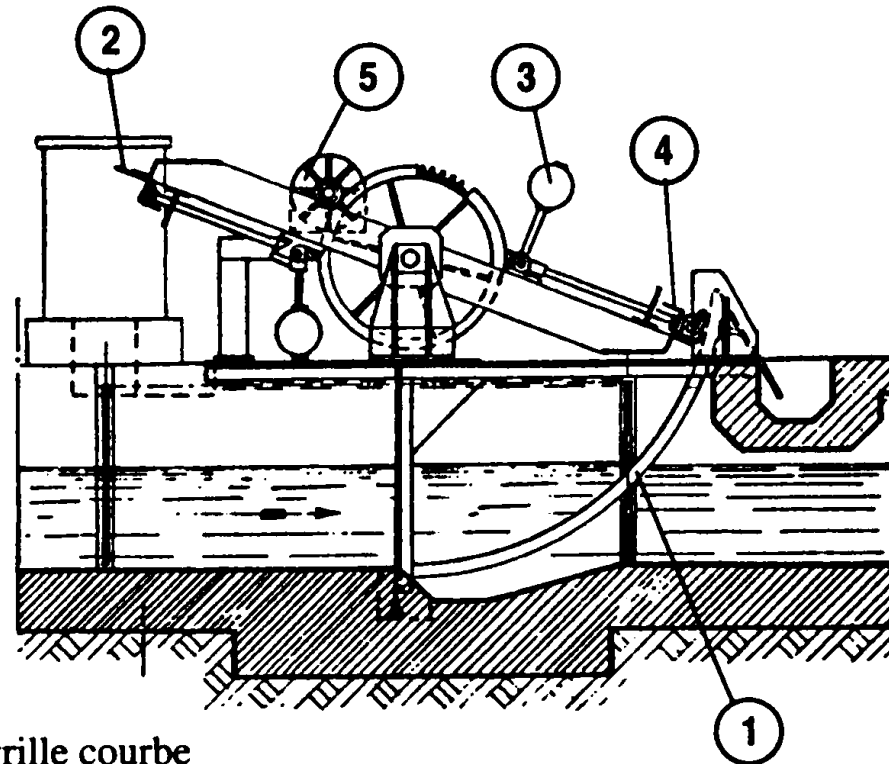
2.1. Dégrillage

■ Principe et technique

- Déchets **grossiers** (taille)
 - Dégrillage moyen (1 à 10 cm)
 - Dégrillage fin (1-15 mm)
- Vitesse **écoulement** suffisante: déchets appliqués sur les grilles: 0,5-1 m/s
- **Distance** entre barreaux: 0,1 à 10 cm
- **Nettoyage** des grilles
 - Manuel: petites stations (peignes)
 - Automatique: peignes automatiques (courbes, droits ou en chaîne continue)

2.2. Dégrillage

■ Grille mécanique courbe: mouvement circulaire



Assainissement
des
agglomérations
Agences de
l'eau & Min.
Environnement
(1994)

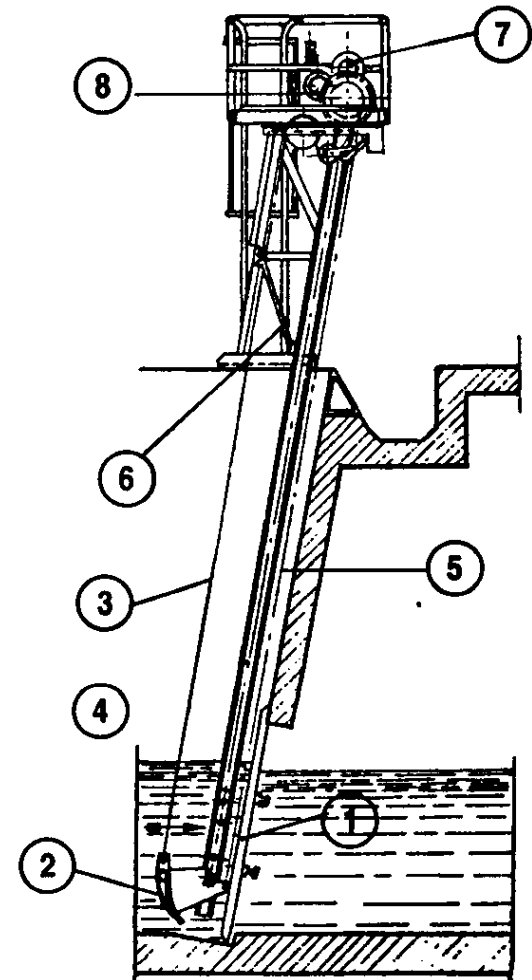
1. grille courbe
2. pigne
3. contrepoids basculant pour commande de l'éjecteur
4. éjecteur
5. groupe d'entraînement

2.1. Dégrillageage

1. grille
2. grappin basculant
3. câble de grappin
4. glissières
5. câble de commande
6. éjecteur
7. groupe d'entraînement du chariot
8. groupe d'entraînement du grappin

- Grille à câble avec grappin
 - Mouvement aller-retour

Assainissement
des
agglomérations
Agences de
l'eau & Min.
Environnement
(1994)



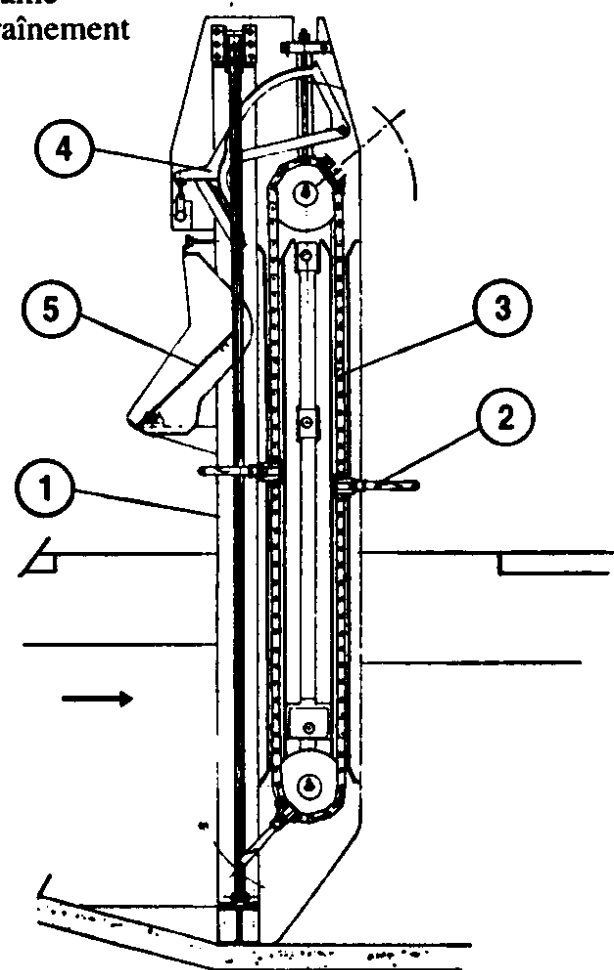
2.1. Dégrillageage

■ Grille mécanique droite

– Mouvement continu

Assainissement
des
agglomérations
Agences de
l'eau & Min.
Environnement
(1994)

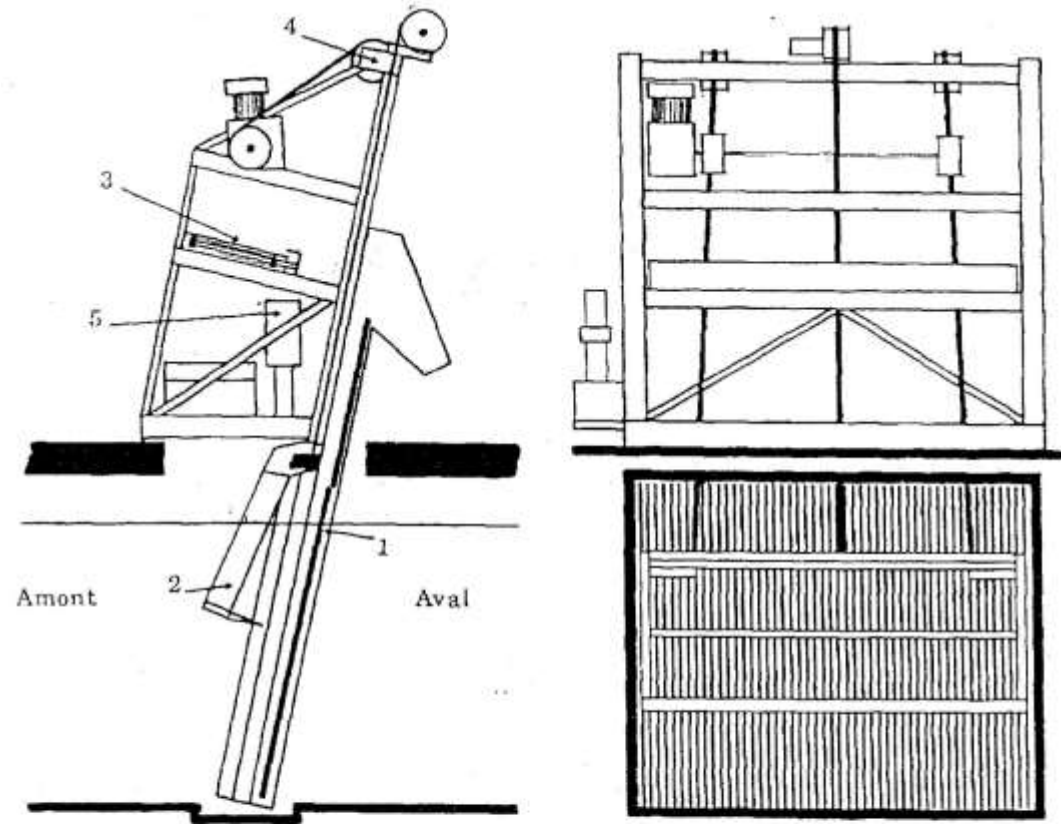
1. champ de grille
2. râteau peigne
3. chaîne sans fin
4. extracteur à came
5. groupe d'entraînement



2.1. Dégrillageage

■ Grille mécanique droite

- Mouvement continu



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

SIAAP (2004)

STEP Pierre Bénite (Lyon)

■ Dégrillage



D. Thévenot
2004



2.1. Dégrillage: tamisage

■ Principe

- Tamis métallique : 0,5 à 2 mm
- Analogue à un dégrillage fin

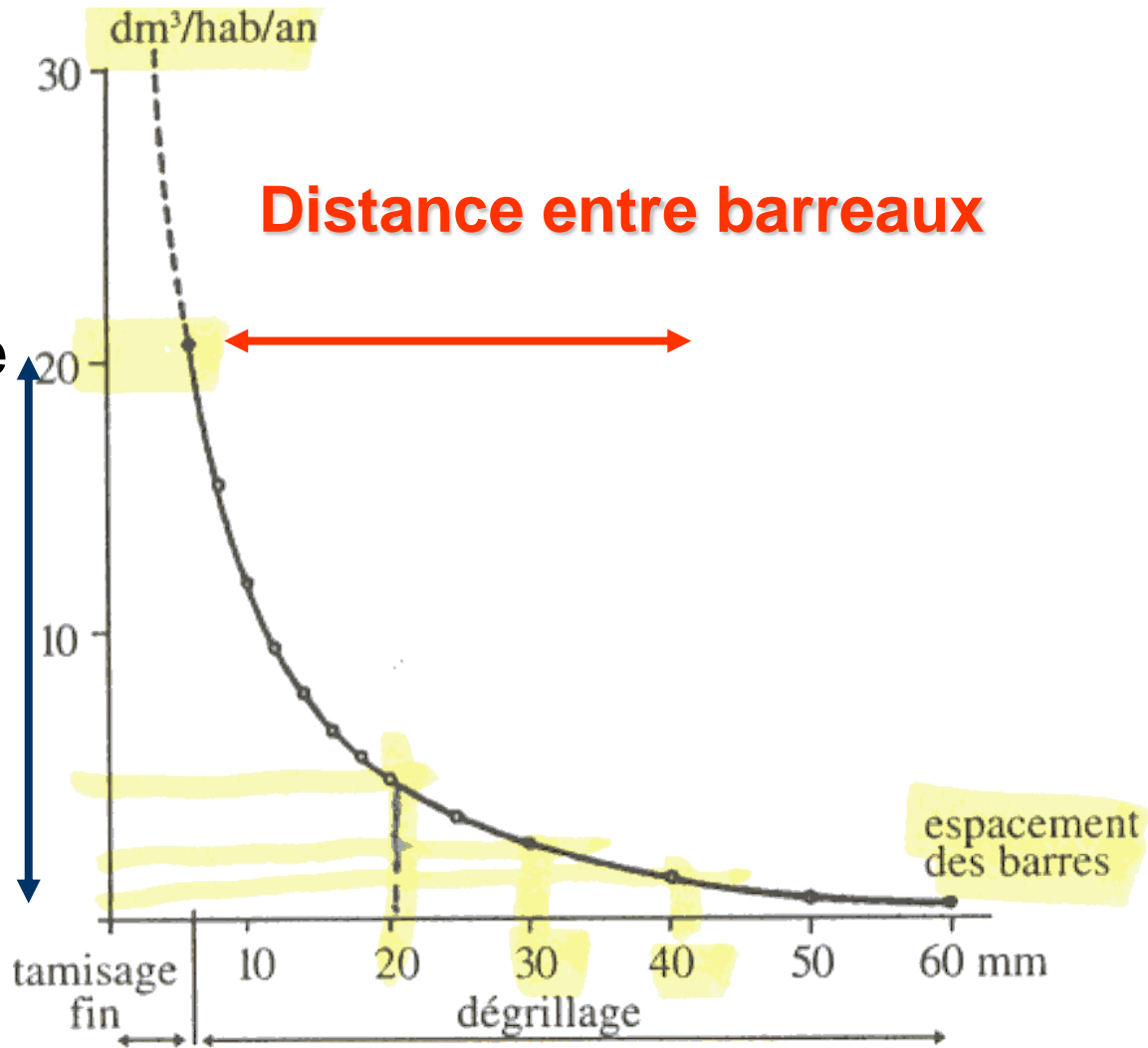
■ Technique

- Grille verticale concave
- Tambour rotatif
 - Flux entrant + racloir
 - Flux sortant + racloir

2.1. Dégrillage

- **Volume recueilli**
2-20 L/hab./an
selon distance
entre les
barreaux

Assainissement
des
agglomérations
Agences de
l'eau & Min.
Environnement
(1994)



2.2. Dessablage

■ Principe et technique

- Sédimentation des **sables** : $d_{\text{eau}} > 2$
- Particules **millimétriques** : 0,2 à 2 mm
- **Diminution de la vitesse d'écoulement** par augmentation de la section

$$Q = S_1 * v_1 = S_2 * v_2$$

avec $S_1 \approx 1 \text{ m}^2$ et $S_2 \approx 10 \text{ m}^2$ ou plus

- **Technique**
 - Canal
 - Bassin rectangulaire
 - Bassin circulaire
 - Hydro cyclone
- Sables récupérés en **fosse**

2.3. Déshuilage

■ Principe et technique

- **Flottation** facilitée par insufflation d 'air (fines bulles) → émulsion
- **Cloison siphonide** arrêtant les « flottants »: huiles et graisses
- **Aspiration** des « flottants »
- **Technique**
 - Bassin rectangulaire
 - Bassin cylindro-conique
 - Turbine: cyclone
 - Alternative pour bateau pétrolier: tambour oléophile

2.4. Décantation primaire

■ Principe et technique

- Décantation de particules sub-millimétriques : 20 à 200 μm
- Particules **grenues**: limons
- Particules de **taille croissante**: agrégation par floculation de la matière organique
- **Ecoulement très lent** : temps de séjour hydraulique \approx 1 heure
- Boues récupérées en **fosse**



Essen (Allemagne): usine de traitement

■ Station épuration

- Dégrillage, décantation, boues activées
(recouvertes de bâches: odeurs)



D. Thévenot
1991

11/11/2016



2.4. Décantation

■ Particules sédimentables

- Grenues: diamètre constant
- Floculées / floculables: diamètre croissant

■ Loi de Stokes (particules grenues)

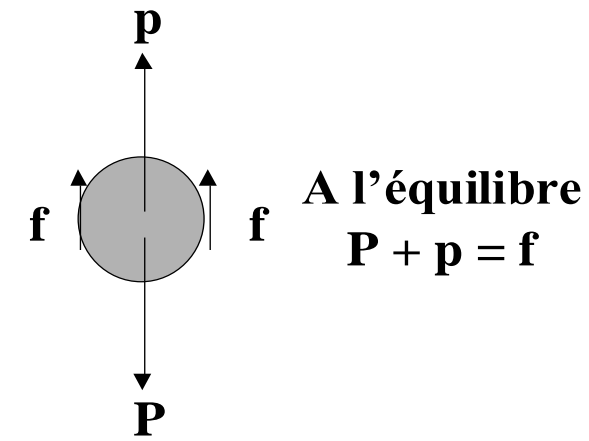
- Chute **uniforme**, écoulement **laminaire**:
poinds \mathbf{P} - poussée Archimède = frottement \mathbf{f}



A l'équilibre **conduit à**
$$v_s = \frac{d^2 \cdot \Delta\rho \cdot g}{18\eta}$$

$\mathbf{P} + \mathbf{p} = \mathbf{f}$

2.4. Décantation

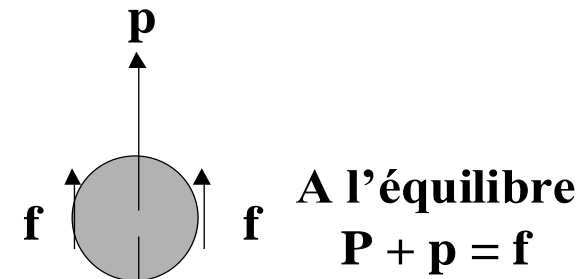


■ Loi de Stokes

$$P = \rho_s \cdot V \cdot g \quad p = \rho_l \cdot V \cdot g \quad f = \frac{1}{2} \cdot \rho_l \cdot C_D \cdot v_s^2 \cdot A$$

- v_s vitesse de chute des particules sphériques (m/s)
- ρ_s masse volumique des particules solides (kg/m^3)
- ρ_l masse volumique du liquide porteur (kg/m^3)
- C_D coefficient de frottement

2.4. Décantation



Loi de Stokes

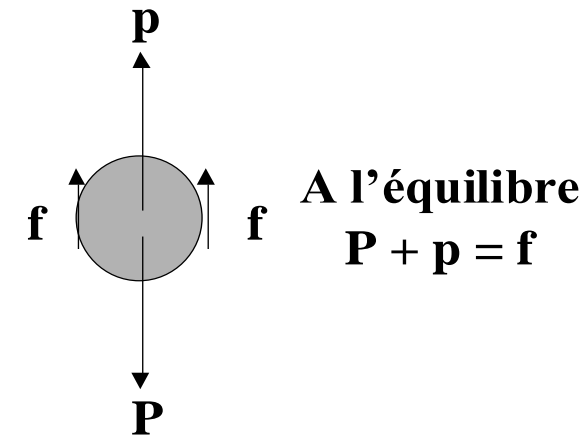
- **V** volume des particules (m^3) : $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$
- **A** section des particules (m^2) : $A = \pi \cdot r^2$
- **g** accélération de la pesanteur (m/s^2)
- **C_D** coefficient de frottement ou de traînée (sans dimension) : $C_D = a \cdot Re^{-n}$
- **Re** nb de Reynolds (sans dim.) : $Re = \frac{v_s \cdot d \cdot \rho_l}{\eta}$
- **d** diamètre des particules (m)
- η viscosité dyn. eau (Pa.s ou kg/m.s)

$$d = 2r$$

si mouvement uniforme:

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \Delta\rho \cdot g = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_l \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r^2$$

2.4. Décantation



■ Loi de Stokes

- Régime laminaire donc $C_D = 24/Re$

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \Delta\rho \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \frac{24}{Re} \cdot \rho_l \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \Delta\rho \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \frac{24 \cdot \eta}{v_s \cdot d \cdot \rho_l} \cdot \rho_l \cdot v_s^2 \cdot \pi \cdot r^2$$

- D'où

$$v_s = \frac{d^2 \cdot \Delta\rho \cdot g}{18\eta}$$

2.4. Décantation

$$v_s = \frac{d^2 \cdot \Delta\rho \cdot g}{18\eta}$$

- **Loi de Stokes: quelle action sur les paramètres ?**
 - $\Delta\rho \Rightarrow$ lester les particules organiques avec des **sables fins**
 - d^2 (importance de l'agrégation et floculation) \Rightarrow ajout de **réactifs** (voir traitement chimique des eaux)
 - Si diamètre $d < 2,5 \mu\text{m}$ (bactéries): importance du mouvement Brownien \Rightarrow **floculation nécessaire**
 - Mode d'écoulement autour de la particule important: nombre de Reynolds dépend du **régime**: laminaire...

2.4. Décantation

■ Vitesses de décantation théoriques: loi de Stokes

| Diamètre (mm) | Type | Vitesse de Stokes (mm/s) | Temps nécessaire pour parcourir 1 mètre |
|---------------|----------------|--------------------------|-----------------------------------------|
| 10 | gravier | 1000 | 1 sec |
| 1 | sable grossier | 100 | 10 sec |
| 0,1 | sable fin | 8 | 2 min |
| 0,01 | limon | 0,154 | 2 h |
| 0,001 | bactérie | 0,00154 | 5 j |



Décantation des bactéries impossible sans agrégation: **boues activées**

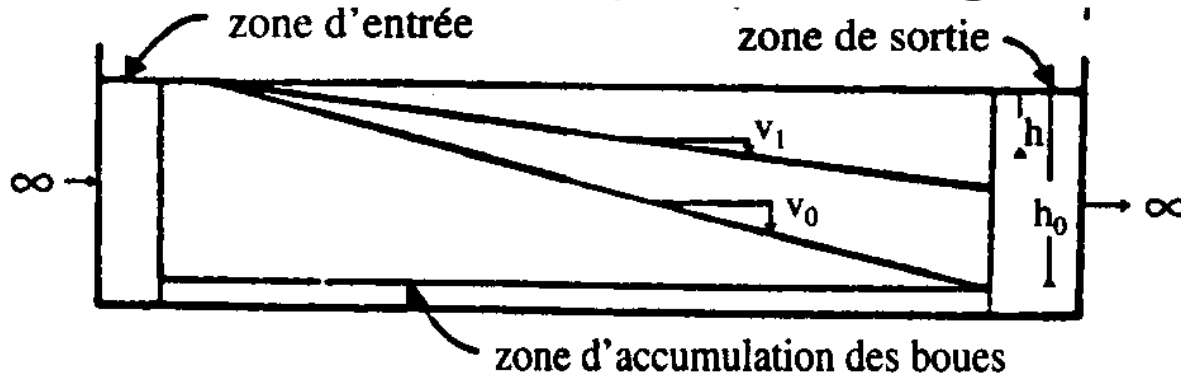
F. Edeline Épuration physico-chimique des eaux (1992)



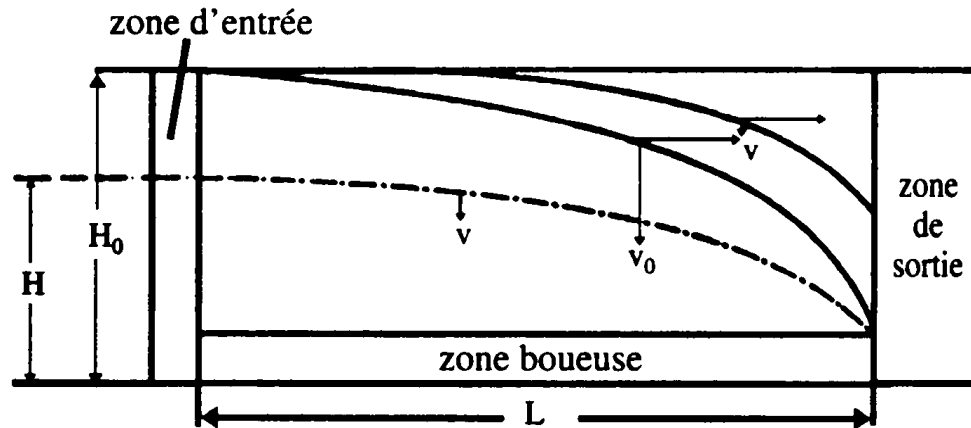
2.4. Décantation

- **Décanteur rectang. idéal: trajectoire lim.**

- Décantation de particules **grenues**



- Décantation de particules **floculantes**



Assainissement
des
agglomérations
Agences de
l'eau & Min.
Environnement
(1994)



2.4. Décantation

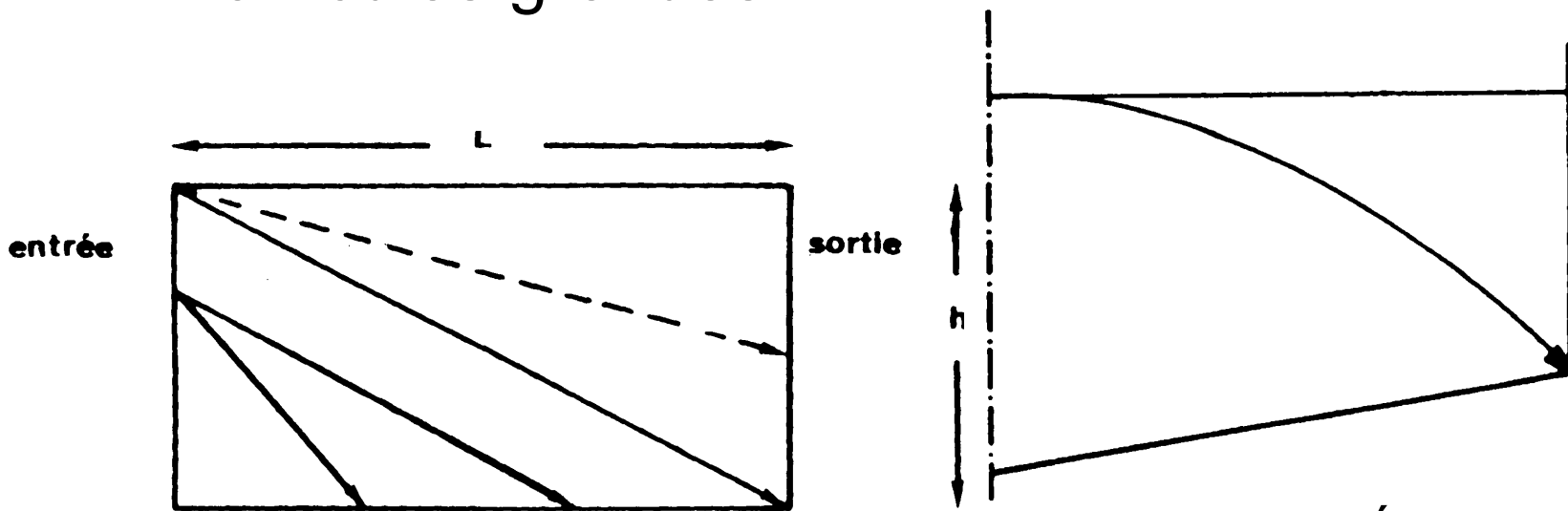
- **Décanteur idéal (Hazen):** trajectoire ou particule « limite » arrêtée
 - h_0 profondeur du bassin (m)
 - t temps de séjour hydraulique $t = V / Q$ (s)
 - S surface libre du bassin (m²)
 - Q débit traversier (m³/s)
 - V volume du bassin (m³)

**pas d'effet de la
profondeur h_0 !**

$$v_0 = \frac{h_0}{t} = \frac{S \cdot h_0}{S \cdot t} = \frac{V/t}{S} = \frac{Q}{S}$$

2.4. Décantation

- **Décanteur idéal: trajectoire limite**
 - Décanteur rectangulaire & cylindrique
 - Particules grenues

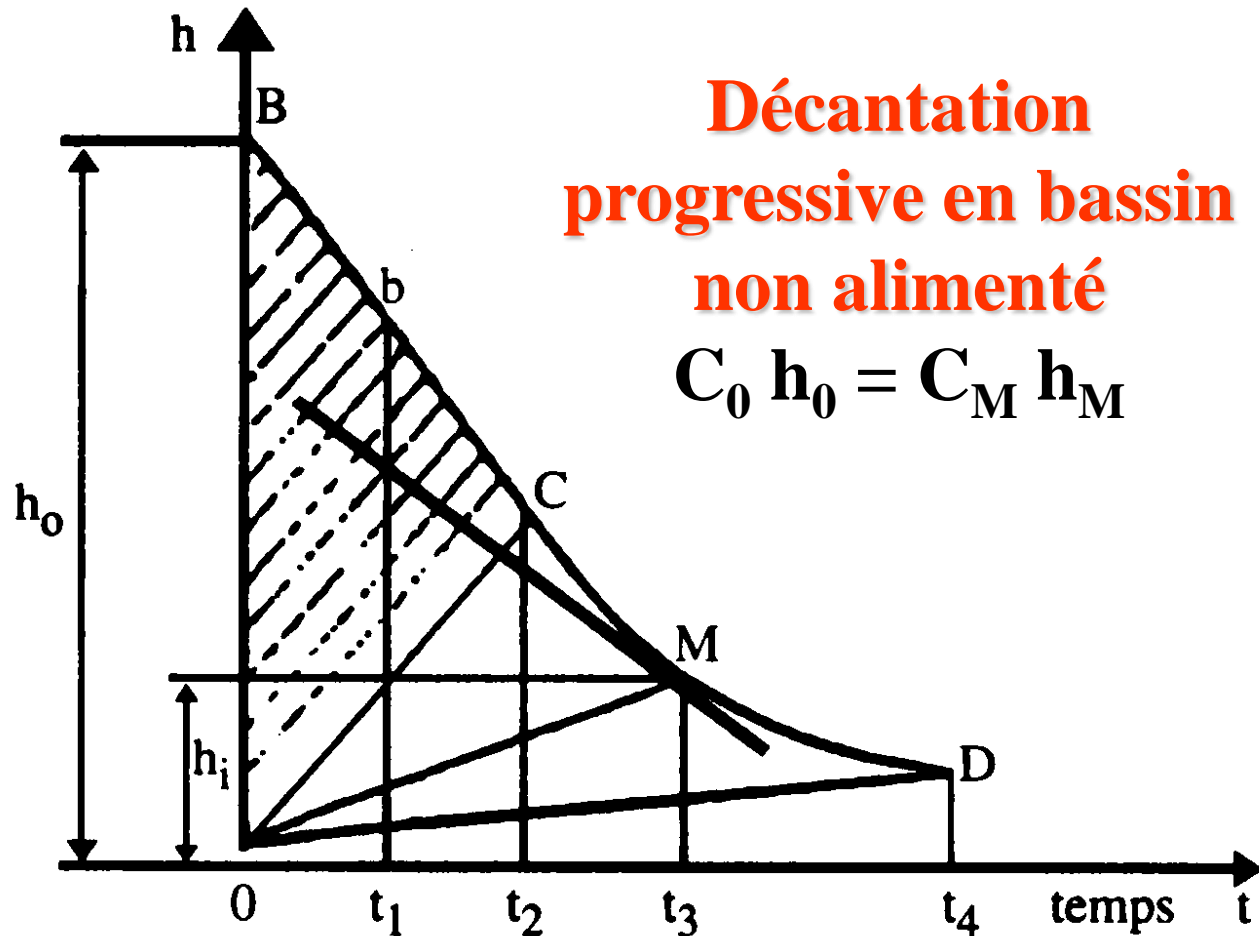


*Fig. 1 – Cheminement des particules dans un décanteur rectangulaire.
—— particules complètement éliminées.
----- particules partiellement éliminées.*

F. Edeline Épuration
physico-chimique
des eaux (1992)

2.4. Décanteur réel

- Variation de hauteur du « voile de boue »



Assainissement
des
agglomérations
Agences de
l'eau & Min.
Environnement
(1994)

2.4. Décanteur réel

■ Conduite des décanteurs

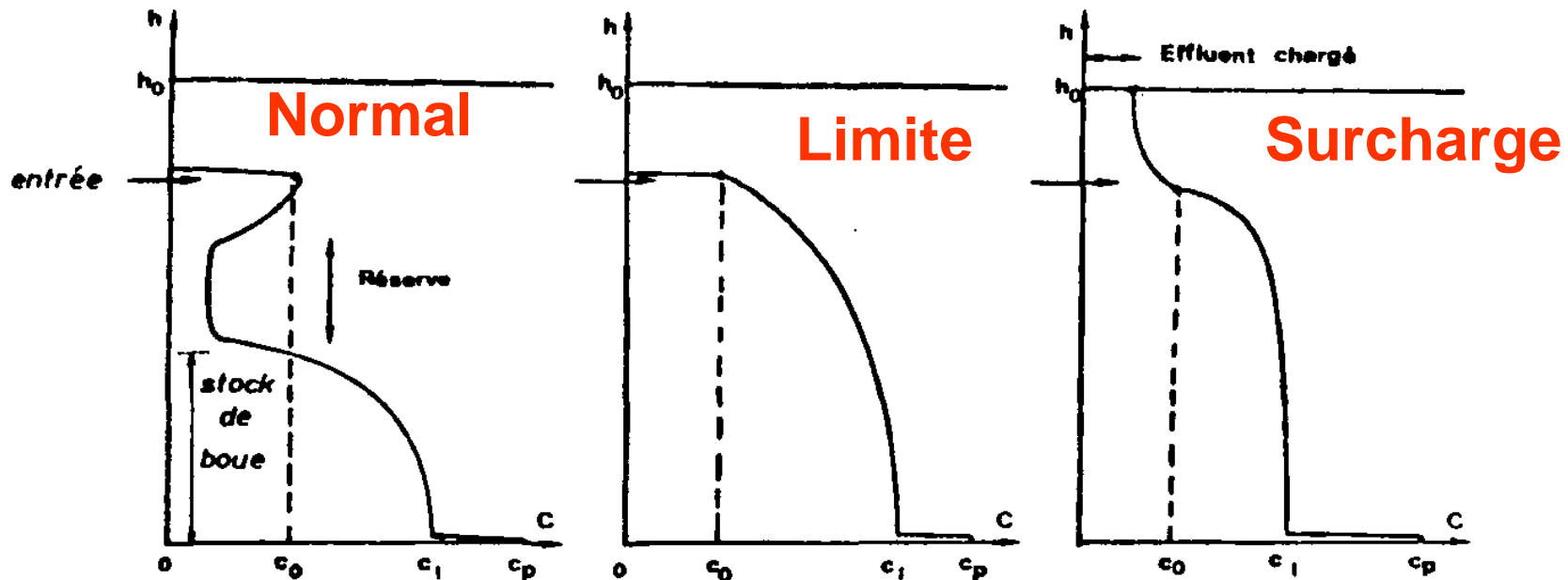


Fig. 13 – Différents profils de concentration possibles dans un décanteur.

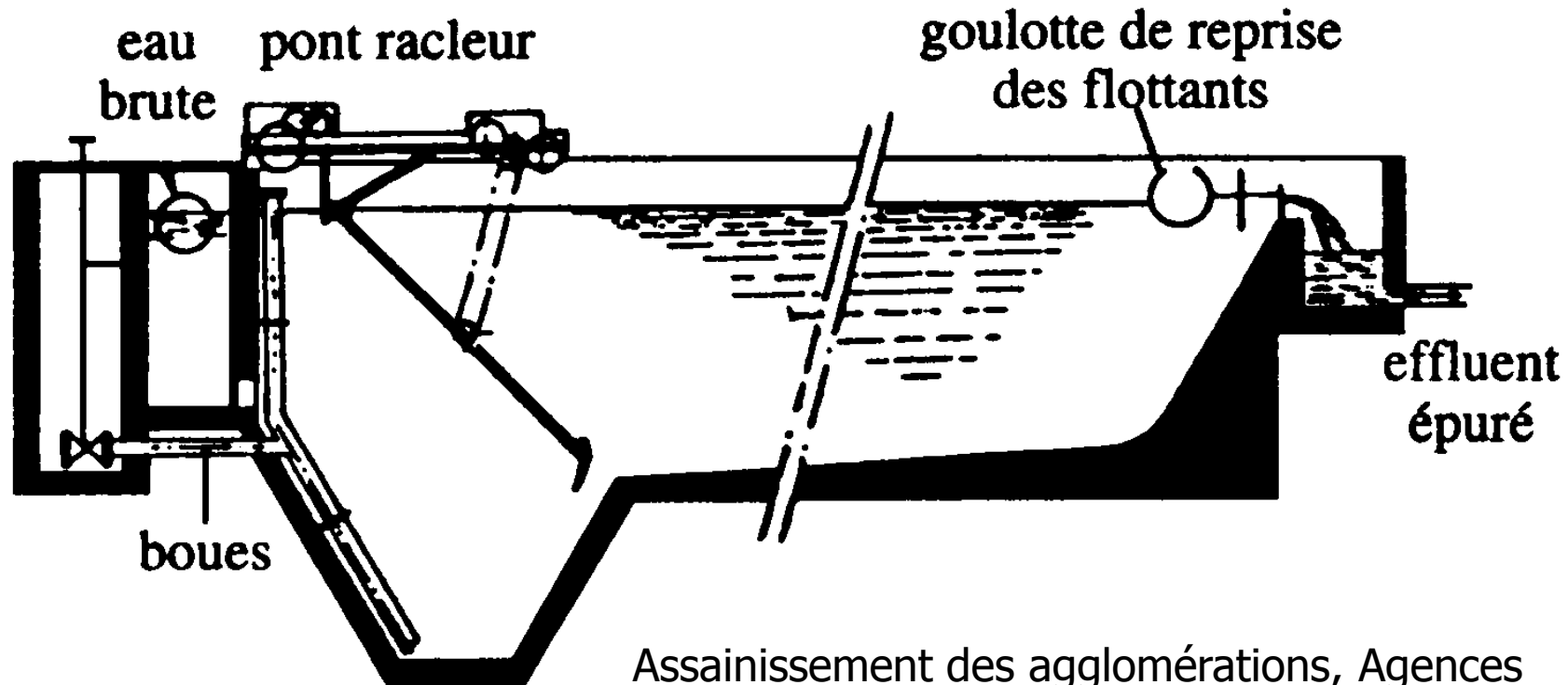
Cas normal, existence d'une réserve $\varphi < \varphi_{\max}$
Appareil juste saturé $\varphi = \varphi_{\max}$
Appareil surchargé $\varphi > \varphi_{\max}$

F. Edeline Épuration
physico-chimique
des eaux (1992)

2.4. Décantation

- **Décanteur longitudinal (rectangulaire)**
 - Racleur à déplacement alterné

LONGITUDINAL A PONT



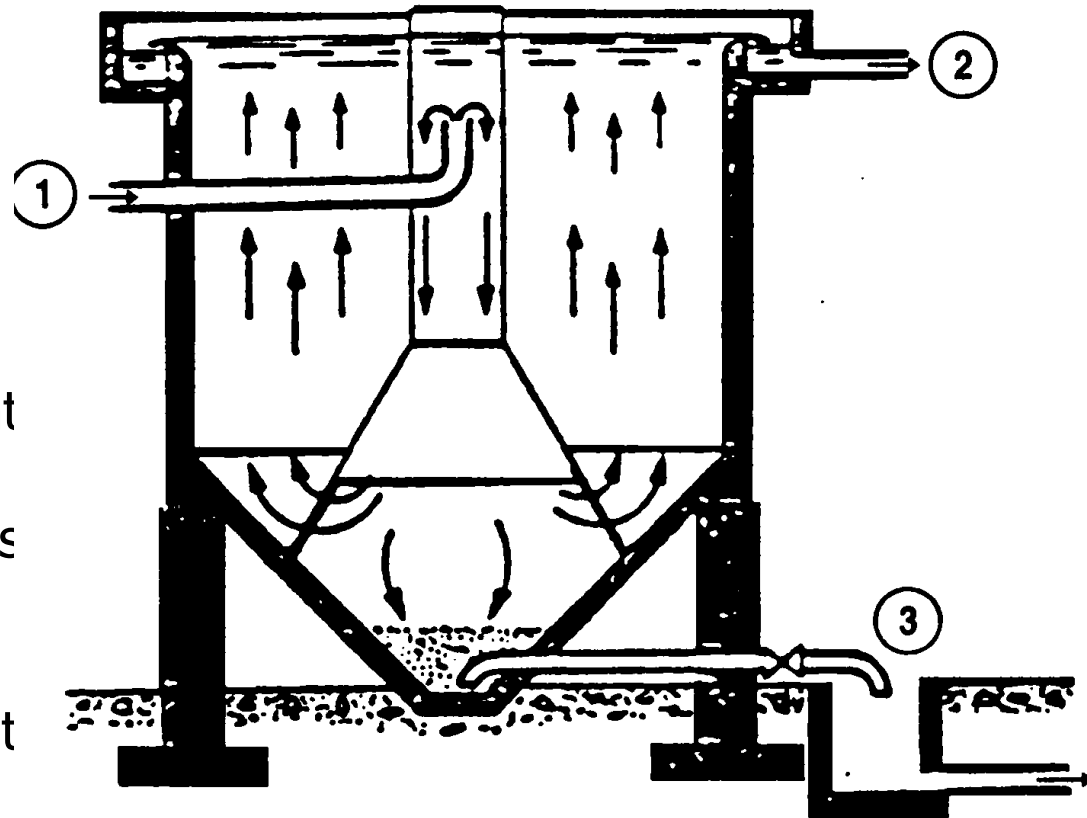
Assainissement des agglomérations, Agences de l'eau & Min. Environnement (1994)

2.4. Décanteur

■ Décanteur cylindrico-conique

– Pas de racleur: fond à forte pente !

1. eau brute
2. eau traitée
3. vidange

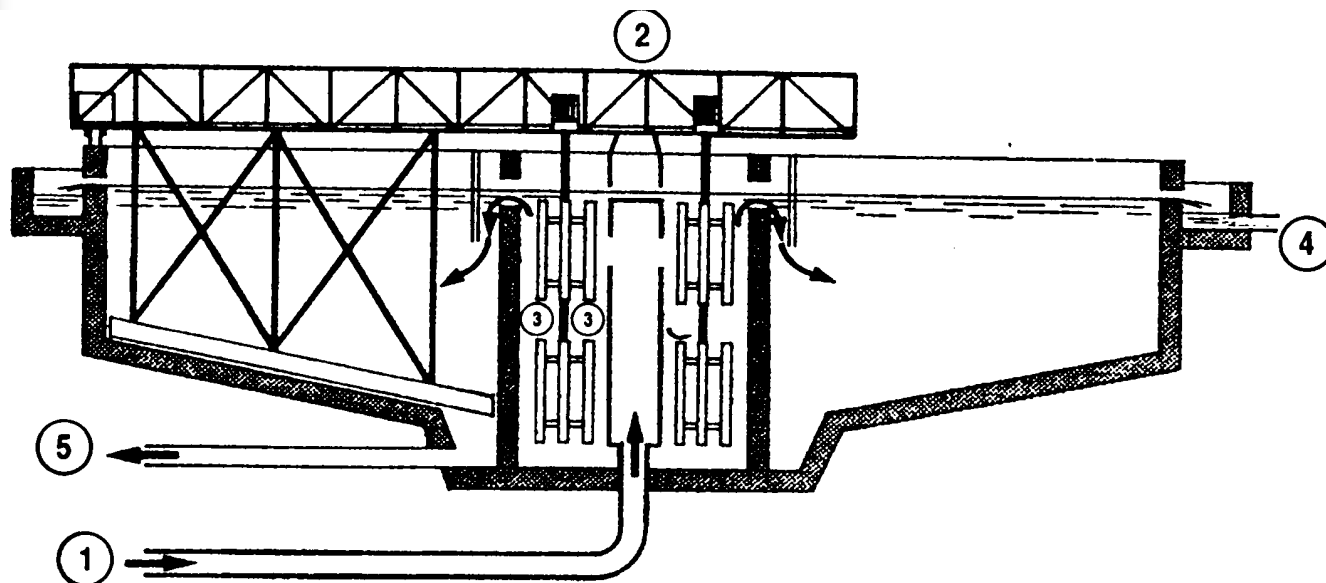


Assainissement
des
agglomérations
Agences de
l'eau & Min.
Environnement
(1994)

11/11/2016

2.4. Décanteur

- **Décanteur cylindrique raclé**
 - Modèle le plus fréquent



- 1 - arrivée d'eau brute
- 2 - pont racleur
- 3 - zone de floculation
- 4 - sortie d'eau décantée
- 5 - évacuation des boues

Assainissement des agglomérations, Agences
de l'eau & Min. Environnement (1994)

STEP Seine aval

■ Achères IV

- Décanteurs primaires, secondaires



STEP Pierre Bénite

- Anciens décanteurs circulaires racclés



D. Thévenot
2004

STEP Pierre Bénite (Lyon)

- Nouveaux décanteurs circulaires racclés



D. Thévenot
2004

STEP Pierre Bénite (Lyon)

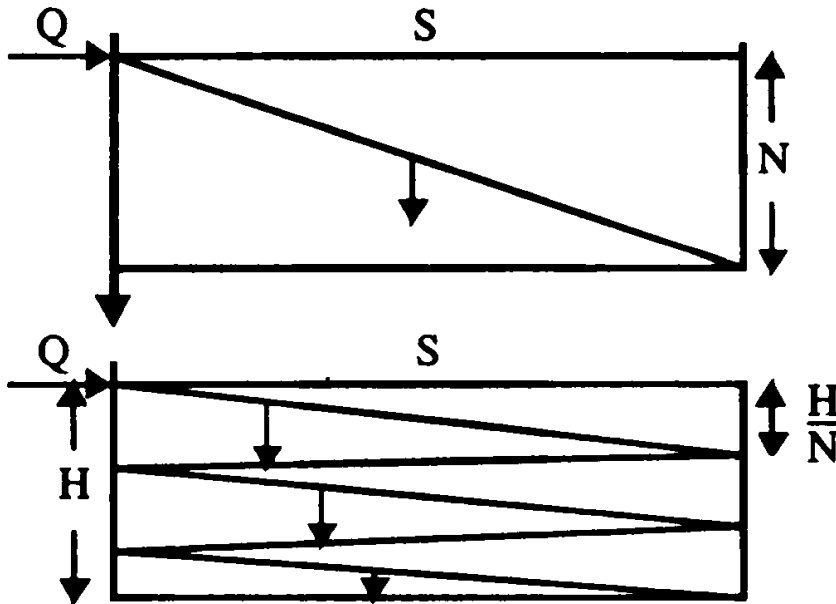
- Nouveaux décanteurs circulaires racclés



D. Thévenot
2004

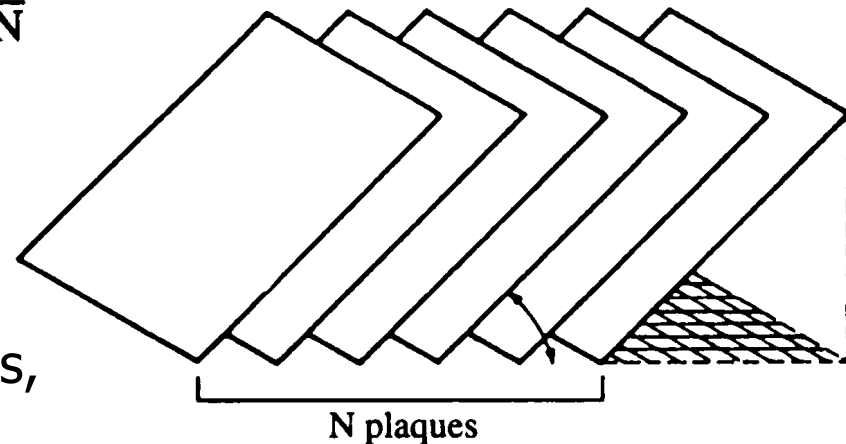
2.4. Décanteur lamellaire

■ Décanteur lamellaire: principe



Inclinaison α pour limiter le colmatage

$$S = N (S_0 \cos \alpha)$$



$$S = N (L.I. \cos \alpha)$$

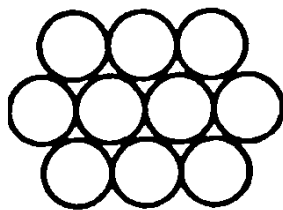
Assainissement des agglomérations,
Agences de l'eau & Min.
Environnement (1994)



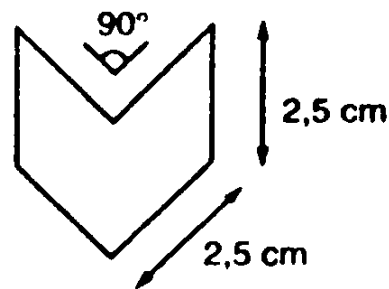
2.4. Décanteur lamellaire

■ Faisceaux ou lamelles constitués

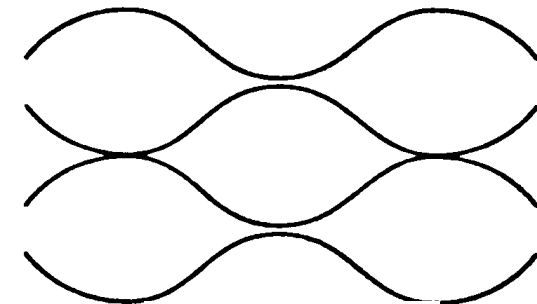
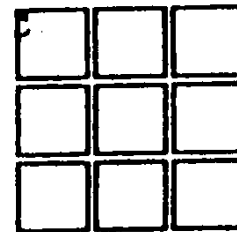
de tubes ronds :



ou chevronsés



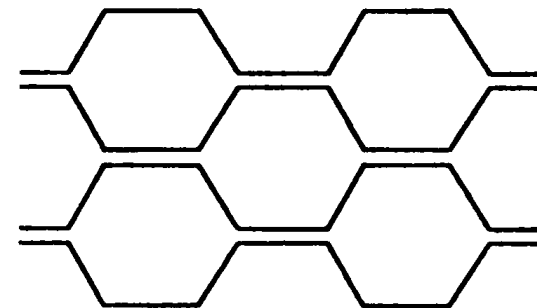
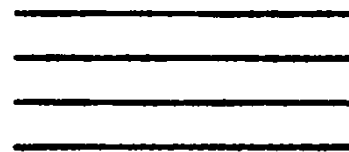
ou carrés :



ou ondulées

ou encore de plaques

planes



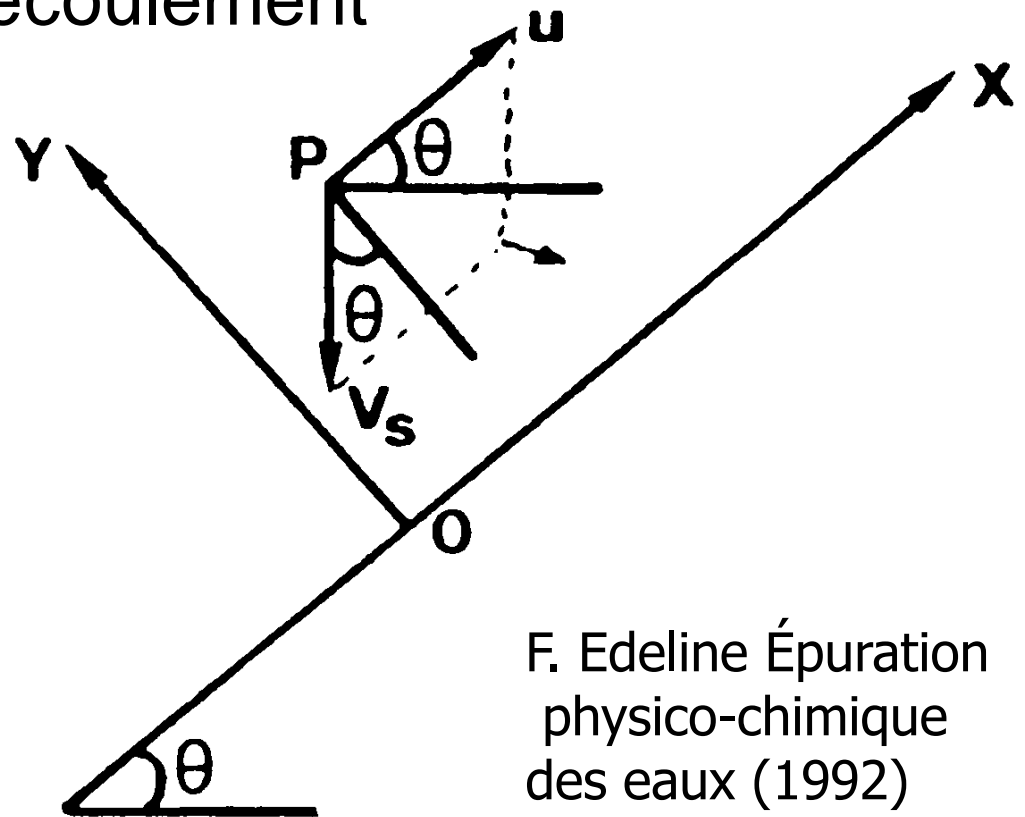
F. Edeline Épuration physico-chimique des eaux (1992)



2.4. Décanteur lamellaire

■ Forces s'exerçant sur une particule

- Frottement (écoulement de l'eau)
- Pesanteur - poussée d'Archimède

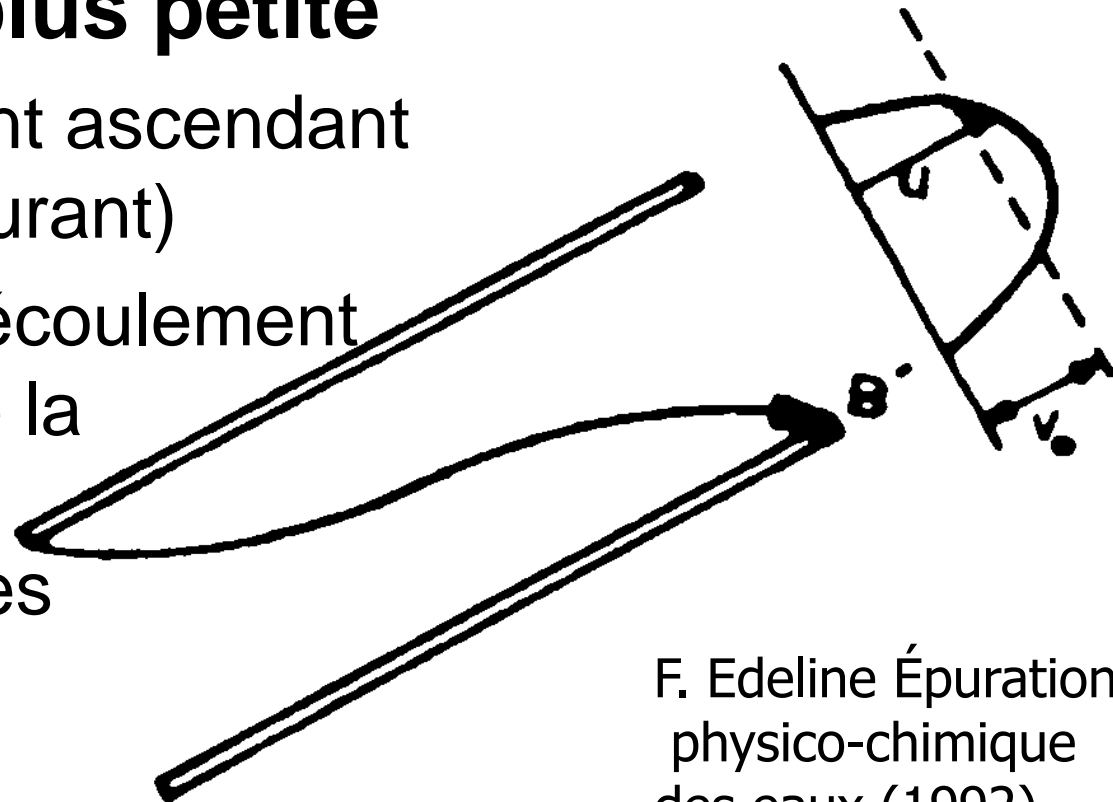


F. Edeline Épuration physico-chimique des eaux (1992)

2.4. Décanteur lamellaire

■ Trajectoire limite de la particule captée la plus petite

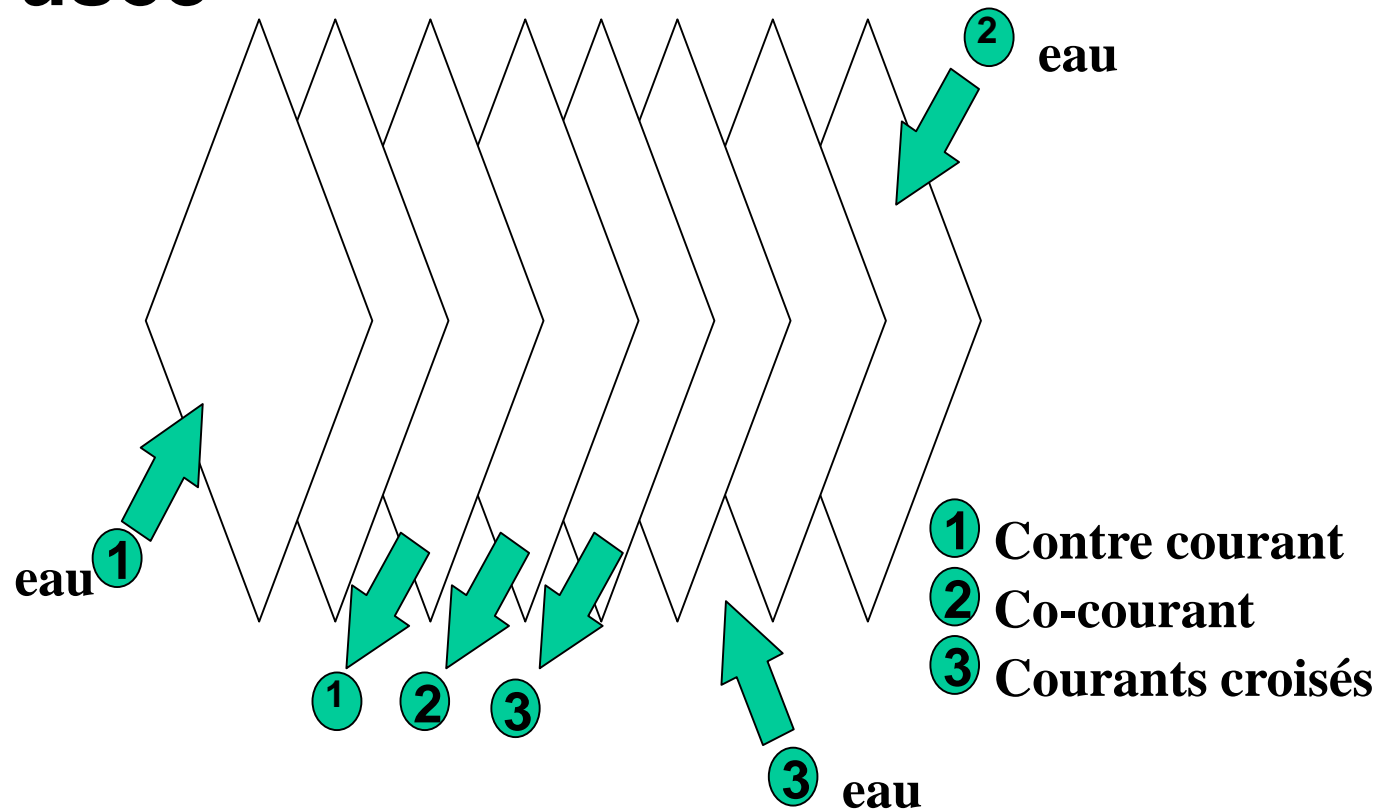
- Écoulement ascendant (contre courant)
- Vitesse d'écoulement dépend de la distance B aux plaques



F. Edeline Épuration physico-chimique des eaux (1992)

2.4. Décanteur lamellaire

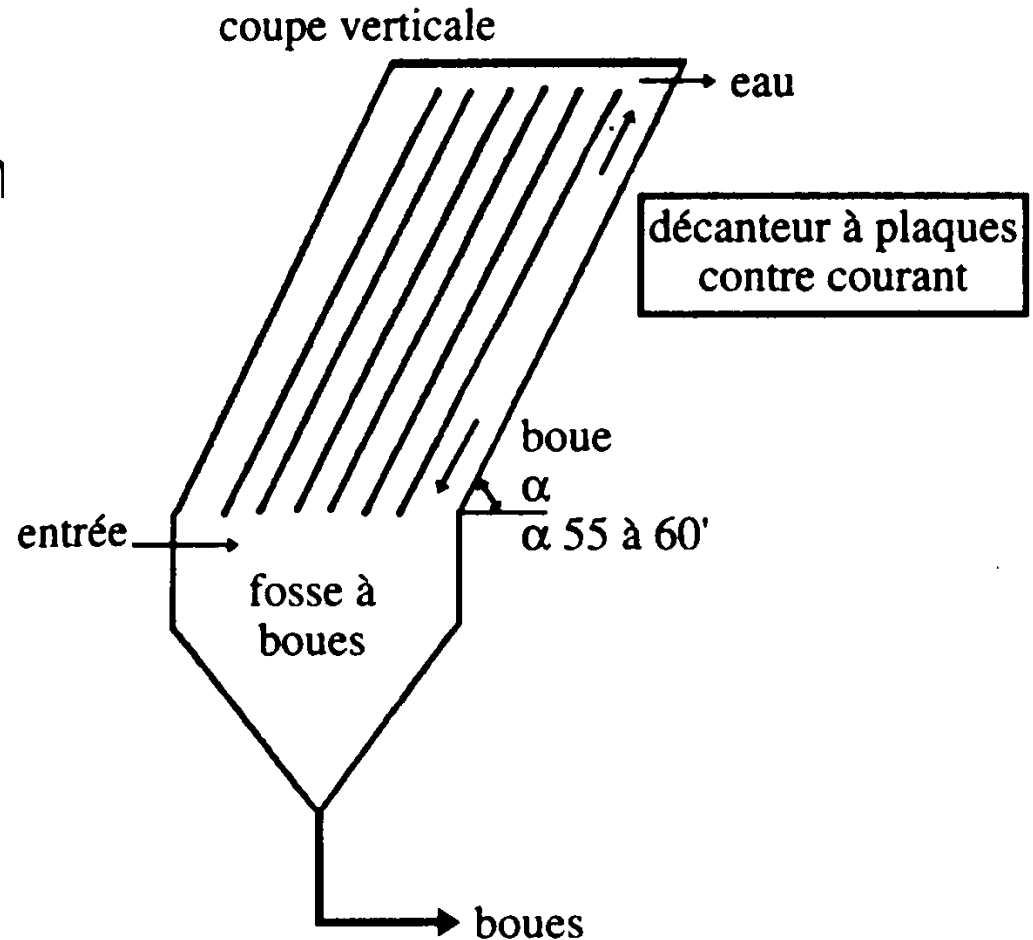
- Différents types d'alimentation en eau usée



2.4. Décanteur

■ Décanteur lamellaire à contre courant

- Alimentation ascendante

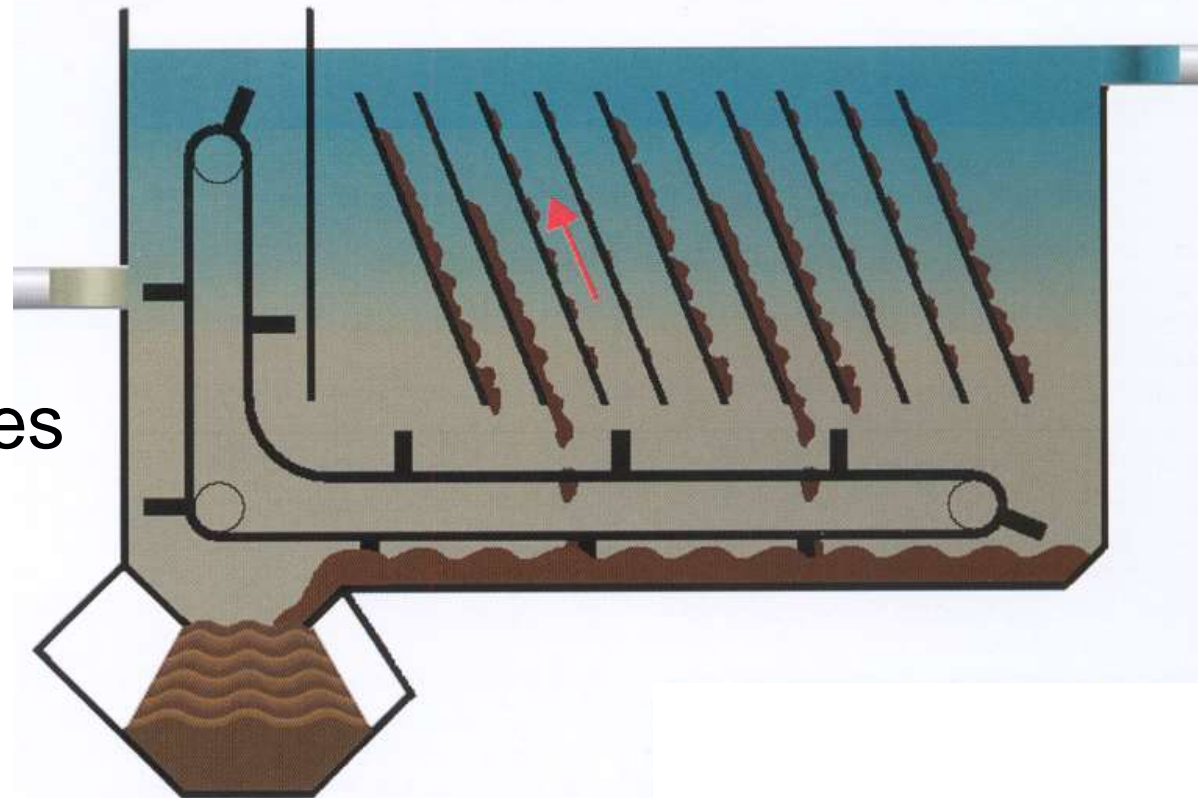


Assainissement
des
agglomérations
Agences de
l'eau & Min.
Environnement
(1994)

2- Prétraitement : décantation

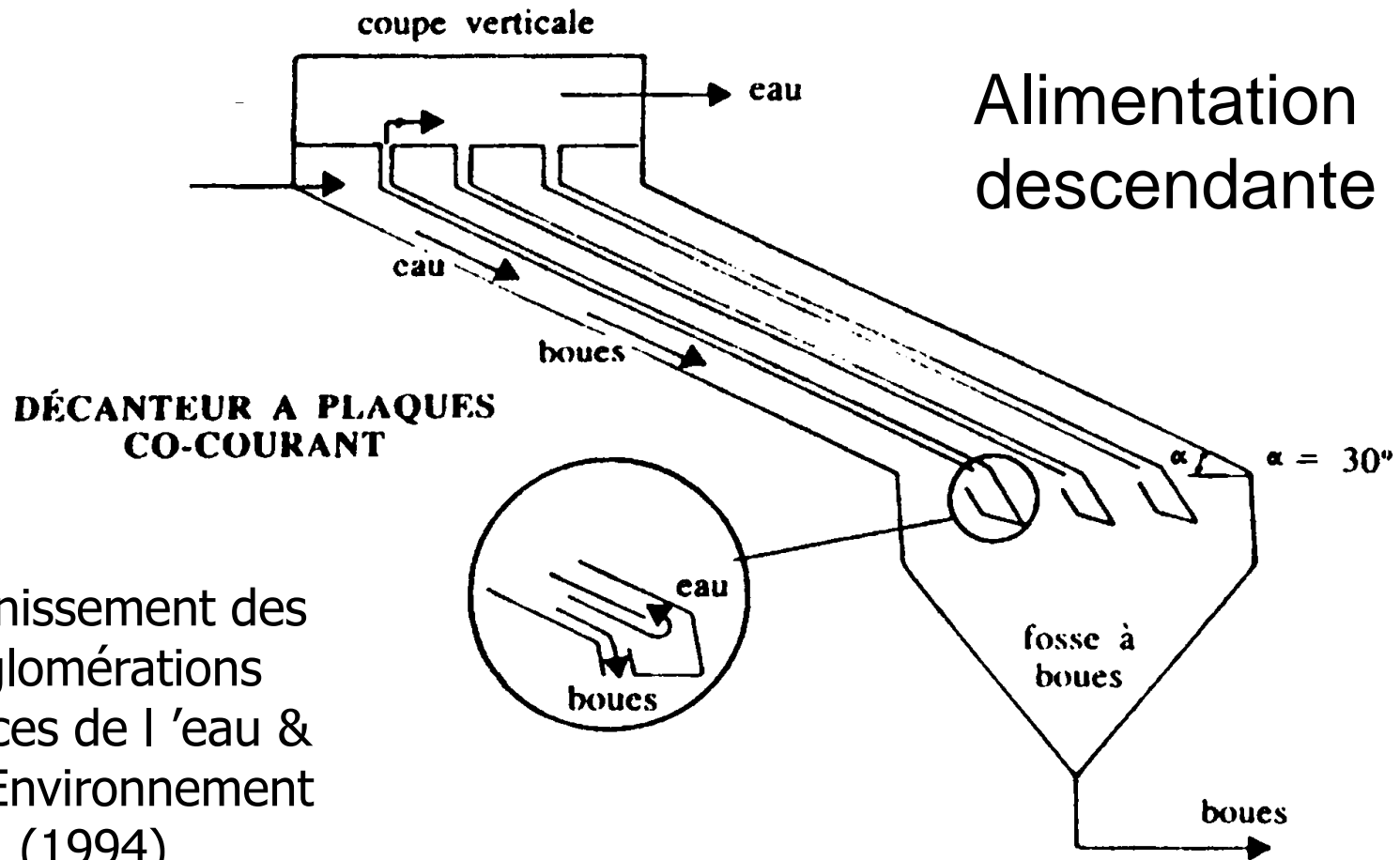
■ Décanteur lamellaire à contre-courant

- Multiflo (OTV) à racleur
- 600 plaques 75 mm 0,7-1 m/h



2.4. Décanteur

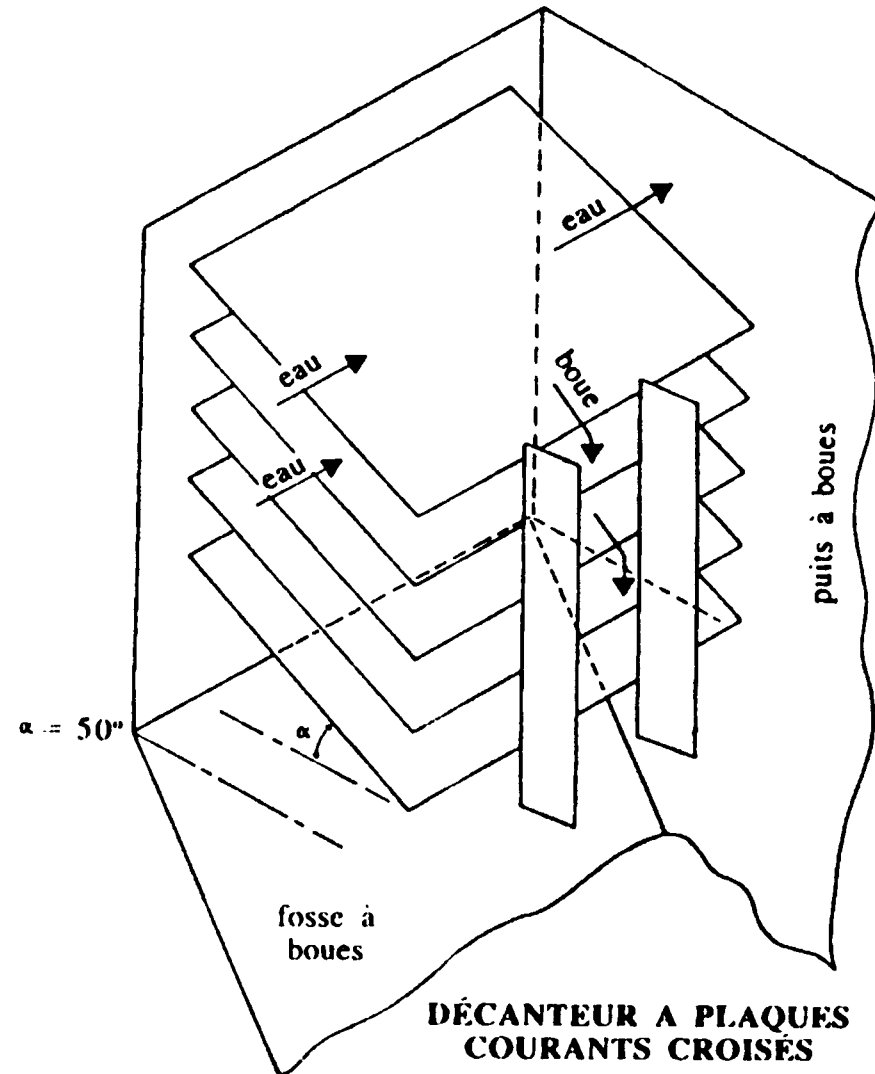
■ Décanteur lamellaire à co-courant



2.4. Décanteur

- **Décanteur lamellaire à courants croisés**
 - Alimentation horizontale

Assainissement des agglomérations Agences de l'eau & Min. Environnement (1994)



2.4. Décanteur

■ Conclusion: comparaison des ≠ types

| Type | V = Q / S (m/h) | Boues (g/l) |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------|
| Décanteur statique | 1 | 1 - 5 |
| Décanteur pulsé | 4 - 5 | 1 - 10 |
| Décanteur lamellaire | 8 - 10 | 1 - 8 |
| Décanteur lamellaire à recirculation | 25 - 35 | 30 - 80 |



2.5. Prétraitement : conclusion

- **Traitement des refus (de grille), sables et graisses**
 - Avec les ordures ou les boues secondaires
- **Conclusion**
 - Performances globales
 - environ 50% (MES & matière organique)
 - Application
 - systématiquement présent en STEP
 - Perspectives : automatisation



2.5. Prétraitement

- Des questions ?



3- Traitement chimique des eaux: plan

- **3.1 Principe et technique**
- **3.2 Coagulation & floculation**
- **3.3 Caractérisation des eaux et des réactions**
- **3.4 Conclusion et perspectives**



3.1 Trait. chim.: principe

■ Colloïdes

- Taille : 1 nm à 1 μm

■ Nature

- Minérale : hydroxydes Fe, Mn, argiles
- Organique : macromolécule
- Adsorbant micropolluants

■ Charge surfacique

- Souvent < 0 (groupes $-\text{O}^-$, $-\text{COO}^-$, ..)

■ Coagulation

- Agrégation par neutralisation des charges de surface

3.1 Trait. chim.: principe

- **Principe de coagulation - floculation**
 - Diminution des **charges de surface** par polyélectrolytes cationiques: **coagulation**
 - **Agrégation** naturelle des colloïdes déstabilisés: **floculation**
 - **Adsorption** de micropolluant dissous sur flocs
 - **Déphosphatation** : phosphates d'Al ou Fe ↓
 - **Décantation** des flocs (très fragiles)
 - 0,1 à quelques mm

3.1 Trait. chim.: principe

■ Réactifs

– Coagulation

- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: 15-300 mg/L
- FeCl_3 : 5-300 mg/L
- FeSO_4 : 15-300 mg/L
- Cations organiques: mélanine formol, épichlorhydrine, polychlorure de diméthylamine 5-50 mg/L

– Flocculation

- Minéraux : silice, argile, poudre de charbon actif
- Organique : alginates, amidons, polyacrylamide, polyacrylate

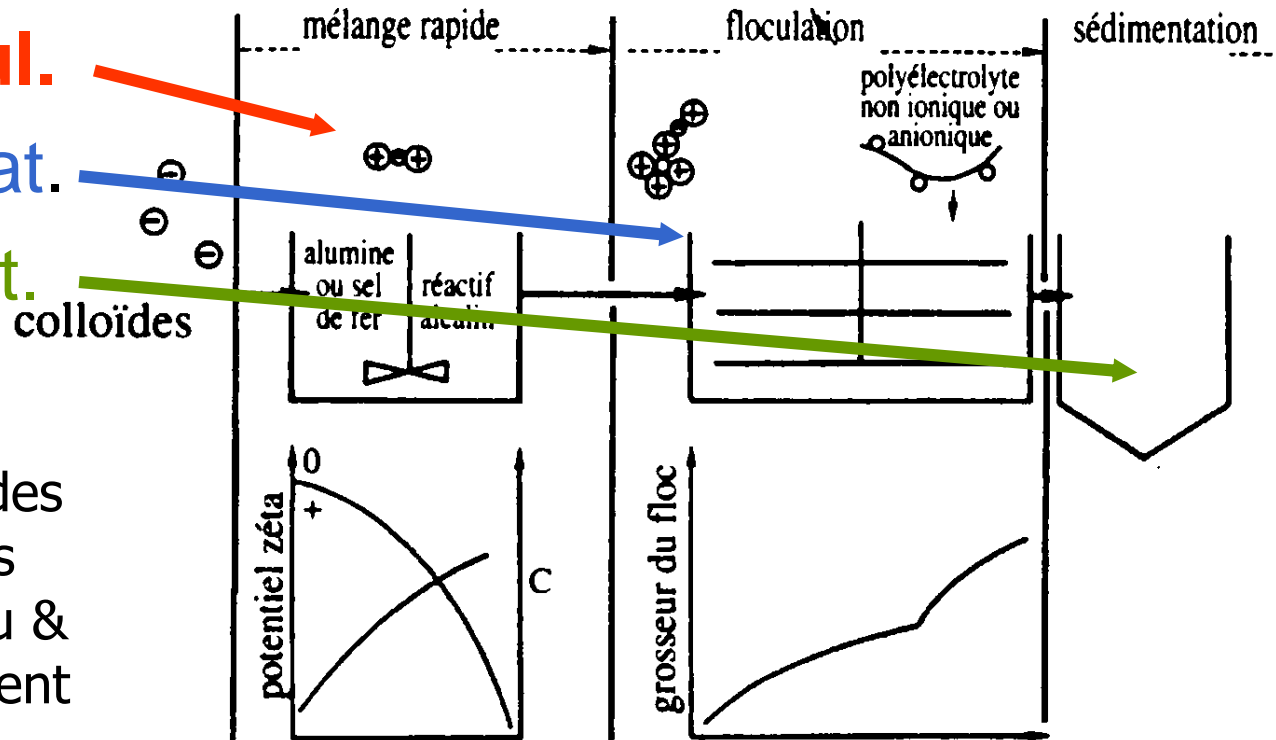
3.1 Trait. chim.: principe

■ Conditions hydrodynamiques: étapes

– **Coagul.**

– **Floculat.**

– **Décant.**



Assainissement des agglomérations
Agences de l'eau & Min. Environnement
(1994)

temps
intensité d'agitation
mécanisme

coagulation 1 à 3 min
rapide, forte
déstabilisation des colloïdes

temps : 10 à 20 min
agitation modérée
formation et croissance du floc

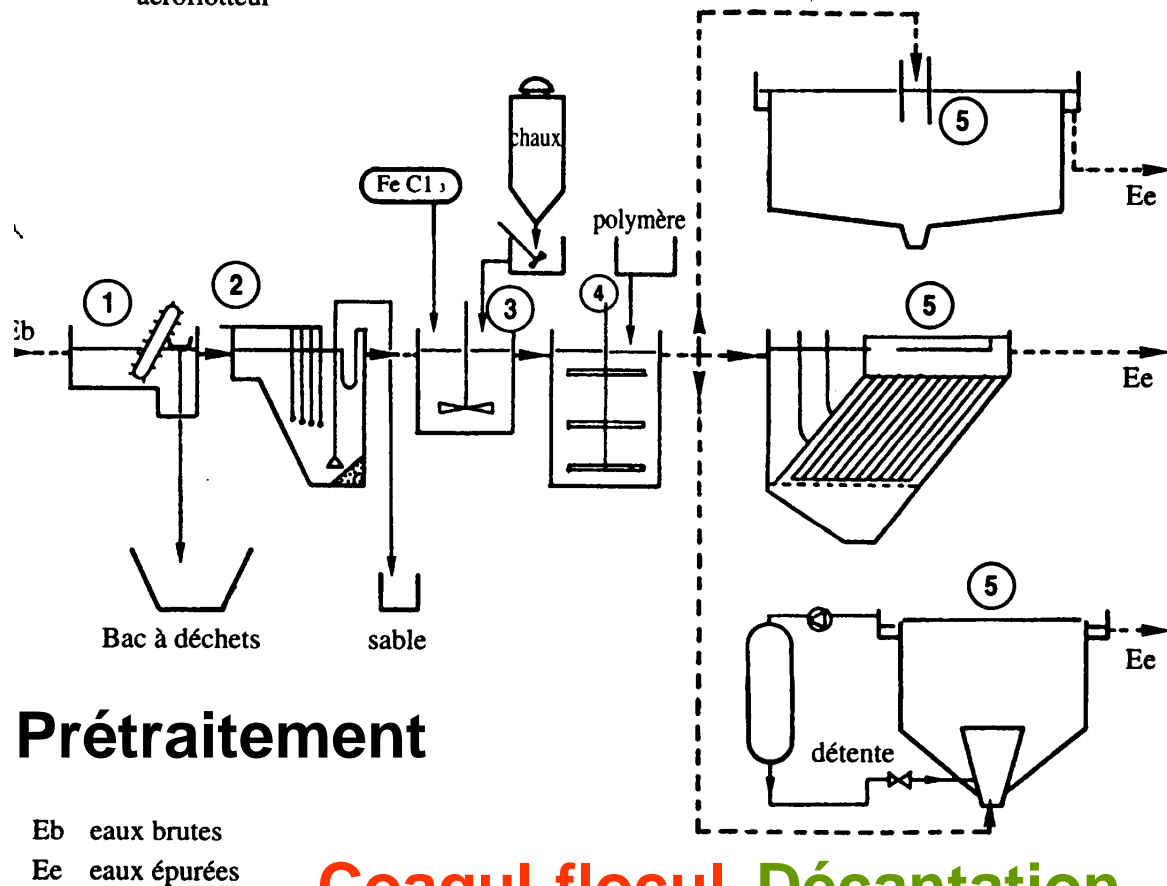
3.1 Trait. chim.: technique

- 1 - dégrilleur
- 2 - déssableur - déshuileur
- 3 - mélangeur rapide (coagulation)
- 4 - flocculateur
- 5 - ouvrage de clarification
 - décanteur statique
 - décanteur lamellaire
 - aéroflotteur

■ Principe de STEP à traitement chimique

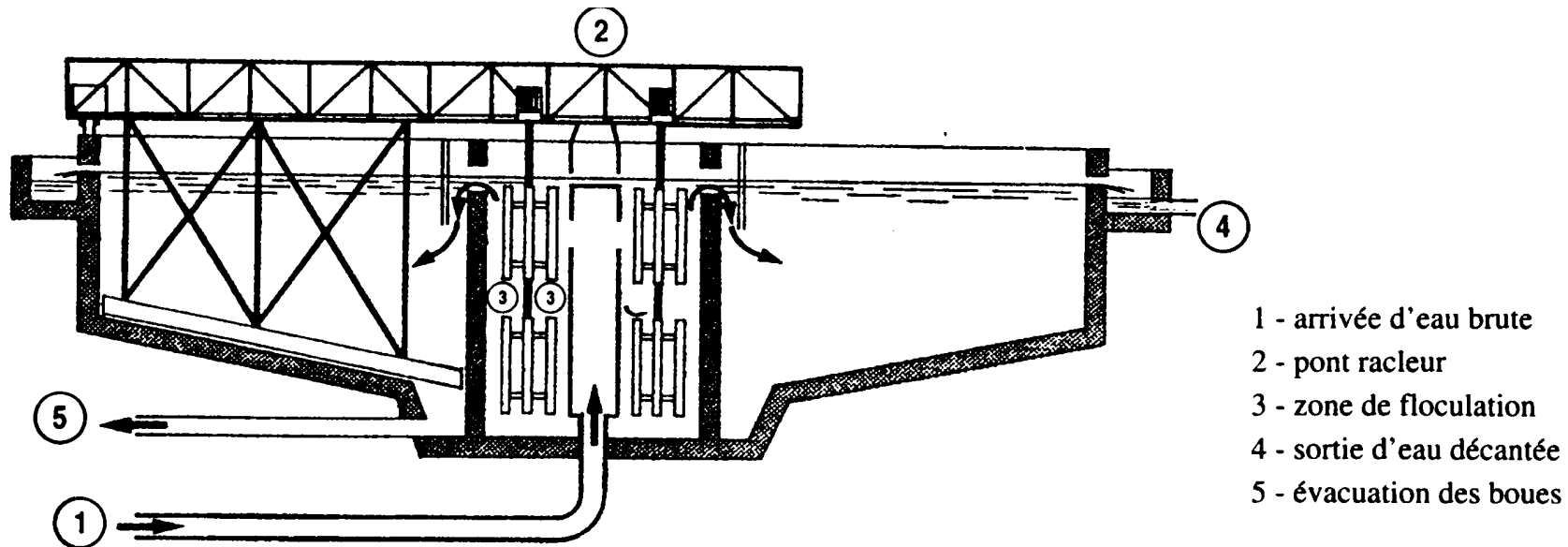
Assainissement des agglomérations
Agences de l'eau & Min.
Environnement
(1994)

11/11/2016



3.1 Trait. chim.: technique

- **Décanteur - flocculateur raclé à entraînement périphérique**
 - Coagulation - flocculation au centre



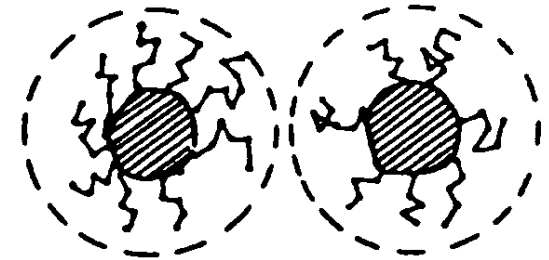
Assainissement des agglomérations, Agences
de l'eau & Min. Environnement (1994)

3.2 Mécanisme trait. chim.

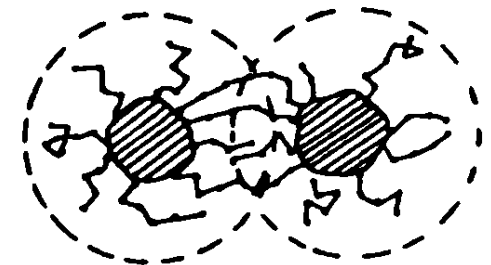
■ Étapes de la coagulation-floculation

- Neutralisation des charges de surface

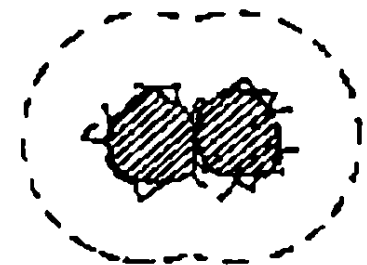
Assainissement des agglomérations, Agences de l'eau & Min. Environnement (1994)



1^{re} phase : adsorption



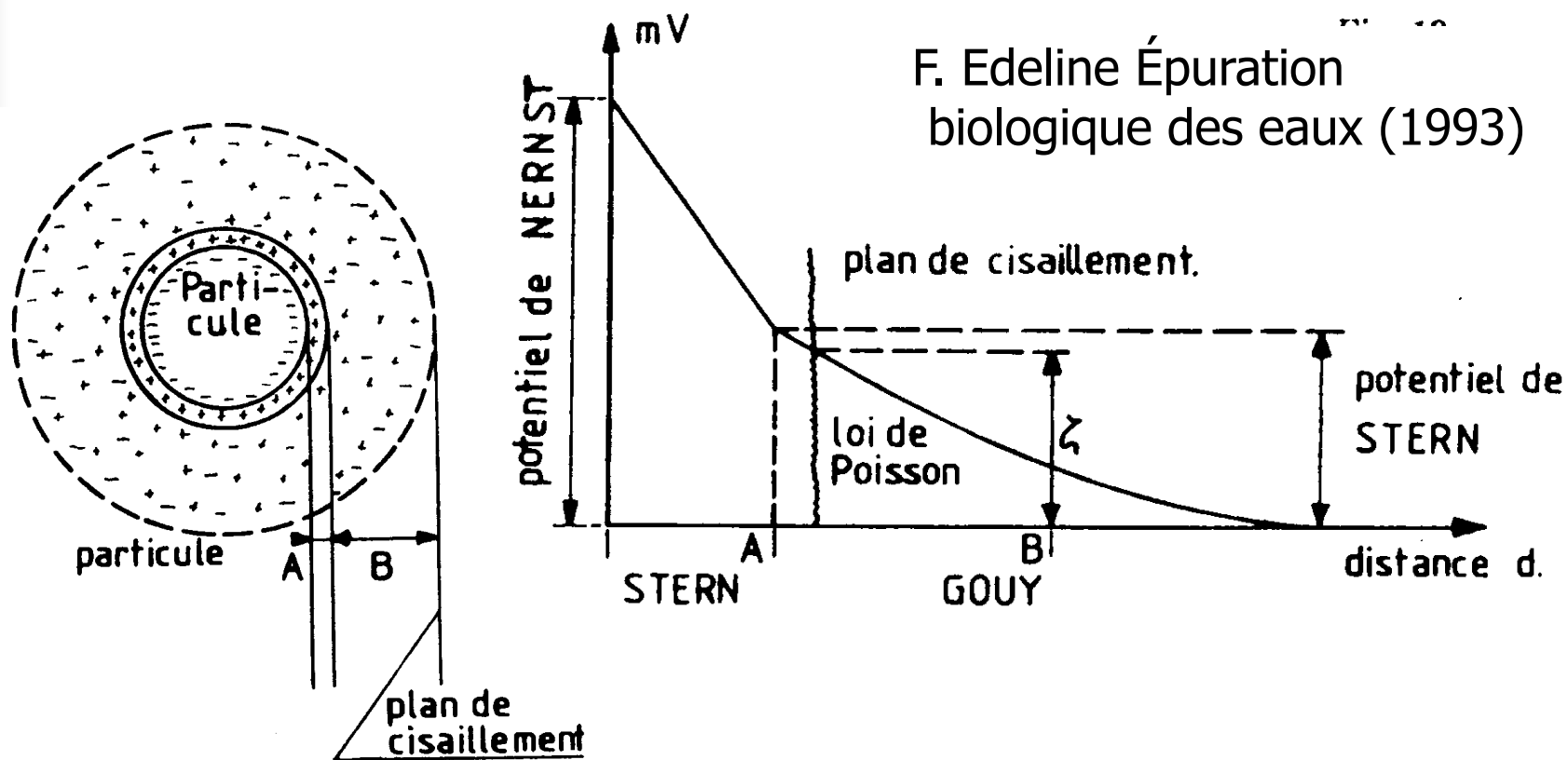
2^e phase : réticulation



3^e phase : floculation

3.2 Mécanisme trait. chim.

- Charge de surface: particule chargée dans solution ionique

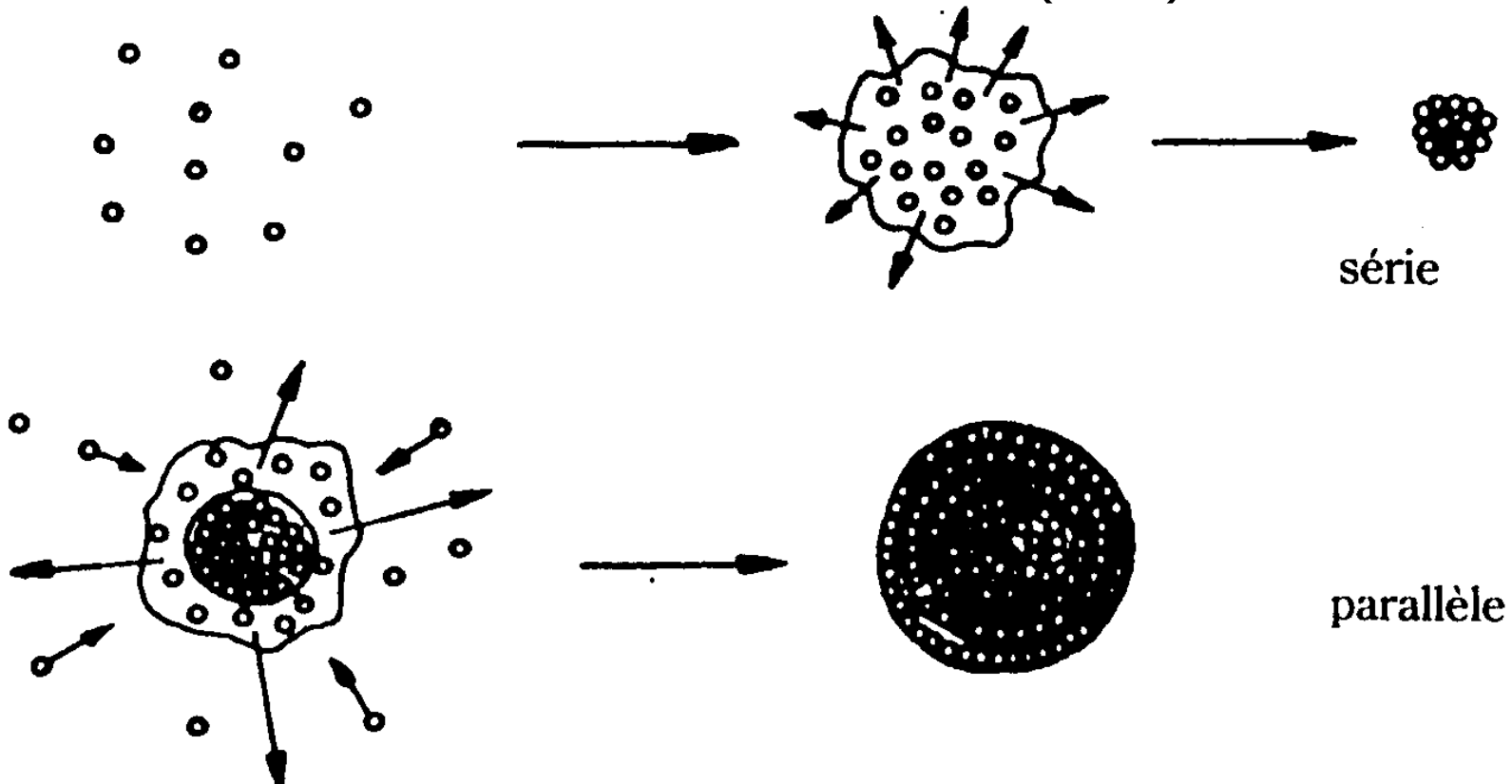


3.2 Mécanisme trait. chim.

■ Flocculation sphérique

– Expulsion eau \Rightarrow granulés

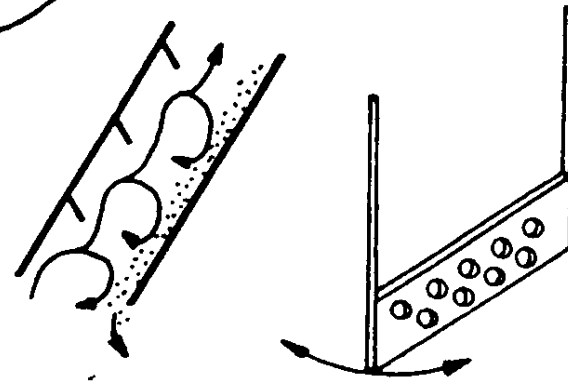
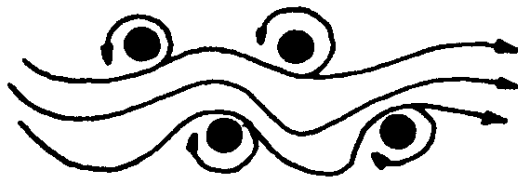
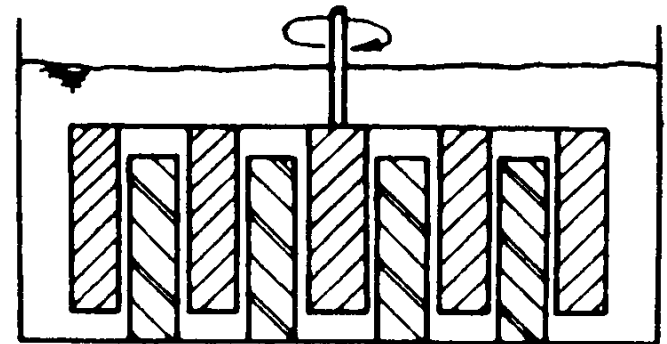
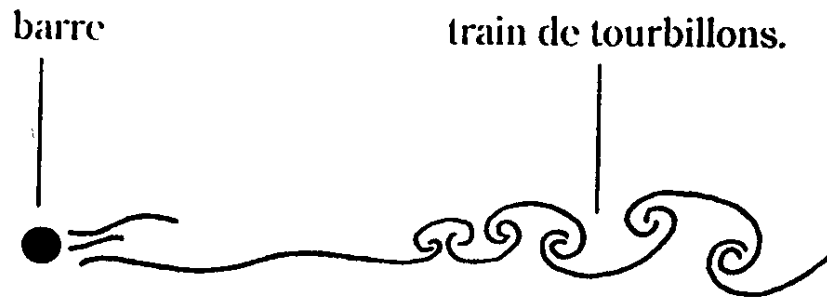
F. Edeline Épuration
biologique des eaux
(1993)



3.2 Mécanisme trait. chim.

- Flocculateurs à barres, plaques perforées, pales

- Tourbillons entraînant les particules



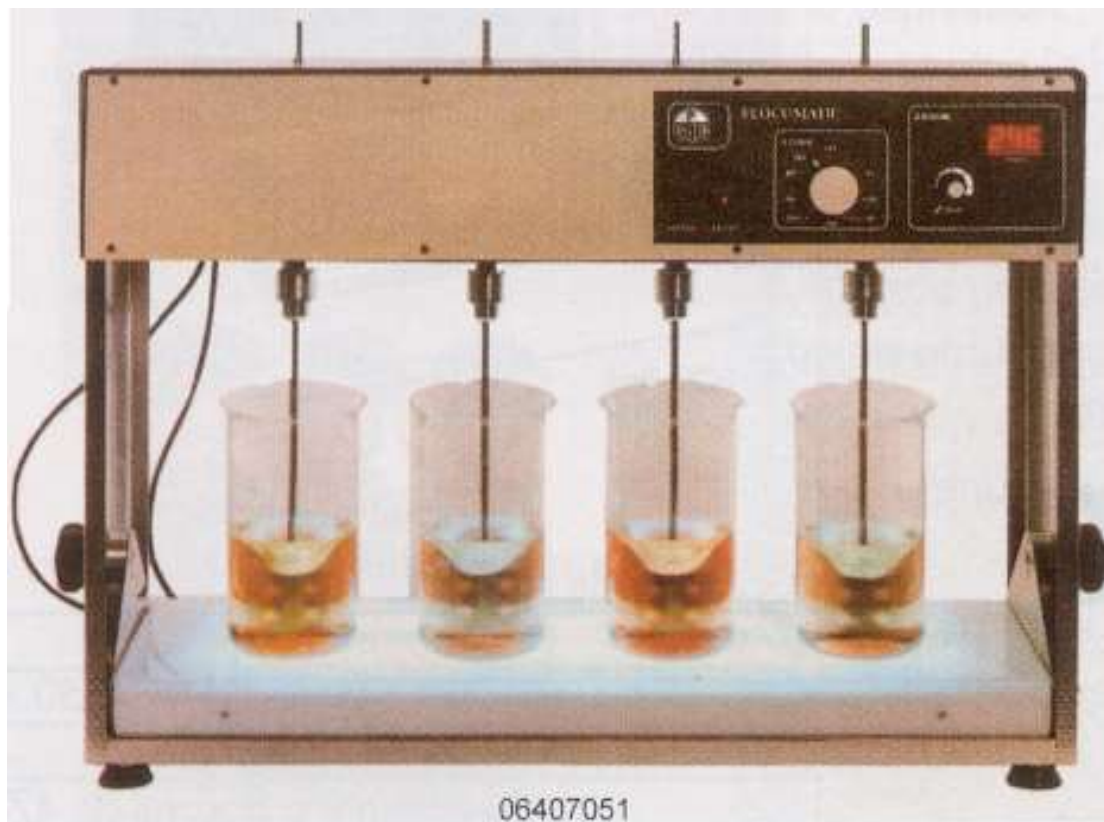
F. Edeline Épuration biologique des eaux (1993)

3.3 Caractérisation des eaux

■ Jar test: flocculateur pilote (4 postes)

– FLOCLAB
VWR 2003

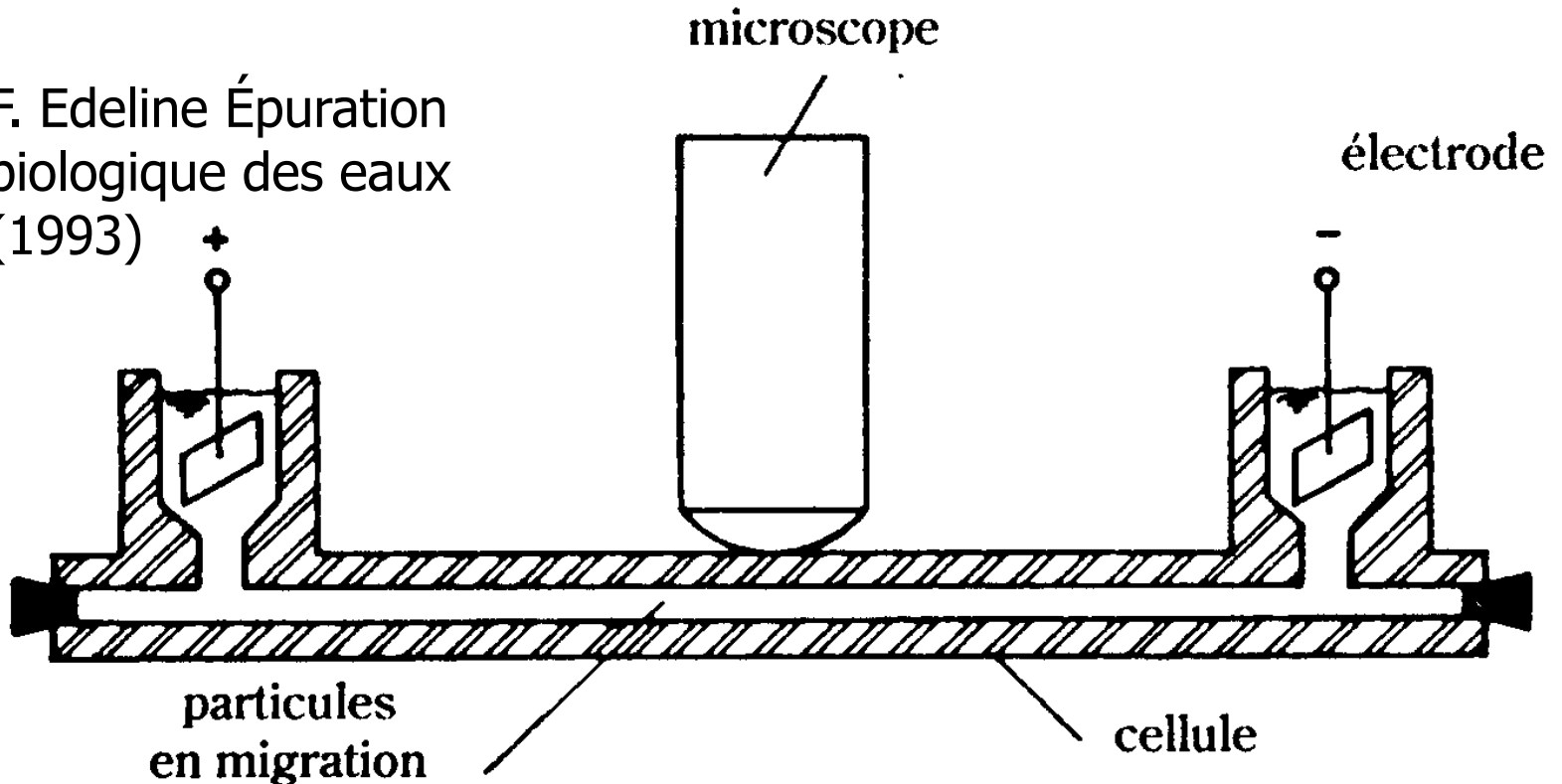
- 4-6 postes
- 15-200 rpm
- illumination
- minuterie
- 1,6-2,2 k€



3.3 Caractérisat. des eaux

- **Mesure du potentiel Zêta (\cong charge)**
 - Vitesse de déplacement des particules
 - **35 mV** (nat.) \Rightarrow - **20 mV** \Rightarrow **0 mV** coagulation

F. Edeline Épuration
biologique des eaux
(1993)



3.4 Trait. chim.: conclusion

■ Conclusion

- **Performances** d'épuration satisfaisantes
- **Avantages** : rapidité de réglage (pompes)
- **Inconvénients**
 - Consommation de réactifs : Al, Fe, flocculants
 - Rejet de Fe ou Al dans les boues
- Domaines d '**application**
 - Agglomérations de montagne (température faible impropre à traitement biologique)
 - Sites touristiques à population très variable
 - Cas particulier: ville de Marseille

Ville Marseille: épuration

- Station d'épuration sous stade Delort



Ville Marseille: épuration

■ Chantier de construction

- Novembre 1985
- 360.000 m³/j
- Traitement primaire
- Traitement secondaire chimique
- Décantation lamellaire
- Rejet en mer
- Boues traitées ailleurs !



Ville Marseille: épuration



Primaire: dégrillage,
dessablage, déshuil.

Primaire:
décantat.

**Coagul-
focul.,
décantat.**



3- Traitement chimique des eaux

- Des questions ?



4- Traitement biologique aérobie : plan

- 4.0 Principe & classification
- 4.1 Lits bactériens
- 4.2 Disques biologiques
- 4.3 Biofiltres et lits triphasiques
- 4.4 Boues activées
- 4.5 Dimensionnement des boues act.
- 4.6 Conclusions & perspectives



4.1 Trait. biol. aérobie: principe & classification

■ Principe

- Biodégradation aérobie de la matière organique
- Adsorption des micropolluants sur biofilm ou floc

■ Type de culture bactérienne

- Libre (flocs bactériens)
- Fixée (biofilms)

■ Type d'aération

- Libre
- Forcée: surface ou bullage

4.1 Trait. biol. aérobie: principe & classification

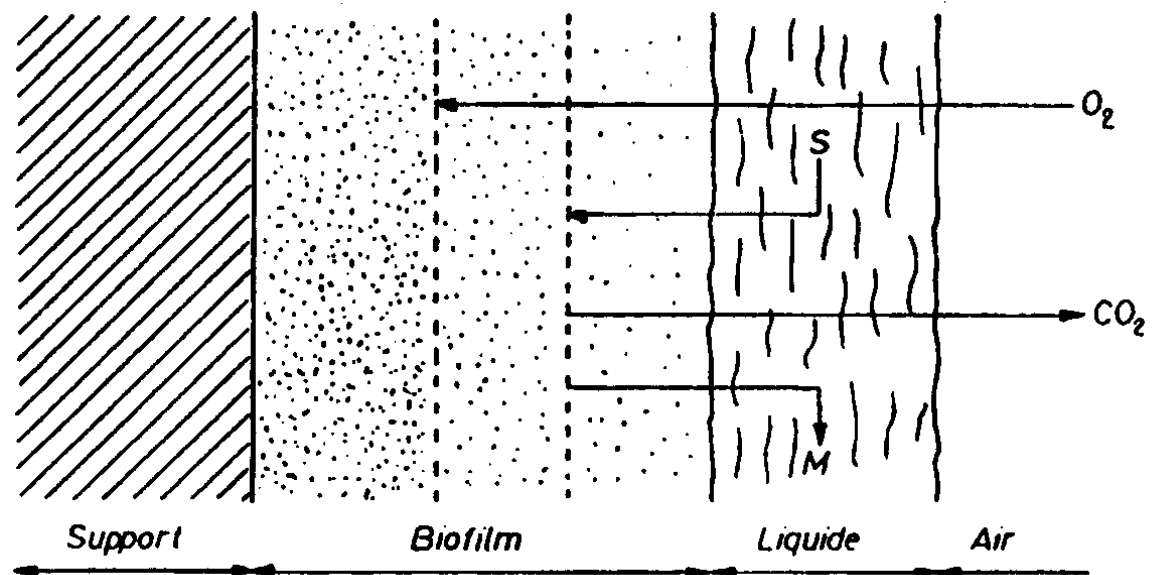
■ Classification des procédés

- Culture bactérienne **fixée** (fixation spontanée)
 - Lits, disques, lits fluidisés, biofiltres
- Culture bactérienne **libre**
 - Boue activée
- Autres
 - Rustiques (libre): lagunage
⇒ Section 8 de ce chap.
 - Individuels ou autonomes (culture fixée: épandage) ⇒ Section 9

4.1 Trait. biol. aérobie: principe & classification

■ Avantages & inconvénients

- Aération **forcée** : flux ↗ mais coût ↗
- Culture **fixée** : concentr. bactéries ↗ mais aération & agitation nécessaires



F. Edeline
Épuration
biologique des
eaux (1993)

4.1. Lits bactériens

■ Principe et technique

- **Ruissellement séquencé** de l'eau à traiter
- sur **matériau** (quelques cm) naturel (scories, pouzzolane) ou artificiel (anneaux, plaques...) entassé sur 3-6 m de hauteur
- **Aération naturelle** : effet cheminée (biodégradation exothermique)
- **Décantation secondaire** (séparation biofilm) et recyclage partiel de l' eau
- Aucune **consommation énergétique**

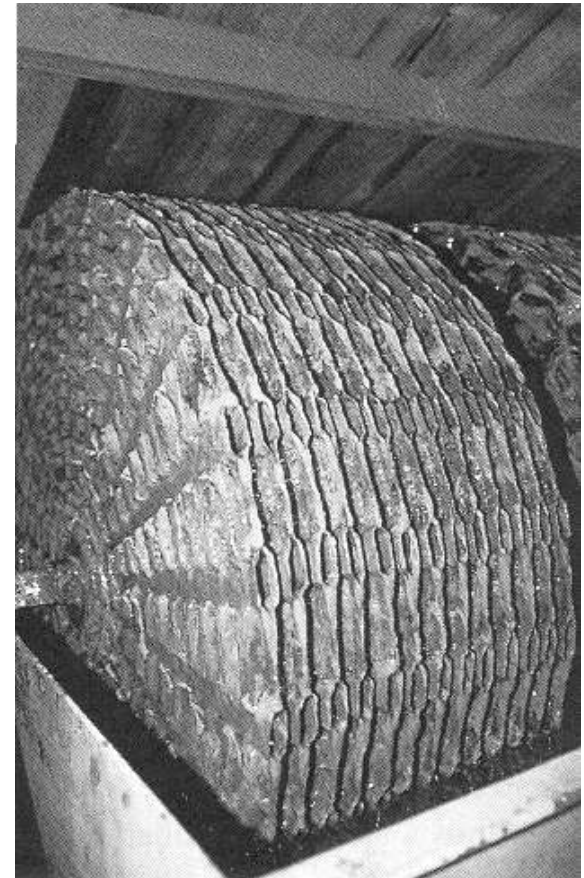
4.1. Lits & disques bactériens

■ Lits



F. Edeline
Épuration
biologique des
eaux (1993)

Disques



4.1. Lits bactériens

■ Principales caractéristiques

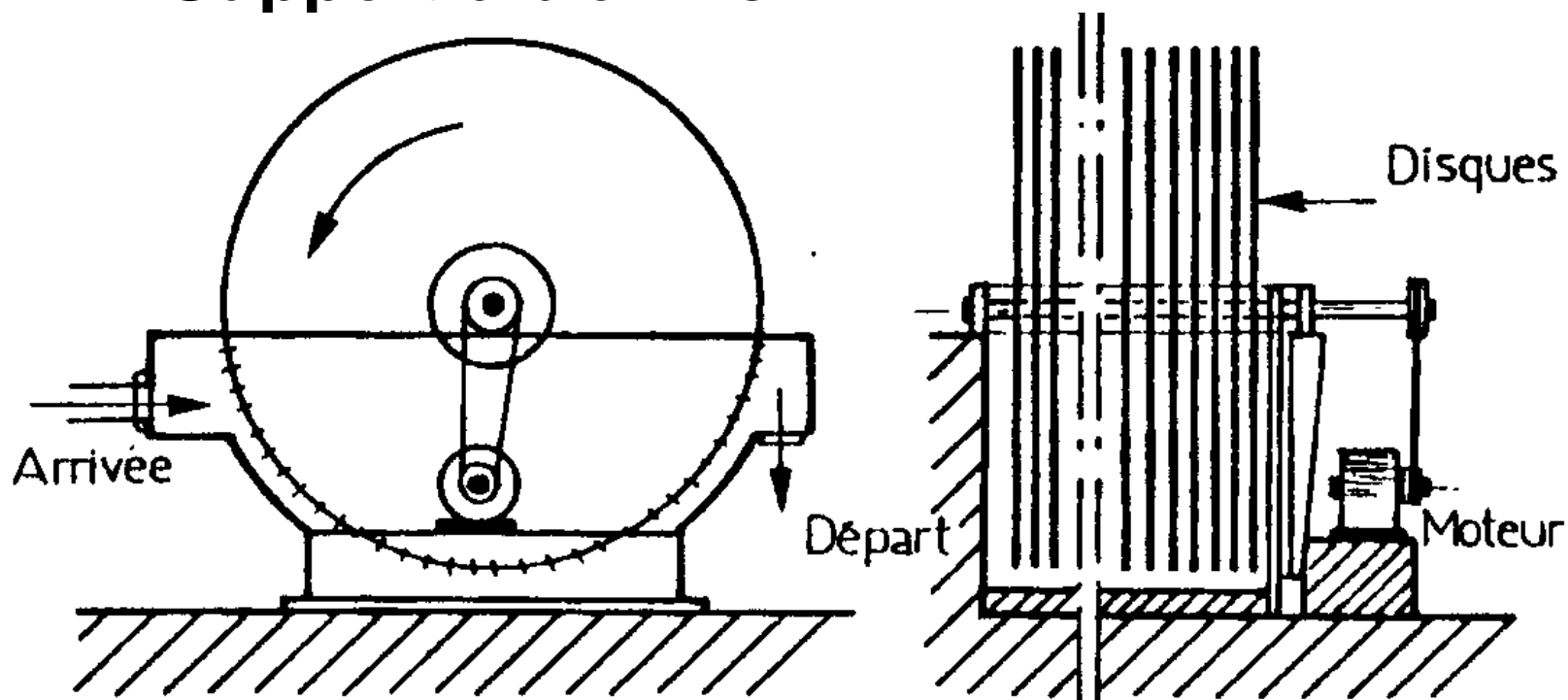
- Charge volumique : C_v (kg DBO₅/m³ bassin/j)
- Charge hydraulique : C_h (m³ /m² bassin/j)
- **Recyclage** r : 0 à 6
- **Temps de séjour** : 1 à 15 min
- **Rendement** épuration DBO₅ : 75 à 85%

| Charge | Faible | Normale | Forte |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|------------|--------------------------|
| kg DBO ₅ /m ³ .j | 0,08 – 0,40 | 0,40 – 1,0 | 1 – 10 |
| C_h m ³ /m ² .j (recyclage inclus) | 1,5 – 4,5 | 4,5 – 25 | 20 – 100 35 (modules) |
| C_h minimum | 1,5 | 14 – 25 | 20 (vrac) |
| r | 0 | 0 – 1 | 0 – 6 |
| H m | 1,5 – 4 | 1,5 – 4 | 4 – 12 |
| Épuration réalisée | ← DBO ₅ < 50 → | | ΔDBO 50-80 % |

4.2. Disques biologiques

- Schéma de principe
 - Rotation lente des disques
 - Support à biofilms

F. Edeline
Épuration
biologique des
eaux (1993)



4.3. Culture fixée

■ Biofiltres ou lits triphasiques

– **Granulés** (5 mm)

- schistes expansés, argile \Rightarrow densité_{eau} > 1
- polystyrène \Rightarrow densité_{eau} < 1

– Réacteur plein d'eau: lit fluidisé ou biofiltre

– **Aération forcée**: fines bulles

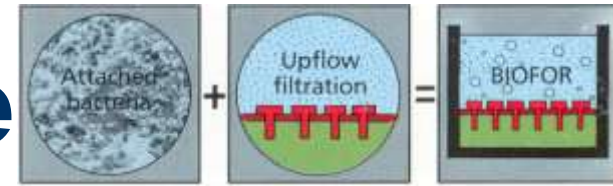
– Fréquent **lavage - décolmatage** du biofiltre

– **Décanteur** secondaire: séparation du biofilm décroché

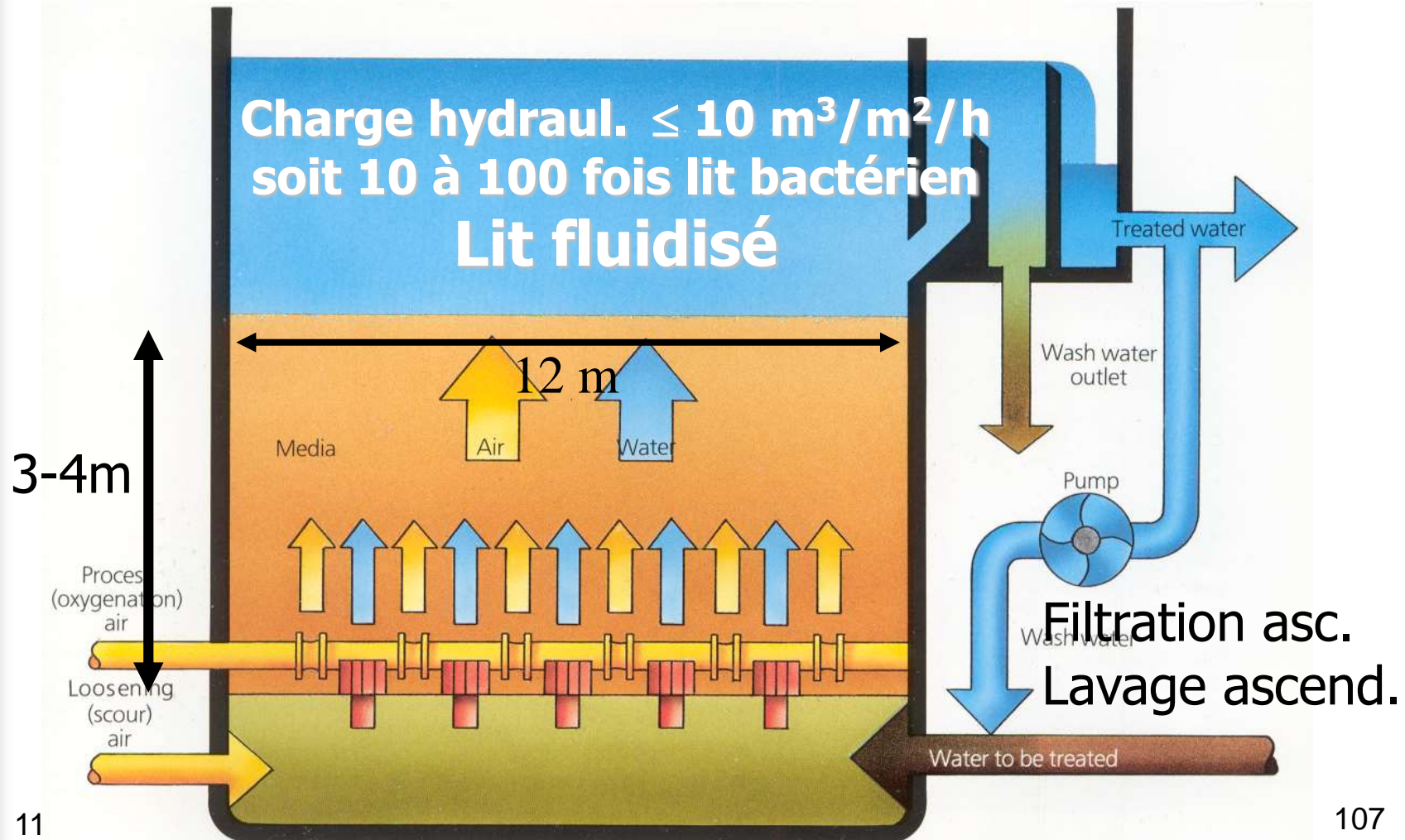
– **Fort rendement** mais coût élevé (équipement, fonctionnement)

\Rightarrow STEP Seine-Centre à Colombes

4.3. Culture fixée



■ Biofor (Degrémont) sur Biodamine

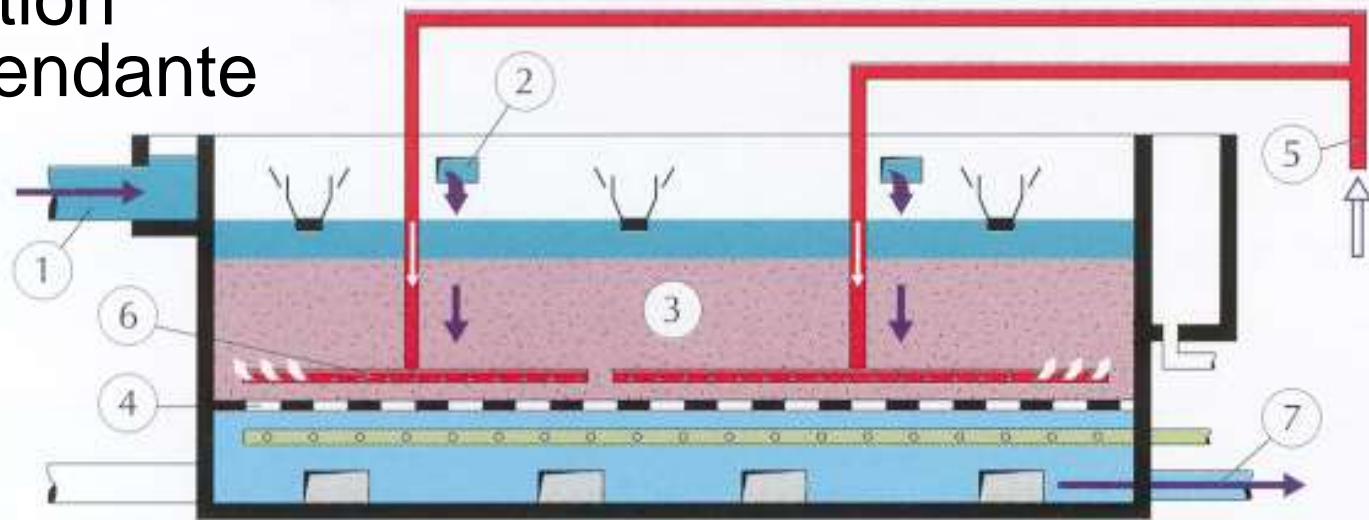


4.3. Culture fixée

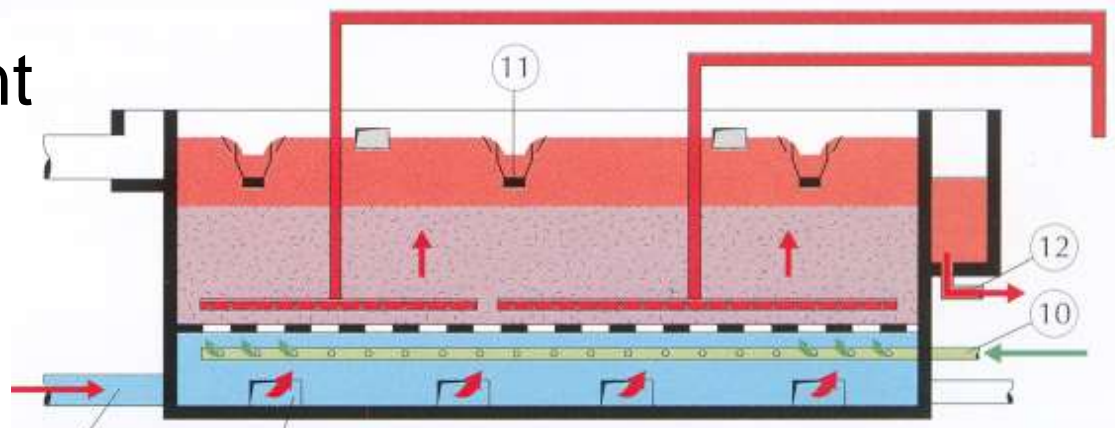


■ Biofiltre : Biocarbone (lit fixe)

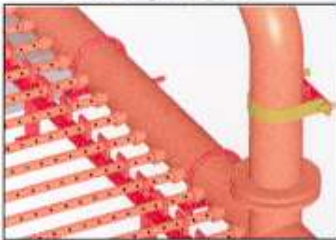
– Filtration descendante



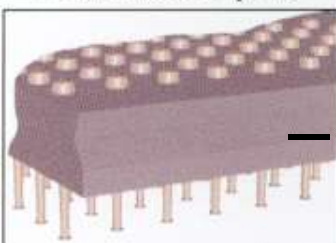
– Lavage ascendant



Rampe d'insufflation d'air procédé



Plancher crépiné



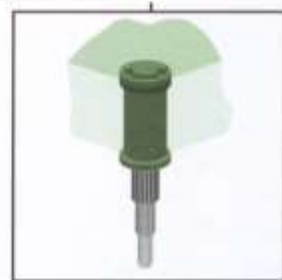
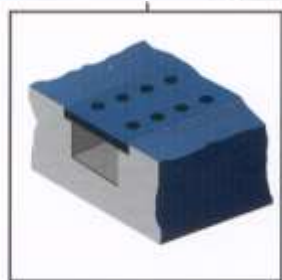
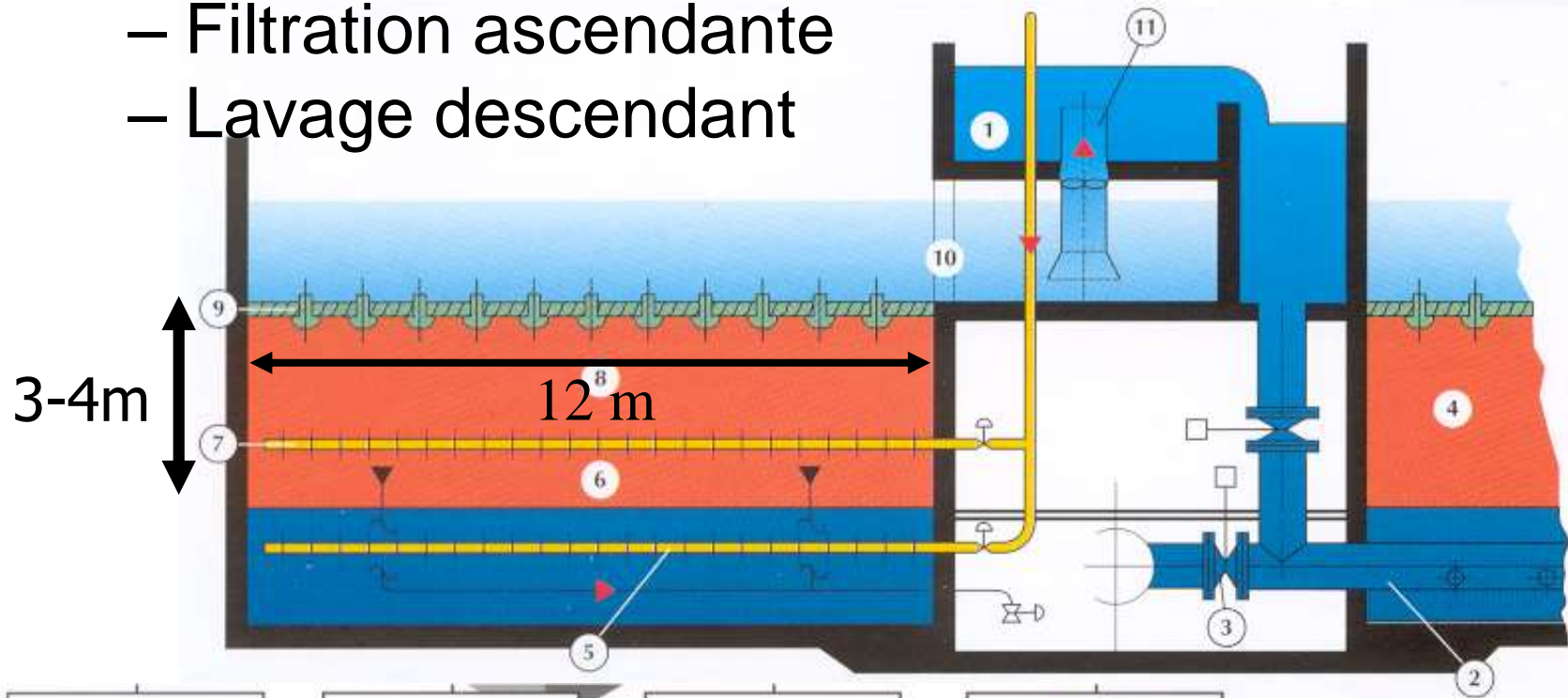
Crépine



4.3. Culture fixée

■ Biofiltre: Biostyr (lit fixe)

- Filtration ascendante
- Lavage descendant



1-2 h temps de séjour



Biofiltre aérobie: SIAAP

- **Vue générale et vue de dessus de réacteur Biostyr**
 - Pilote SIAAP à Colombes



Biofiltre aérobie: SIAAP

- **Plafond filtrant de réacteur Biostryr**
 - Pilote SIAAP à Colombes



Biofiltre aérobie: SIAAP

- Matériau: billes polystyrène (collecte)



Biofiltre aérobie: SIAAP

- **Lavage des biofiltres Biostyr**
 - Pilote SIAAP à Colombes





4.4. Boues activées

■ Principe & technique

– Bassins d 'aération

- Bactéries floculées (spontanément)
- Aération: surface ou bulles (séquencé)
- Agitation, brassage des boues

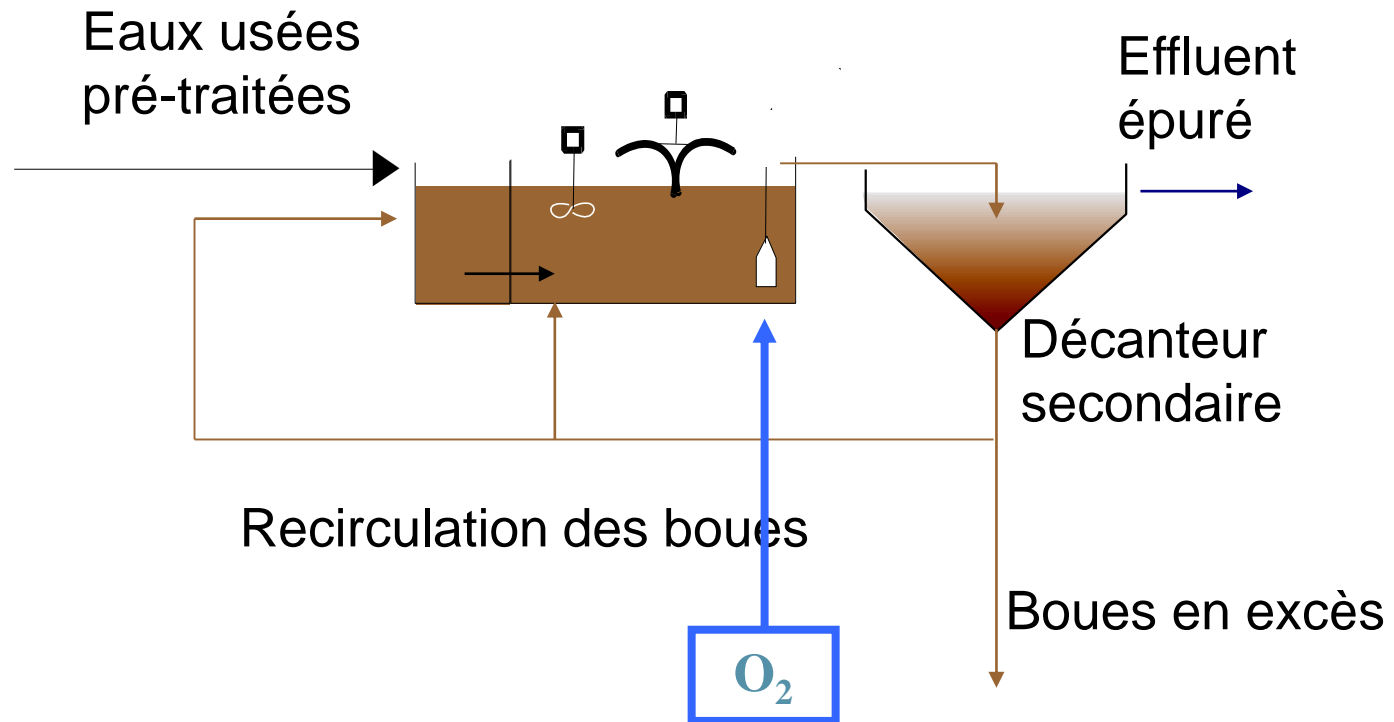
– **Décanteur** secondaire

- Boues recyclées (en partie) en tête de bassin d 'aération
- Eau épurée : rejetée en rivière, lac ou littoral

4.4. Boues activées

■ Schéma général de l'installation

- Bassin d'aération: mélangé, chenal ou boucle
- **Décanteur secondaire**



4.4 Systèmes d'aération

- **Aérateurs de surface** : projection de l'eau dans l'air
 - Broses
 - Turbines
- **Systèmes à insufflation d'air**
 - Moyennes bulles
 - Fines bulles
 - Systèmes déprimogènes

S. Gillot, Cemagref, 2002

4.4 Aérateurs de surface - Turbines



S. Gillot, Cemagref, 2002

4.4 Aérateurs de surface - Brosses



S. Gillot,
Cemagref,
2002

4.4 Insufflation d'air - Fines bulles



S. Gillot,
Cemagref,
2002

11/11/2016

4.4 Diffuseurs fines bulles



S. Gillot,
Cemagref,
2002

4.4 Chenal d'aération



S. Gillot,
Cemagref,
2002

4.4 Chenal d'aération - Insufflation d'air + agitation



S. Gillot,
Cemagref,
2002

4.4 Chenal d'aération



4.4 Chenal d'aération

S. Gillot,
Cemagref,
2002



4.4 Chenal oblong

S. Gillot,
Cemagref,
2002



4.4. Boues activées

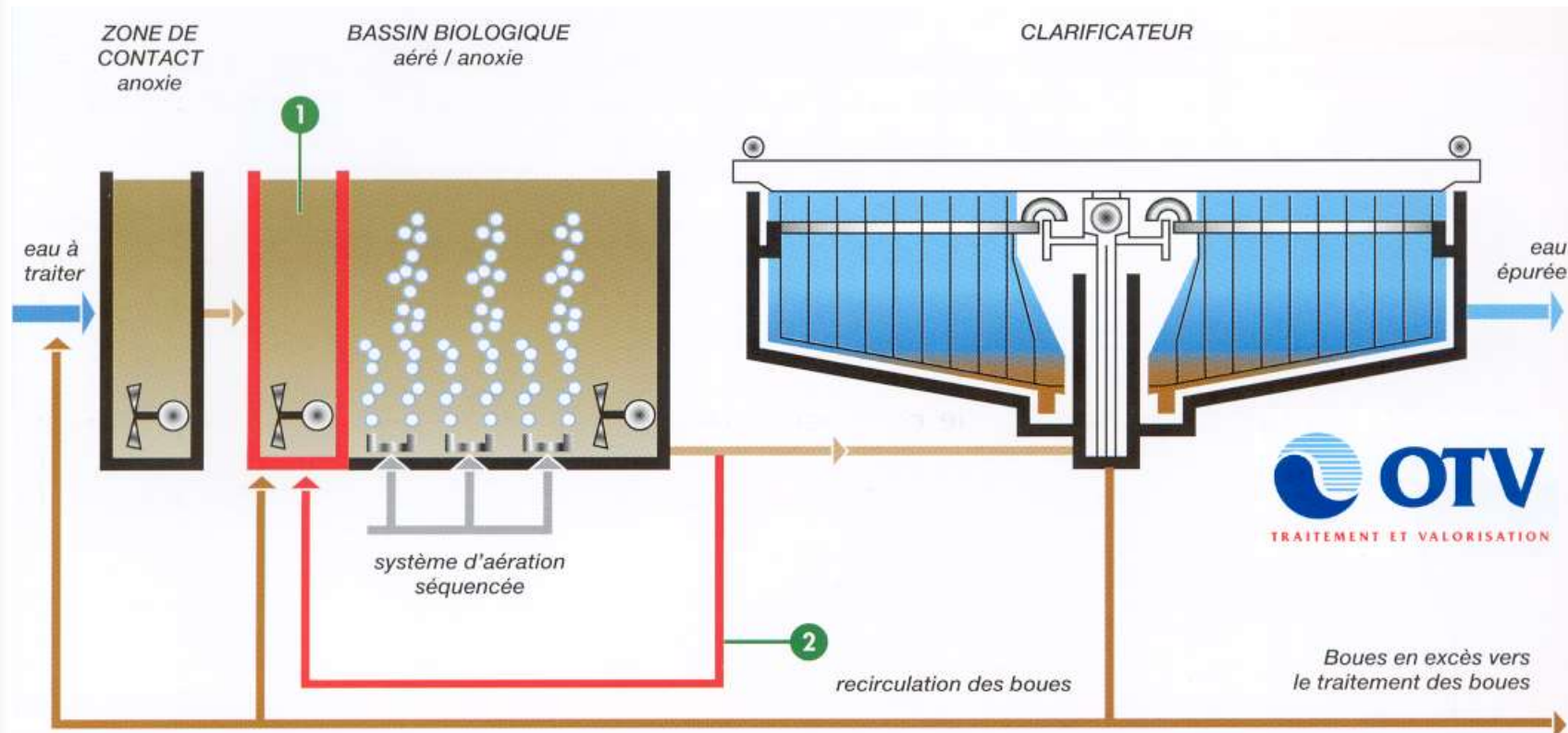
■ Zone anoxique en tête: dénitrification



- **Absence d'oxygène** : réduction des nitrates
 - Bassin couvert
- Réduction par **matière organique**
 - Apport par eaux usées non traitées
- **Bactéries** nécessaires
 - Recirculation des boues du décanteur secondaire
 - Bactéries à croissance lente

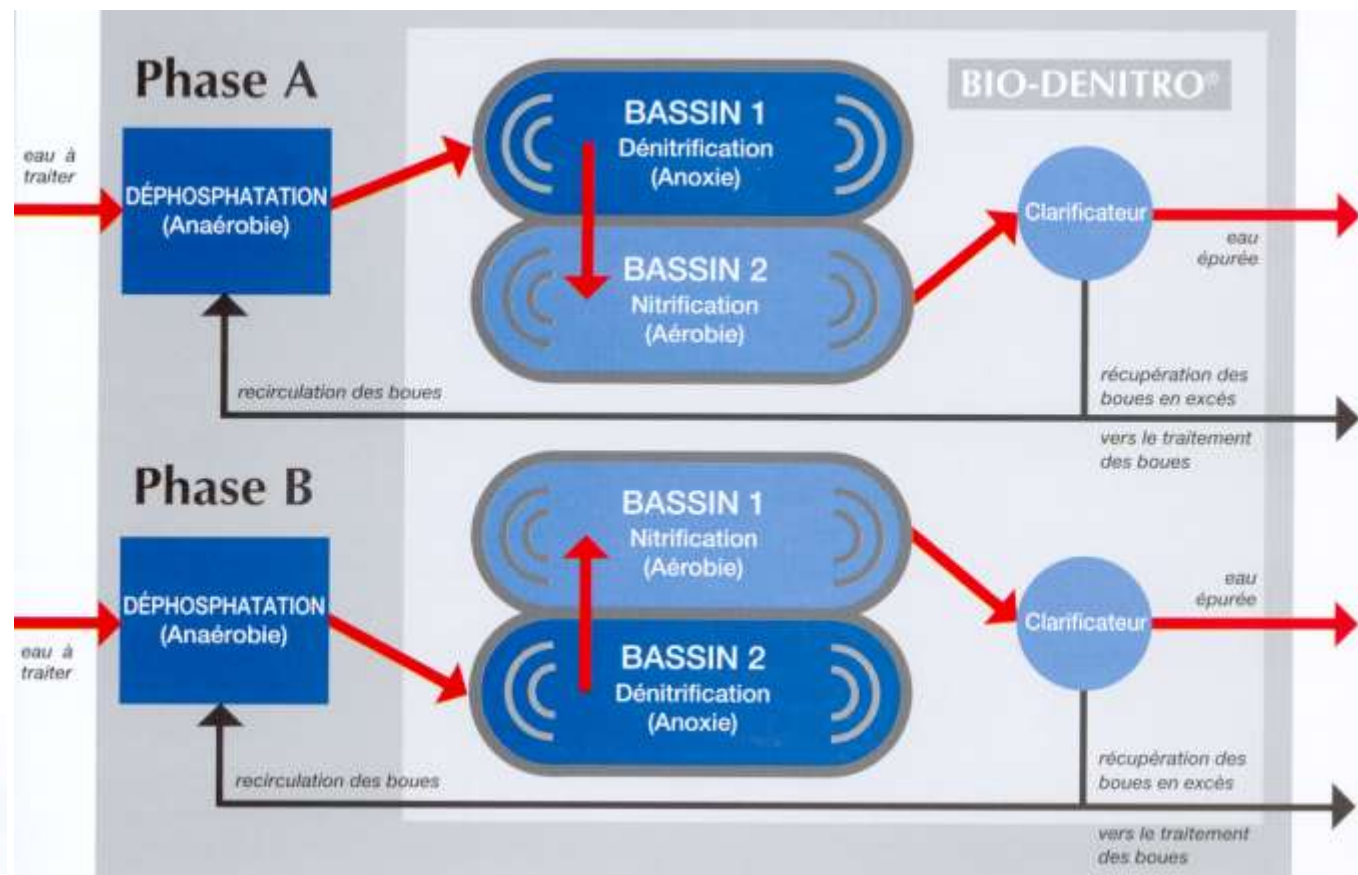
4.4. Boues activées

- Zones anoxiques de dénitrification
 - Zone de **tête** : re-circulation boues anoxiques



4.4. Boues activées

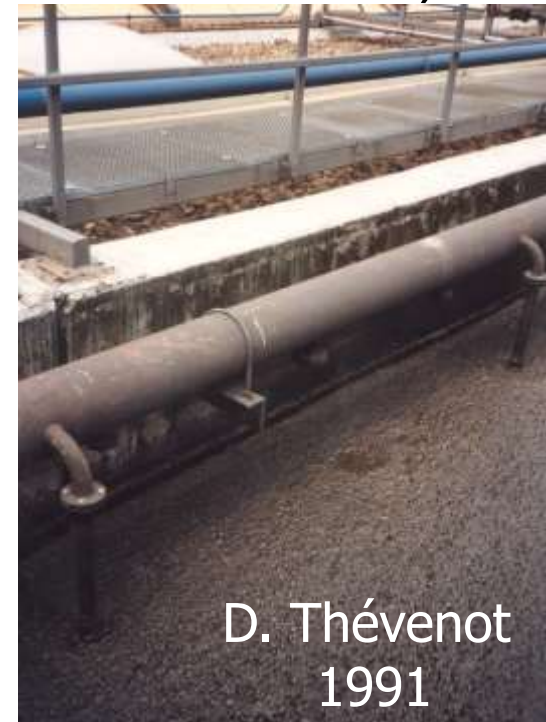
- Bio-Denitro: chenaux de dénitrification et nitrification alternés



Essen: traitement

■ Station épuration

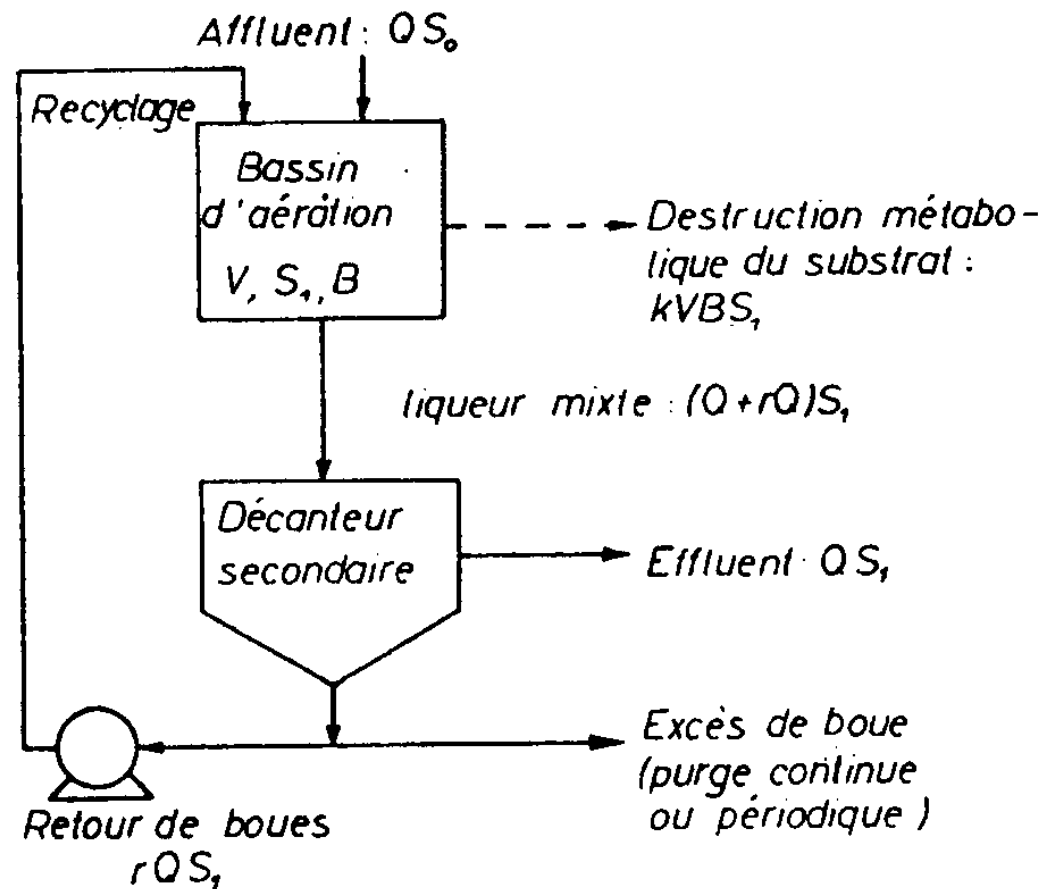
- Boues activées (bassin recouvert: odeurs)



D. Thévenot
1991

4.5. Boues activ.: bases de dimensionnement

■ Schéma général



F. Edeline
Épuration
biologique des
eaux (1993)

4.5 Boues activ.: dimensionnement

■ Hypothèses simplificatrices

- Réacteur **homogène** (mélange intégral)
 - DBO_5 entrée $S_0 = L_0 \Leftrightarrow$ sortie $S_f = L_f$
réacteur $S = L_f$
- Pas d'épuration biologique dans le décanteur
- Purge de boues négligée
- Recyclage d'eau totalement épurée ($L = 0$)

4.5 Boues activ.: dimensionnement

■ Hypothèses simplificatrices (suite)

- Equation de **croissance cellulaire** de Monod (semblable à cinét. enzymatique)

- $dB / dt = \mu_{\max} B \cdot L / (L + K_{M,L})$

- Biodégradation **d'ordre 1 vis à vis de L** pour limiter la production de boues

- ⇒ $dB / dt = \mu_{\max} B \cdot L / K_{M,L}$ si $L < K_{M,L}$

- ⇒ $dB = - Y |dL|$ avec Y rendement de croissance cellulaire

- ⇒ $dL/dt = - L B (\mu_{\max} / Y K_{M,L}) = - L B K^*$

4.5 Boues activ.: dimensionnement

■ Équations de base

– MOOX = **DBO₅**

- entrante L_0
- sortante L_f

– Débit **Q** constant

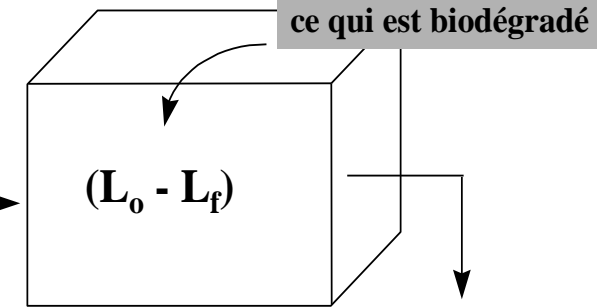
– Constante de biodégradation

K*

$$\frac{dL}{dt} = -K * BL$$

ce qui entre

$Q L_0$



$Q L_f$

ce qui sort

4.5 Boues activ.:

dimensionnement

■ Cinétiques de biodégradation

- **Etat stationnaire:** bilan de MOOx dans bassin à temps de séjour $T = V / Q$

$$\frac{Q}{V} L_0 - K^* BL_f = \frac{Q}{V} L_f$$

$$\frac{Q}{V} (L_0 - L_f) = K^* BL_f$$

- **Résultat**

$$K^* = \frac{1}{BT} \frac{(L_0 - L_f)}{L_f}$$

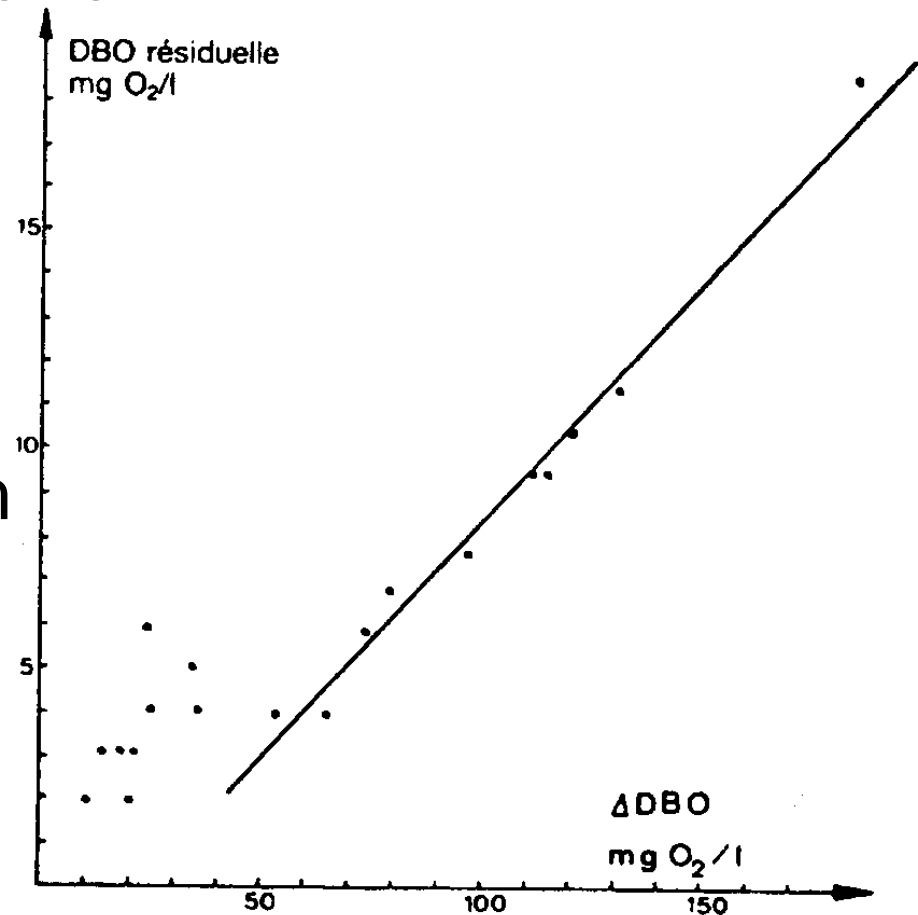
$$K^* = \frac{1}{BT} \left(\frac{L_0}{L_f} - 1 \right)$$

4.5 Boues activ.: dimensionnement

■ Effluent de brasserie

- L_f proportionnel
à $L_0 - L_f = \Delta L$
- $t_{\text{séjour}} = 3 \text{ h}$
- $B = 3,5 \text{ g MVS/l}$
 $\Rightarrow K^* = 0,86 \text{ l/mg/h}$

F. Edeline
Épuration biologique
des eaux (1993)



4.5 Boues activ.: dimensionnement

■ Types

– $K^* =$

0,15

à

0,86

L/mg/h

F. Edeline
Épuration
biologique
des eaux
(1993)

| Charge | Degré d'épuration obtenu | Ch. org kg DBO ₅ /m ³ j | Ch. des boues des activées kg DBO ₅ /kg B.j | Durée de séjour h ou j | OC/ charge kg O ₂ par kg DBO ₅ | Air m ³ par kg DBO ₅ | Energie kWh par kg DBO ₅ | Product. de boue kg B/ kg DBO ₅ éliminé |
|-------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Très faible | Minéralisation totale = Fossé d'oxydation Pasveer | 0,18 | 0,05 | 1-5 j | 2 | > 45 | 0,42 | ≤ 0,30 |
| Faible | complète + nitrifi- cation partielle | 0,7 | 0,2 | 5 h | 1,3-1,5 | 29-33 | 0,46-0,52 | ≅ 0,75 |
| Moyenne | complète, avec DBO ₅ résiduelle de ≅ 25 | 1,8 | 0,5 | 2 h | 0,7-1,1 | 16-24 | 0,25-0,38 | ≅ 0,9 |
| Forte | complète avec DBO ₅ résiduelle de ≅ 40 | 3,6 | 1,0 | 1,3 h | 0,6-0,8 | 13-18 | 0,21-0,28 | 1,2 |
| Très forte | complète avec DBO ₅ résiduelle de ≅ 80 | 7,2 | 2,0 | 0,7 h | 0,3-0,6 | 7-13 | 0,11-0,21 | ≥ 1,4 |

(D'après WLB 12 (1968), R. Köhler).

OC = « Oxygenation Capacity ».

BA = Matières en suspension (sec).



4.6 Traitement biol. aérobie: cultures mixtes

■ Principe

- Bactéries libres et bactéries fixées sur granulés ou grillage

■ Avantages

- Pas besoin de lavage (décolmatage), concentration élevée en bactéries

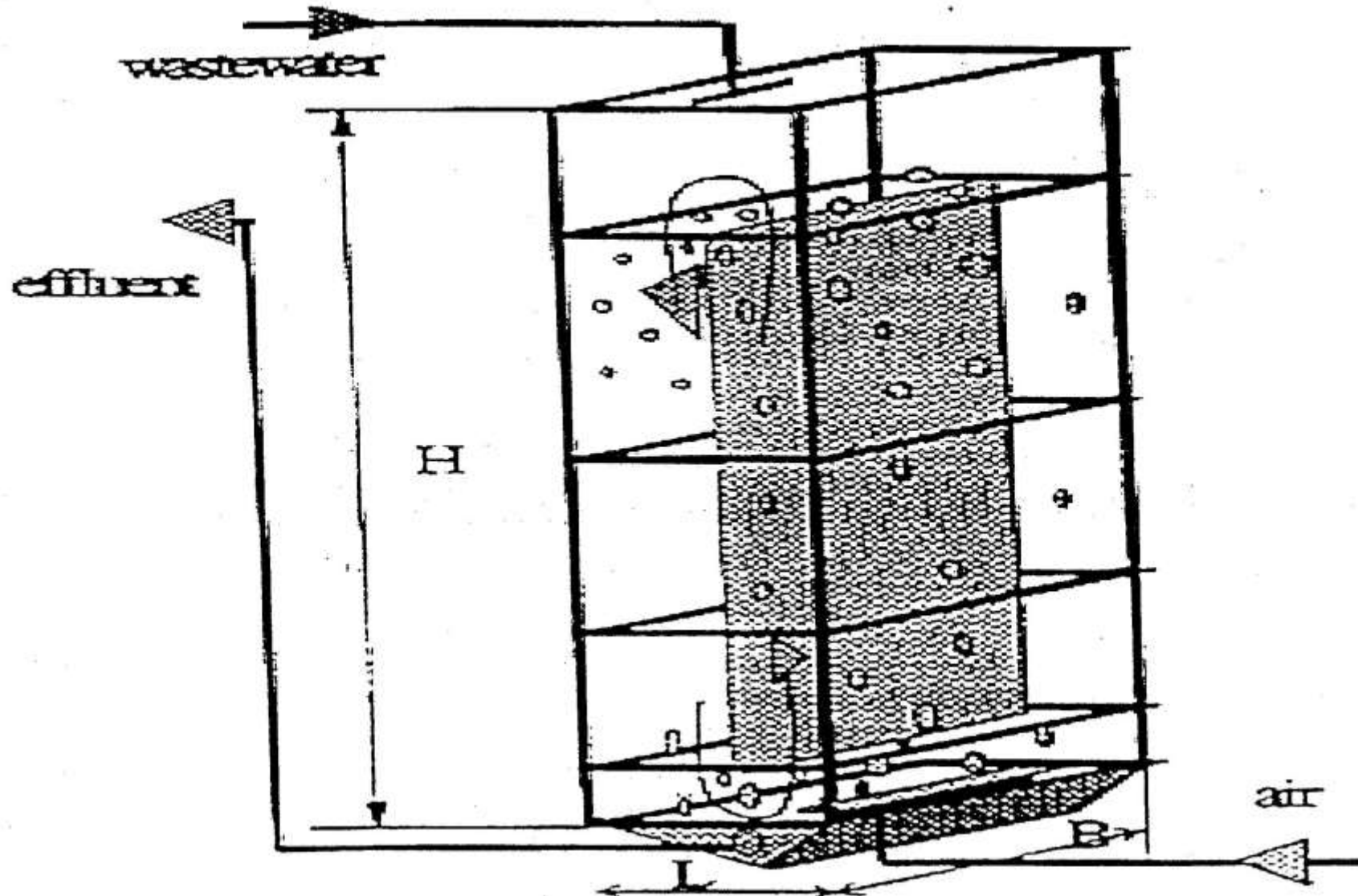
■ Inconvénients

- Pas de filtration, support nécessaire

■ Technique

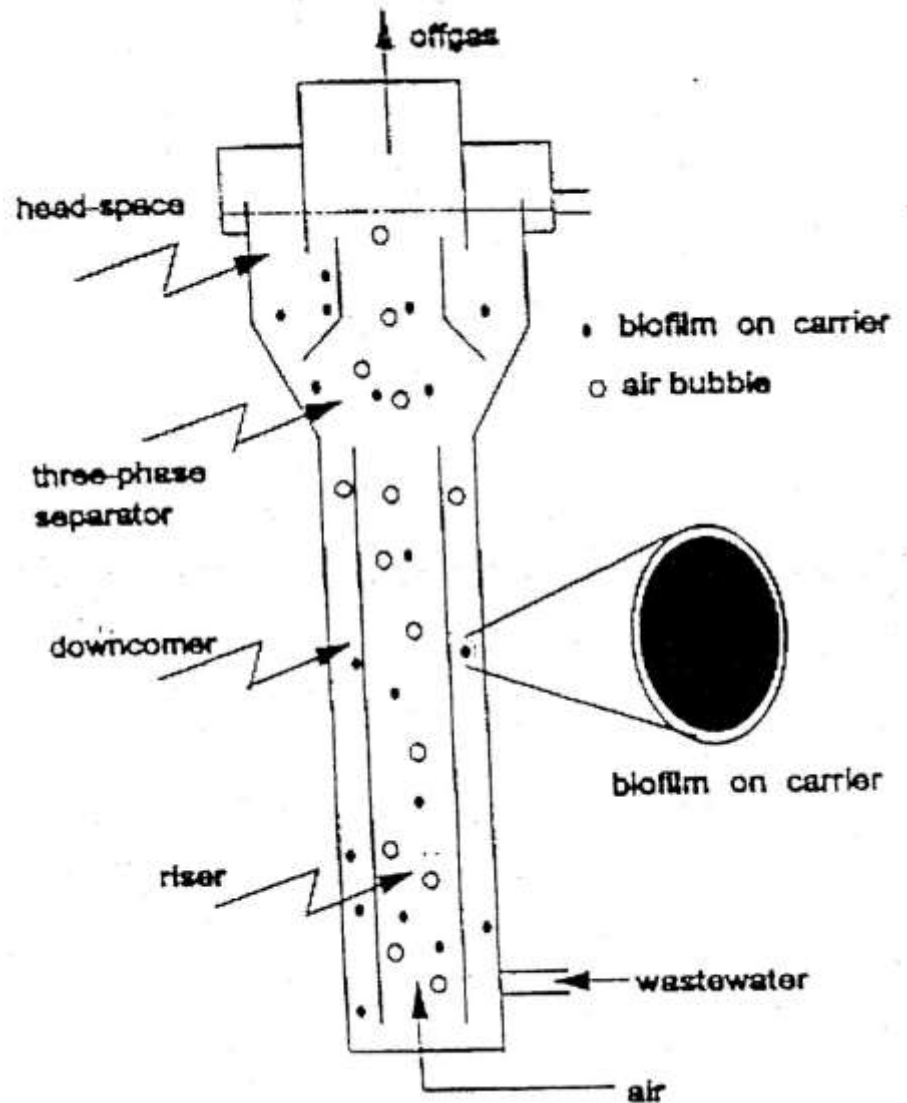
- « Circulating bed reactor » (CBR): grillage vertical
- « Biofilm Airlift Suspension » (BAS): granulés + air

4.6 Cultures mixtes: CBR



4.6 Cultures mixtes: BAS

- **Biofilm Airlift Suspension (BAS): granulés + air**



4.6 Traitement biol. aérobic: conclusion

- Biodégradation aérobic facilitée
 - Pas de réactif (sauf oxygène !)
 - Pas de contamination
 - Mais boues adsorbent les micropolluants
 - Seule **dépense: aération**
 - Mais : mise en route et réglage **très lent**
 - Bien adapté à population stable
- ⇒ **procédé d'épuration le plus répandu !**



4- Traitement biologique aérobie

- Des questions ?

5- Traitement biologique anaérobique: introduction

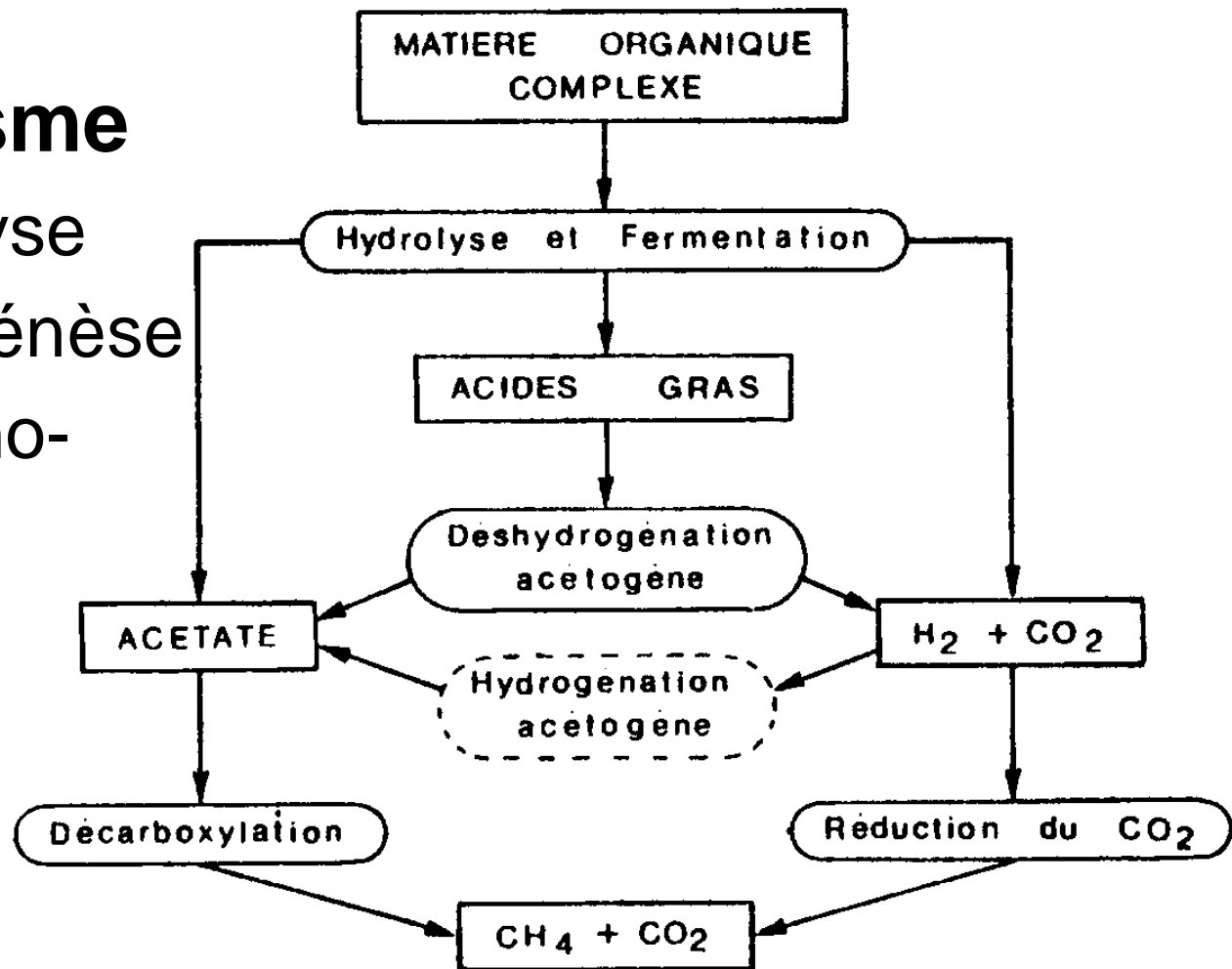
■ Introduction

- **Fermentation méthanique**: phénomène naturel dans les milieux anoxiques riches en matière organique ⇒ **gaz des marais**
- Utilisation « ancestrale » en Asie : déjections animales et humaines
- Permet de réduire la quantité de matière organique (1/3) et de produire du **méthane**
- Bactéries anaérobies à croissance très lente → **35°C**
- **Biogaz: méthane** (65-70%) → énergie thermique

5- Traitement biologique anaérobie

■ Mécanisme

- Hydrolyse
- Acidogénèse
- Méthano-génèse

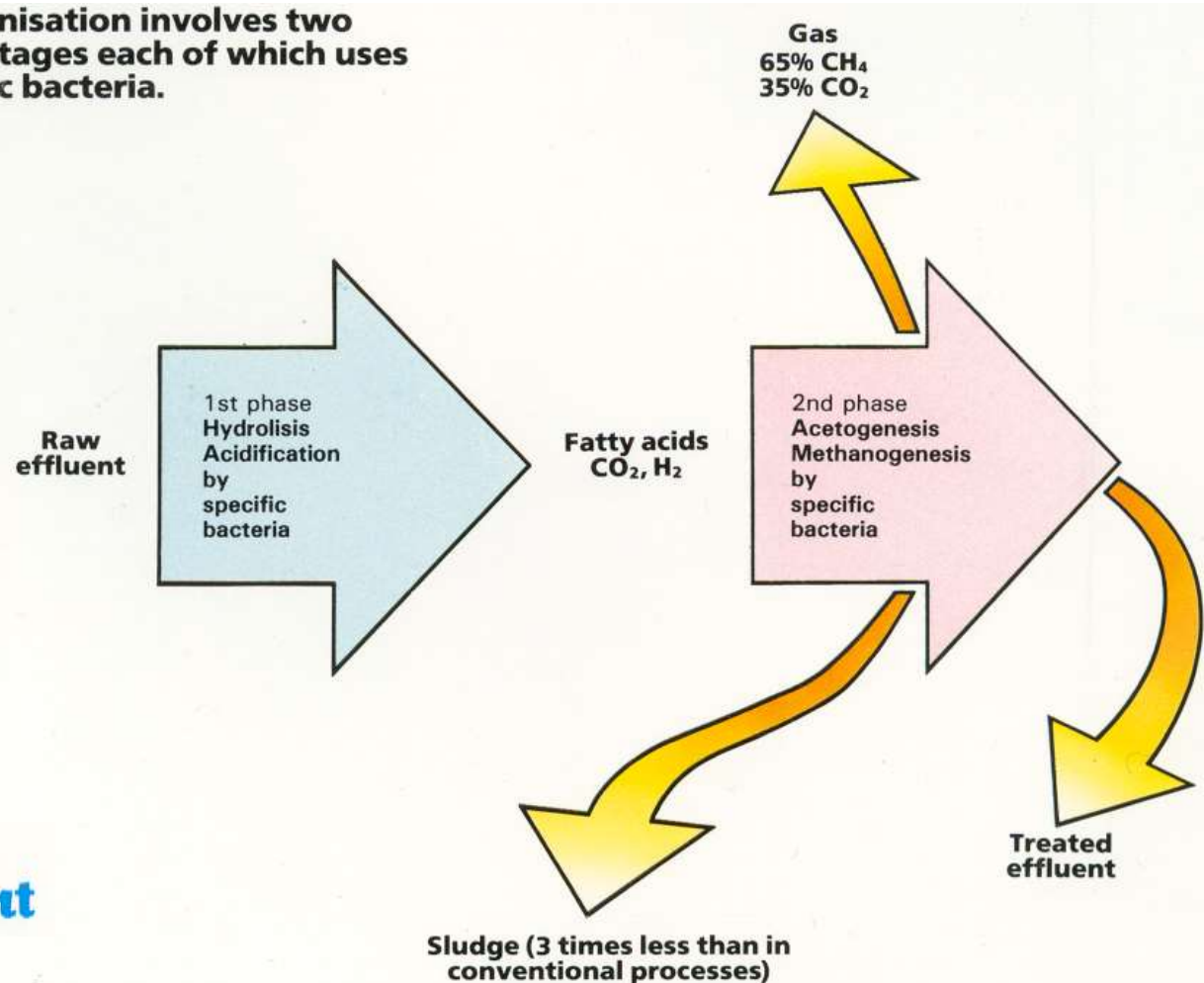


F. Edeline,
Épuration
biologique
des eaux
(1993)

5- Traitement anaérobie

■ Processus de digestion anaérobie

Methanisation involves two main stages each of which uses specific bacteria.



5- Traitement anaérobie

- **Techniques de digestion anaérobie**
 - Réacteur fermé: pas d'oxygène
 - Culture bactérienne
 - Libre: suspension (recirculation biogaz) ou fixe
 - Fixée: biofiltre (lit fixe) ou lit fluidisé (recirculation)
 - Recirculation des boues: décanteur associé
 - Parfois: hydrolyseur précède le digesteur
 - Optimisation des temps de séjour

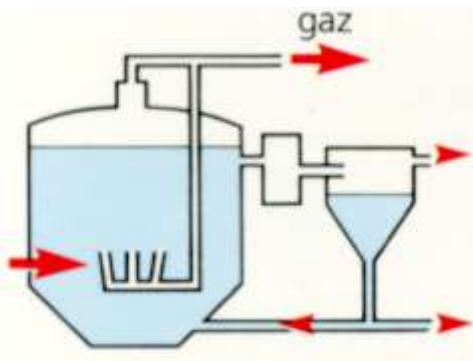
5- Traitement anaérobie

■ Technique: Culture libre



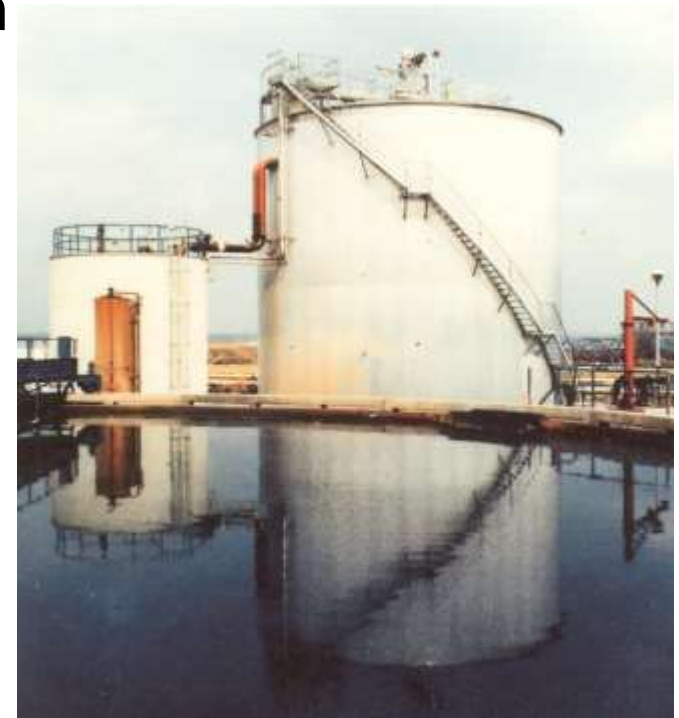
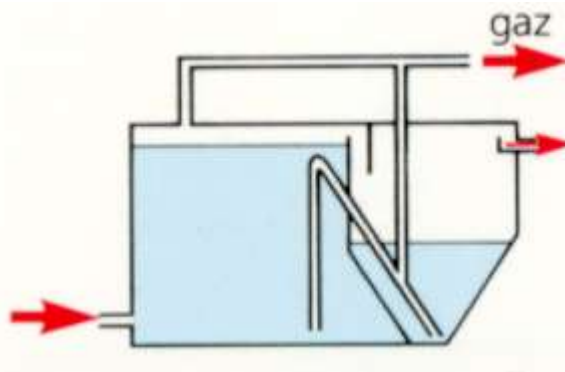
Culture en suspension

Südzucker, Offstein (D)



(recirculation
du biogaz)

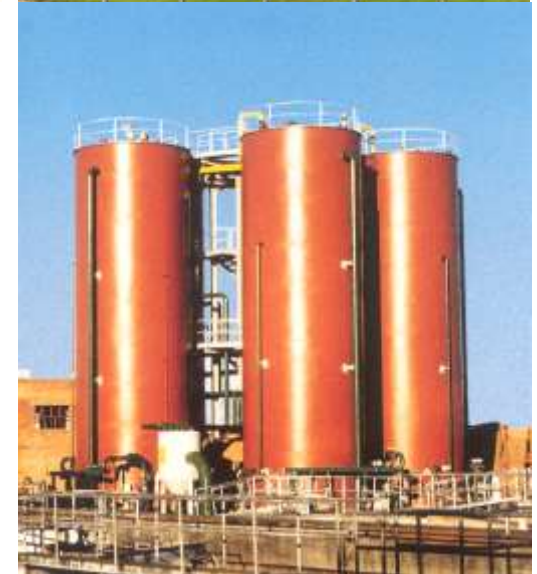
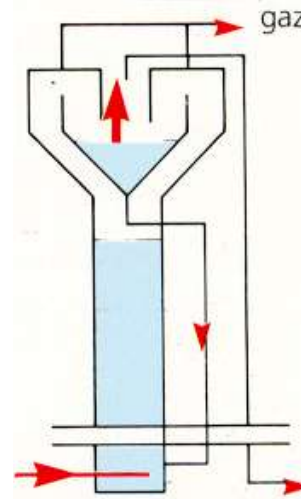
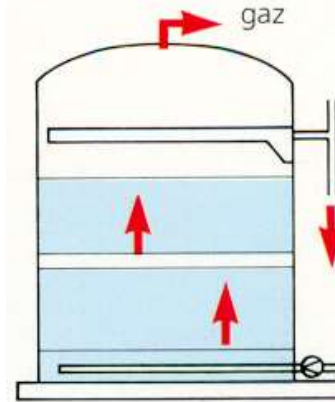
Lit de
boues



5- Traitement anaérobie

■ Technique: Culture fixée

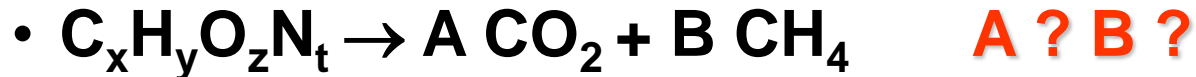
- Lit fixe
laiterie St Hubert
Magnières (F)
(ascendant)
- Lit fluidisé
El Aquila (SP)
(ascendant)



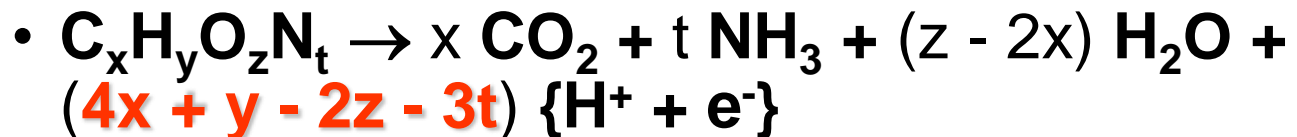
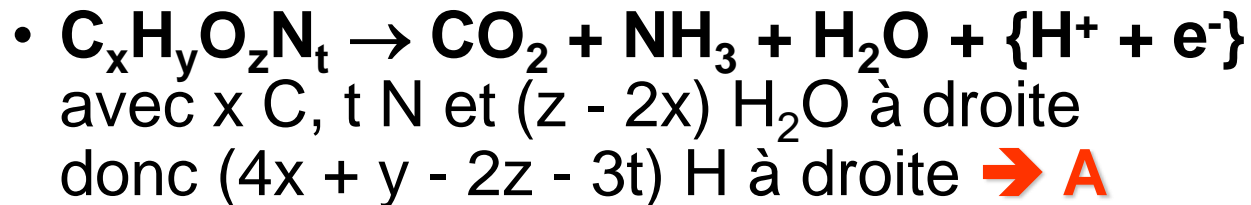
5- Traitement anaérobie

■ Méthanisation = dismutation redox

– **Dismutation** redox de la matière organique



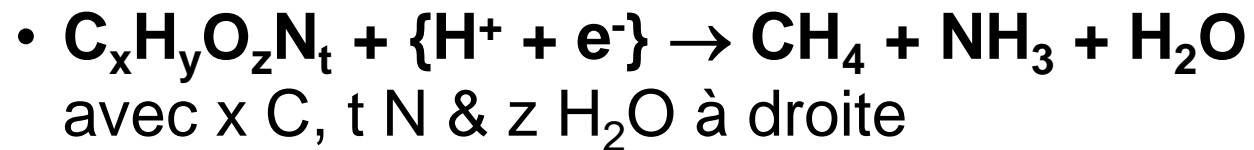
– **Oxydation** de la matière organique



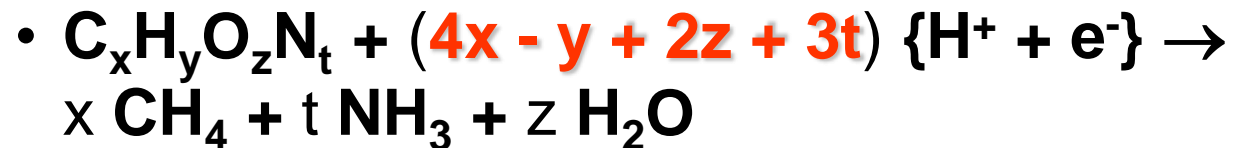
5- Traitement anaérobie

■ Méthanisation = dismutation redox

– Réduction de la matière organique



donc $(4x - y + 2z + 3t)$ H à gauche



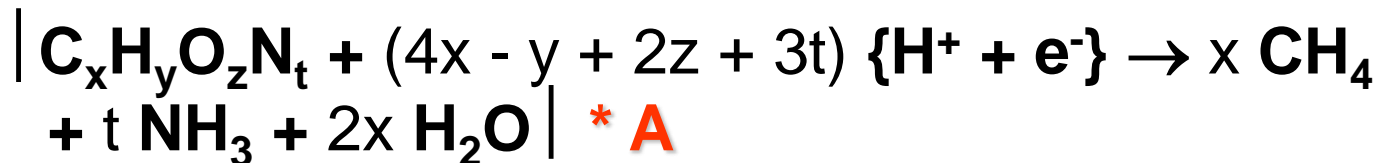
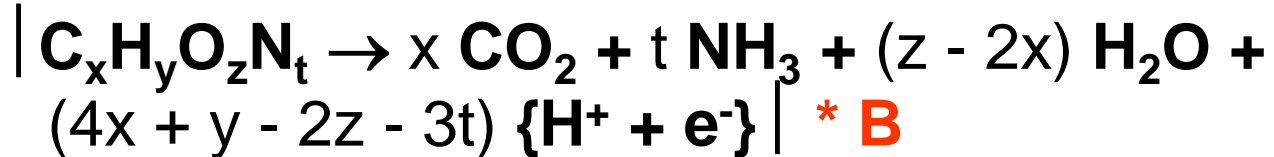
→ $B = 4x - y + 2z + 3t$

5- Traitement anaérobie

■ Méthanisation = dismutation redox

– Bilan redox global

- si **A** = $(4x + y - 2z - 3t)$ et **B** = $(4x - y + 2z + 3t)$



- **soit** $(A + B) \text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z\text{N}_t \rightarrow A x \text{CH}_4 + B x \text{CO}_2 + (A + B) t \text{NH}_3 + \{A z + B (z - 2x)\} \text{H}_2\text{O}$
- **avec** $A + B = 8 x$

5- Traitement anaérobie

■ Méthanisation = dismutation redox

– Exploitation

- **Composition du biogaz** (nb moles ou volume)
$$\frac{CH_4}{CO_2} = \frac{4x + y - 2z - 3t}{4x - y + 2z + 3t}$$

– Exemple du glucose $C_6H_{12}O_6$: $CH_4/CO_2 = 24/24 = 1$
soit **50% de méthane dans le biogaz**

– En pratique: **60-70 % méthane**

- **Volume** de méthane (L) / g de $C_xH_yO_zN_t$
$$V_{CH_4} = (22,4/8) (4x+y-2z-3t) / (12x+y+16z+14t)$$

$$V_{CH_4} (L/g) = 2,8 (4x+y-2z-3t) / (12x+y+16z+14t)$$

– Exemple: glucose $V_{CH_4} = 2,8 \times 24 / 180 = \mathbf{0,37 L/g}$

5- Traitement anaérobie

■ Conclusions: que retenir ?

- Long temps de séjour des eaux: 12 à 42 j
- Performances: adapté aux effluents chargés
 - Cultures libres 1-2 kg DCO / m³ /j
 - Cultures fixes
 - lit fixe 10-32 kg DCO / m³/j
 - lit fluidisé 30-35 kg DCO / m³/j
- Domaines d'utilisation
 - Résidus solides: IAA, agriculture, ordures, algues
 - Effluents industriels liquides: **DCO > 1000 mg/L**
- Problèmes
 - Mise en route longue (mois) par croissance lente des bactéries, instabilité (pH)



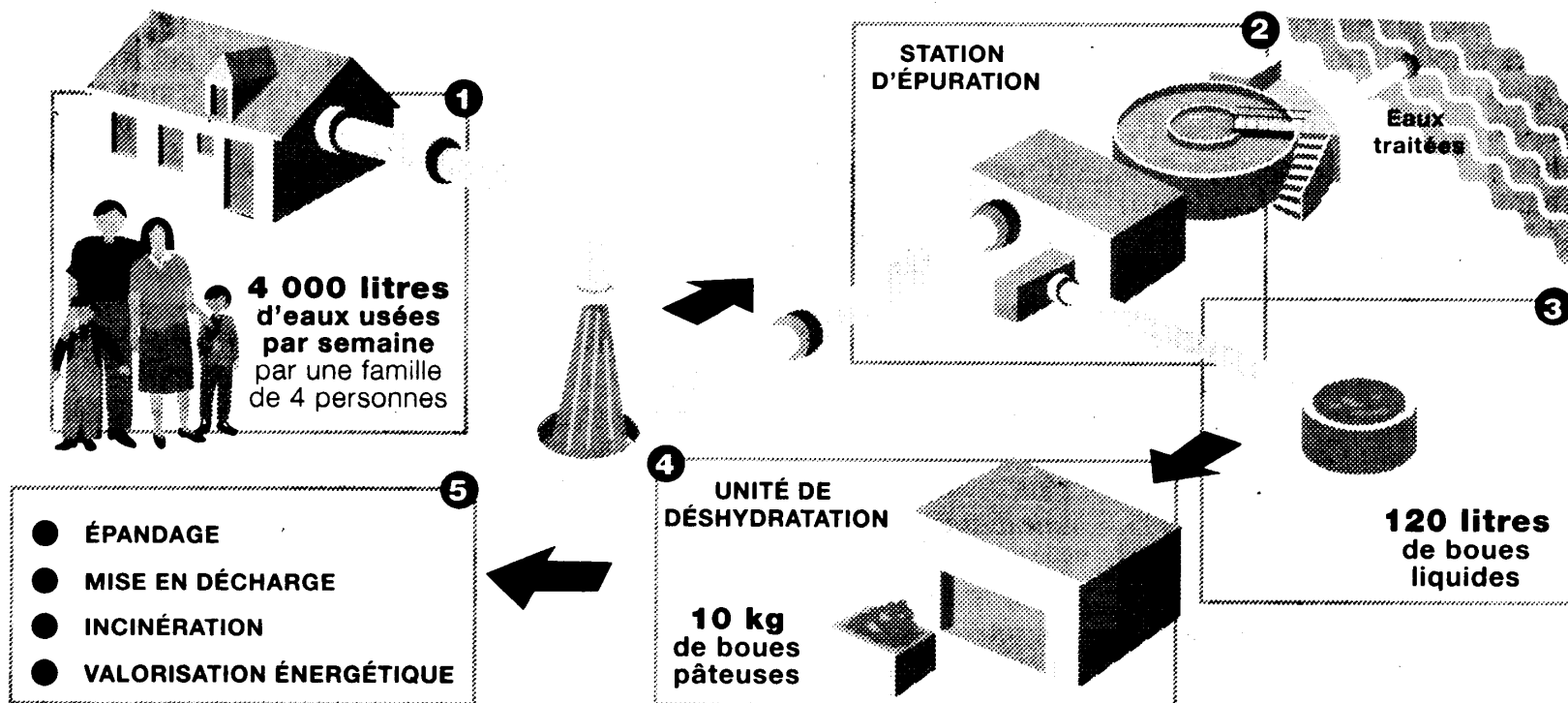
5- Traitement biologique anaérobie

- Des questions ?

6- Traitement des boues

■ Introduction: production de boues en station d'épuration

Le parcours classique des eaux usées



Source : Lyonnaise des eaux



6- Traitement des boues

- **Quels problèmes posés par ces boues?**
 - Liquides
 - Fermentescibles
 - Génération d'odeurs
 - Porteurs de germes pathogènes
- **Objectifs du traitement**
 - Stabilisation: réduction de leur fermentation
 - Réduction de leur volume: filtration, séchage
 - Valorisation agricole ou environnementale

6- Traitement des boues

■ Boues

- Décantation primaire: 50-60 g/L
- Décantation secondaire: 5-10 g/L

■ Digestion aérobie ou anaérobie

- Aérobie \Rightarrow moins de boues à traiter
- Anaérobie \Rightarrow moins de boues, biogaz

■ Stabilisation

- Chimique: coagulation (addition Al^{3+} ou Fe^{3+}) & décantation
- Thermique: cuisson à 150-200°C (sous pression) pendant 30-60 min

6- Traitement des boues

■ Diminution de volume

- Séchage: naturel (lits pendant 3-6 semaines)
- Epaissement: décantation, flottation, centrifugation
- Filtration: à bande presseuse (continu), à plateaux, sous vide
- Incinération après séchage: 750 à 900°C → cendres
 - ex: STEP Seine centre (Colombes), Pierre-Bénite (Lyon)

■ Valorisation

- Épandage liquide en champ
- Compostage avec déchets organiques (bois, paille, ordures ménagères)
- Mise en décharge contrôlée: interdite, sauf pour déchets « ultimes »

6- Traitement des boues

- **Lits de séchage: cas de l'usine de Méry sur Oise (production eau potable SEDIF)**
 - 2500 m²
 - Boues de traitement de coagulation (Al) et filtration



6- Traitement des boues

■ Procédés de séchage thermique

- *Hydroplus (2004) 146, 28-37*
- Direct ou par convection
 - Tambours ou bandes \Rightarrow 90% siccité + grand volume de fumées \Rightarrow grosses STEP
- Indirect ou par conduction
 - Couches minces, disques, plateaux, conteneurs... \Rightarrow 60 ou 90% siccité + faible volume de fumées + brassage des boues nécessaire
- Mixte
 - Couche mince turbulente \Rightarrow 60 à 90% siccité + faible temps de séjour + capacité limitée (< 4 t/j)
- Solaire
 - Serre + retournement des boues \Rightarrow 50 à 85% siccité + surface importante + atmosphère dans serre (NH_3)

6- Traitement des boues

■ Filières de traitement et siccité

– *Hydroplus (2004) 146, 28-37*

| Traitement | Siccité | Commentaires |
|---------------------------|---------|----------------------------|
| Epandage | 90% | Stabilisation nécessaire |
| Incinération | 28-45% | Dépend du four utilisé |
| Incinération avec ordures | 60-65% | Parfois 90% nécessaire |
| Cimenterie | 92% | Filière émergente |
| Décharge | > 30% | 70-80% pour limiter volume |

6. Mise en dépôt (enfouissement)

- Déchets « ultimes » seulement
 - Imperméabilisation & contrôles réguliers



Travaux de rénovation d'un centre de stockage.

Ademe, 2003

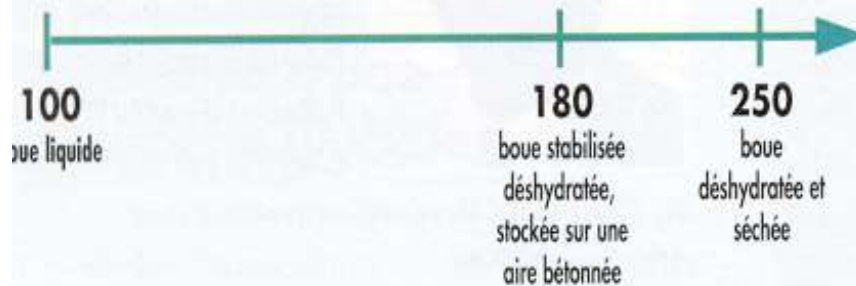
6- Traitement des boues

■ Coûts comparés

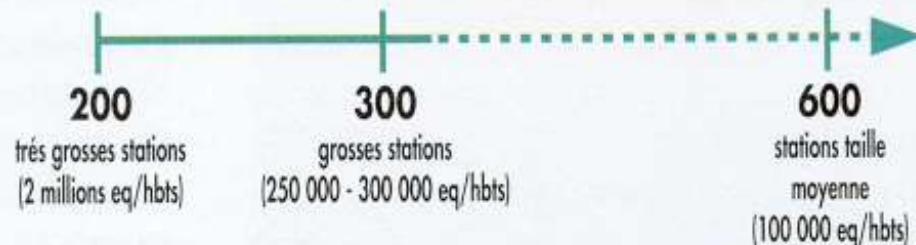
En 2001: \approx **300 € / t m.s.**



Valorisation agricole



En 2001: \approx **400 € / t m.s.** Incinération

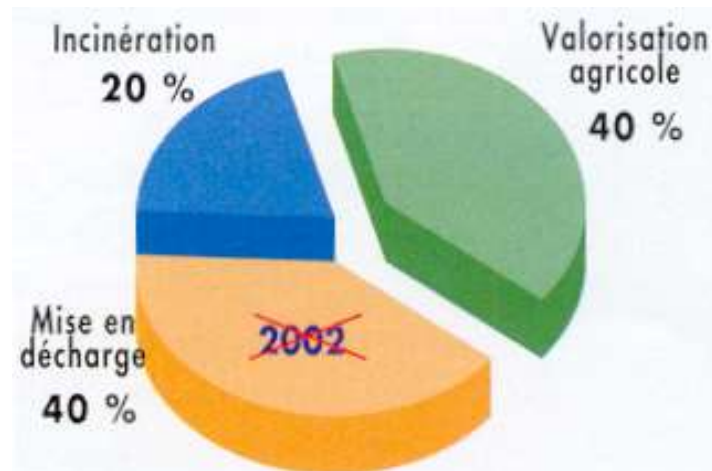




Points Sciences et
Techniques, 5, 1994

6- Traitement des boues

■ Europe des boues

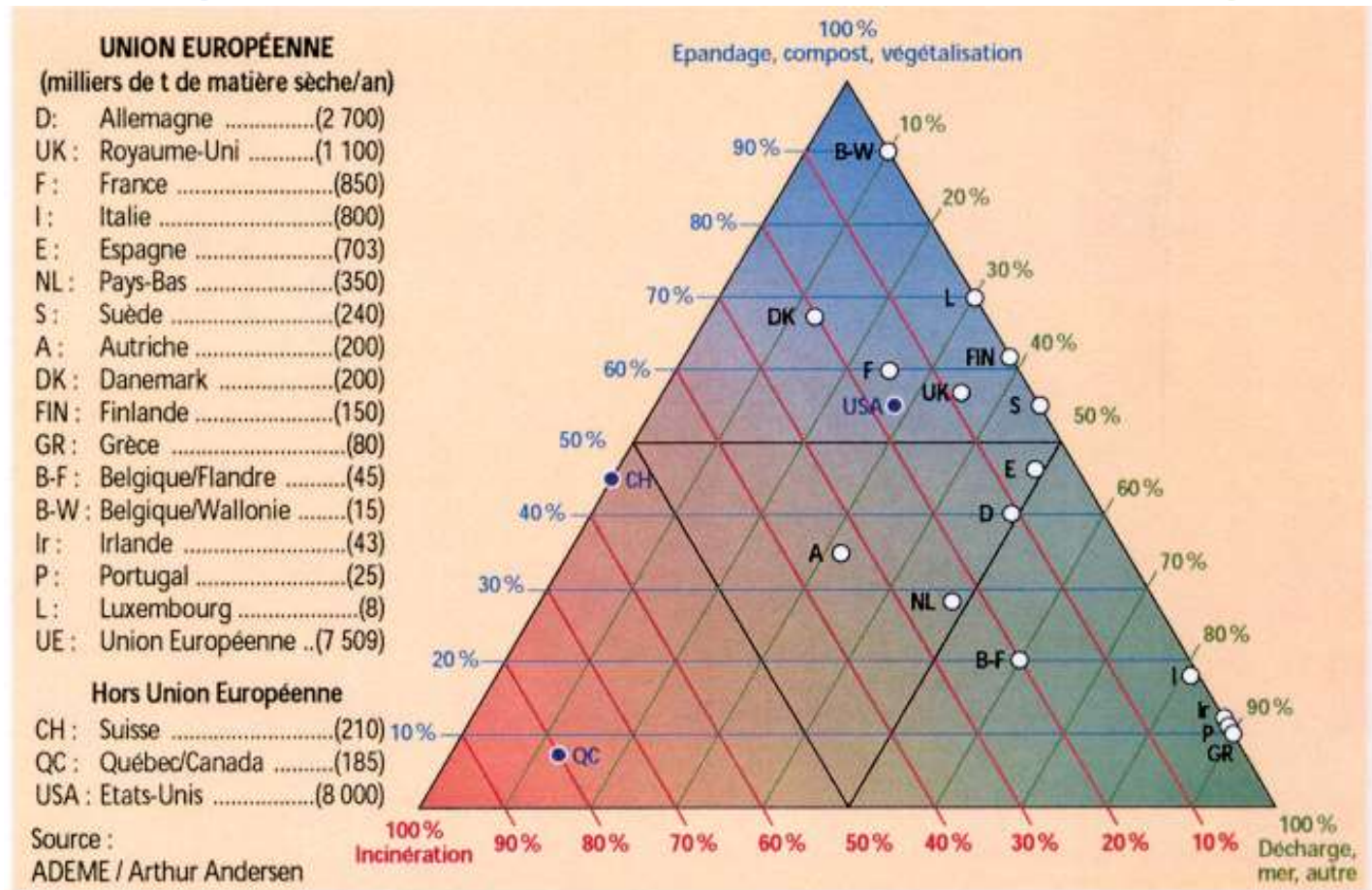
- France 1999 :
850.000 t m.s./an
60 % épandage



| |  Allemagne |  Royaume-Uni |  Belgique |  Danemark |  Espagne |  France |  Grèce |  Irlande |  Italie |  Luxembourg |  Pays-Bas |  Portugal | Moyenne (%) |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Décharge | 65 | 19 | 50 | 27 | 50 | 40 | 90 | 34 | 55 | 18 | 37 | 28 | 43,48 |
| Agriculture | 25 | 46 | 28 | 37 | 10 | 40 | 10 | 23 | 34 | 81 | 26 | 11 | 30,08 |
| Incinération | 10 | 10 | 22 | 28 | 10 | 20 | | | 11 | | 4 | | 13,75 |
| Rejet en mer | | 30 | | 8 | 30 | | | 43 | | | 33 | 61 | 34,17 |
| Production (x 1000 t/an) | 2.500 | 1.075 | 35 | 130 | 300 | 700 | 200 | 23 | 800 | 15 | 280 | 25 | |

6- Traitement des boues

■ Épandage, incinération ou décharge



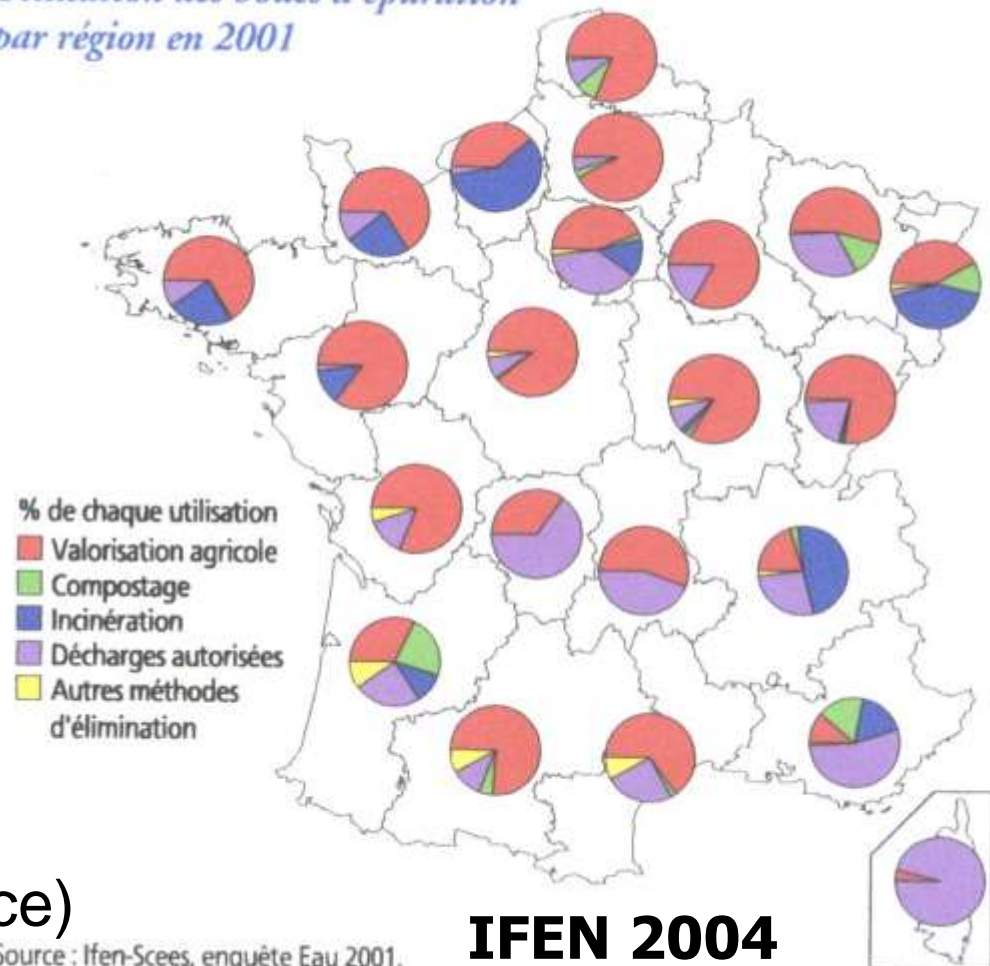
IFEN
2001

6- Traitement des boues

■ Utilisation des boues de STEP (2001)

- 976.700 t m.s.
- 50% **valorisation agricole** (98: 62%)
- 6% **compost**
- 24% **décharges contrôlées** (Corse, PACA, Limousin): déchets ultimes ? (1/7/2002)
- 17% **incinérées** (Haute Normandie, Rhône-Alpes, Alsace)

Utilisation des boues d'épuration par région en 2001



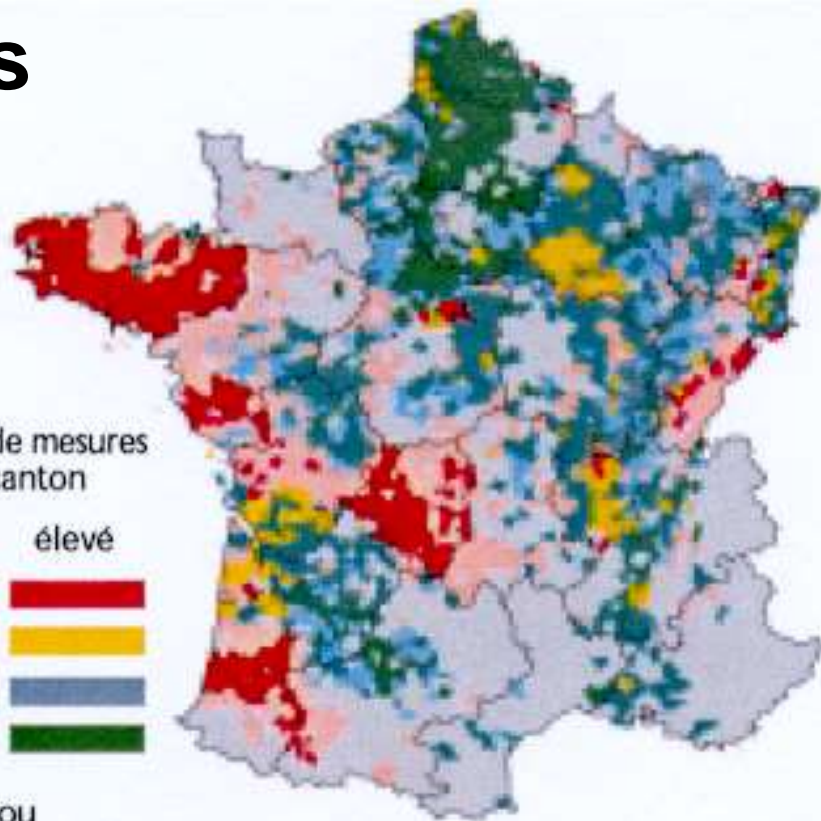
6- Traitement des boues

■ Acceptabilité des épandages

- Eviter sols
 - sablonneux
 - granitiques

**IFEN
2001**

Mesures de caractérisation des sols: incomplètes en 2001

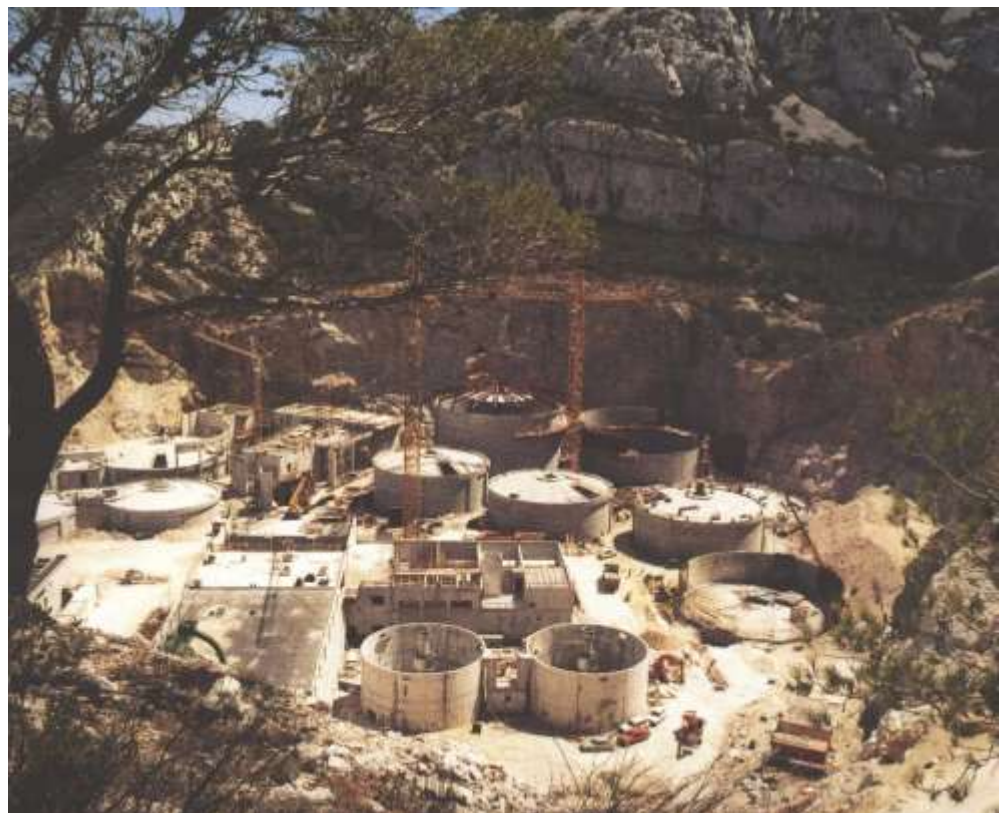


Sources : BDAT (MAP/DERF), traitement ISA-Lille

6- Traitement des boues

■ Marseille

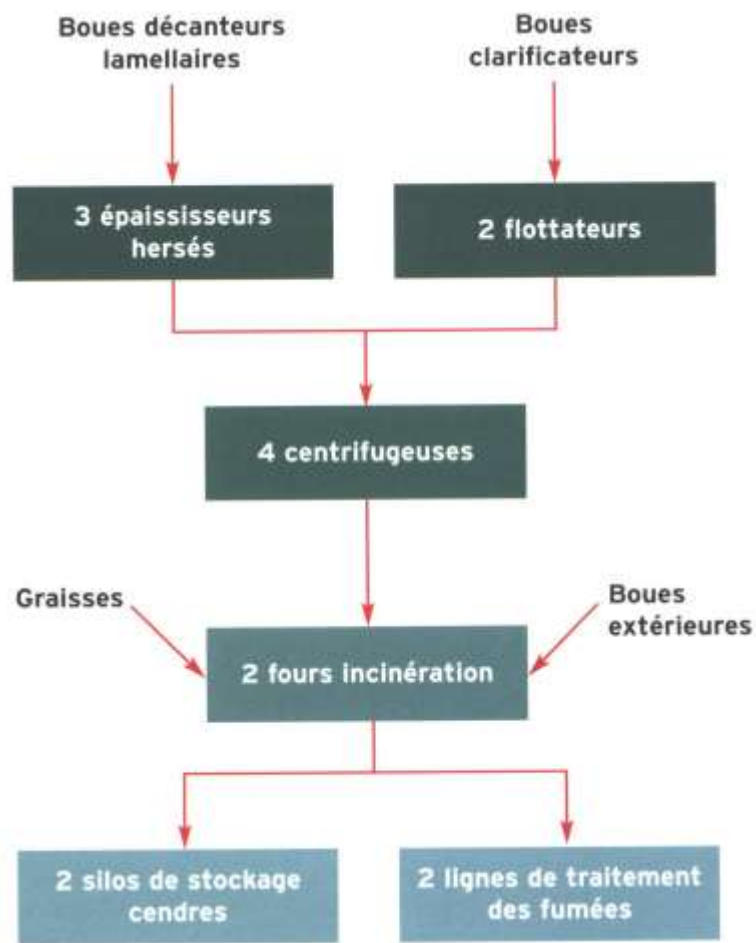
- 3.000 m³/j
- Épaississement
- **Digestion**
anaérobie (35°C)
- Aération boues
- Épaississement
- **Cuisson**: 190°C
30 min
- **Valorisation** en
sylviculture



6- Traitement des boues

■ Pierre Bénite (Lyon): 2004-2005

- Épaississeur ou flottateur
- Centrifugeuses
- Incinération
- Traitement des fumées



Pierre Bénite (Lyon)

■ Incinérateur: 2004



D. Thévenot
2004

Pierre Bénite (Lyon)

- **Traitement des fumées**



D. Thévenot
2004



6- Traitement des boues

■ Conclusion

- Un **poste clé** dans le dimensionnement des stations d'épuration
- **Amélioration** significative de la qualité des boues
 - Mise en place de traitements sur site industriel
 - Chasse aux rejets de toxiques
- Évolution de l'état d'esprit du **public**
 - Engrais « gratuit » pour épandage tous les 5-10 ans
 - Sécurité alimentaire
 - Surenchère des grandes surfaces et industriels de l'agroalimentaire



6- Traitement des boues

- Des questions ?

7- Traitement tertiaire

■ Introduction

- En STEP ou chez industriel (avant rejet en réseau d'assainissement)
- Biologique ou physico-chimique

■ Nitrification

- $\text{NH}_4^+ \Rightarrow \text{NO}_3^-$
- Biologique (aéré, culture libre ou fixée) ou physico-chimique (échange d'ions)

■ Dénitrification

- $\text{NO}_3^- \Rightarrow \text{N}_2$
- Biologique (anaérobie: réduction par MOOx) ou physico-chimique (échange d'ions)

7- Traitement tertiaire

■ Déphosphatation

- Accumulation dans les boues
- Biologique (alternance aéré-anaérobie) ou physico-chimique (addition Fe^{3+} ou Al^{3+} comme coagulation-floculation)

■ Traitement des métaux lourds

- Précipitation en milieu basique (hydroxyde)
- Electrolyse sur feutre ou billes de C

■ Stérilisation des eaux

- Limité aux rejets proches des baignades
- ClO^- , O_3 , UV...

8- Procédés rustiques d'épuration

■ Introduction

- Utilisation de procédé « naturel »

■ Lagunage naturel

- Principe
 - aération libre
 - culture libre: algues, bactéries, roseaux
 - séjour long (semaines)
- Réalisation
- Type d'applications
 - rural: 100-1000 hab.

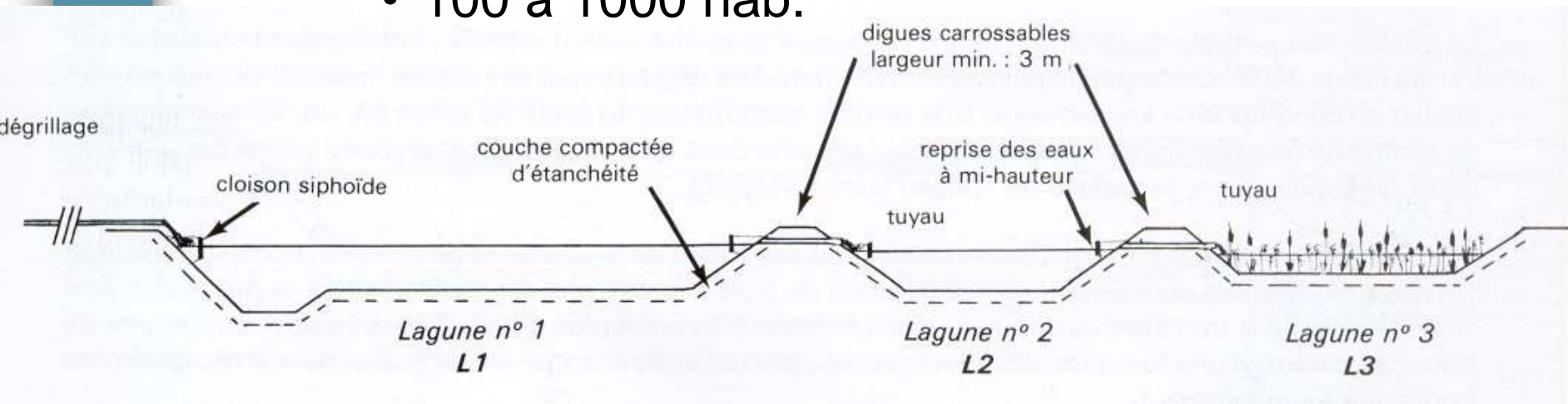


8- Lagunage naturel

- 3 bassins allongés, peu profonds (1m), reliés par des canalisations

– 15 m² / habitant

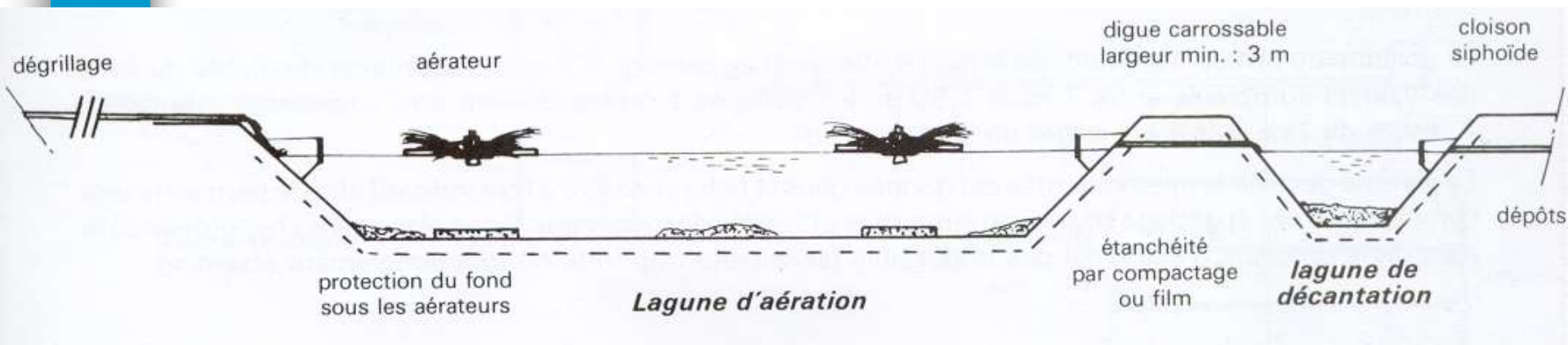
- Rustique extensif
- 100 à 1000 hab.



8- Lagunage aéré

- 2 bassins allongés
+ aération à turbines
– 3,5 m² / habitant

- Rustique extensif, lagune plus profonde (2,5 m)
- 300 à 2000 hab.



8- Lagunage aéré

- Station épuration Roscoff (1998)



D. Thévenot, Cereve, 1998



8- Procédés rustiques d'épuration

- Des questions ?

9- Assainissement autonome

■ Introduction

- Coût du réseau d'assainissement si habitat dispersé (env. 30% de la population : ↘)

■ Fosse et épandage souterrain

– Principe

- Fosse septique (3-5 m³) : hydrolyse, liquéfaction
- Sol bien aéré: biodégradation aérobie
- Drainage des eaux traitées par le sol

– Réalisation

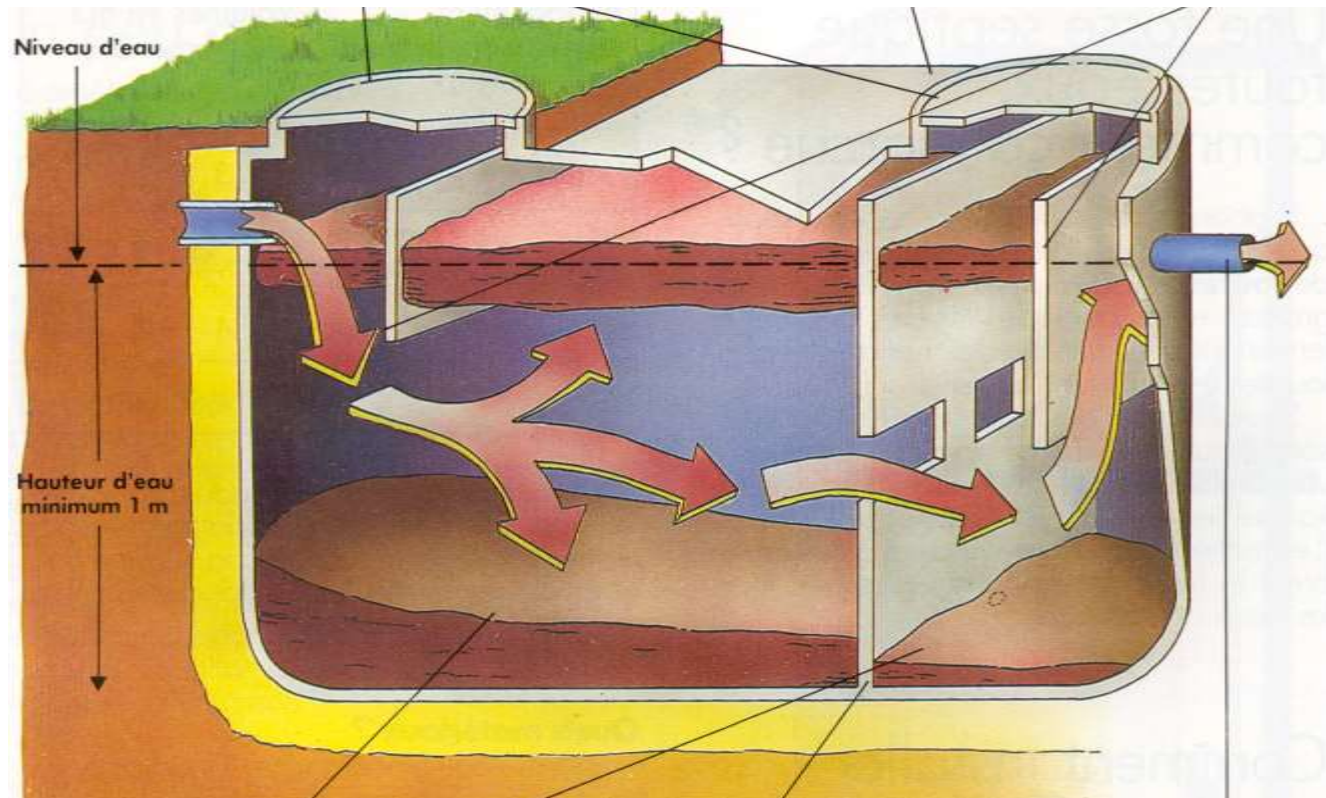
- Fosse septique + épandage de faible profondeur

– Type d'applications

- Habitations isolées (4-7 pièces)

9- Assainissement autonome

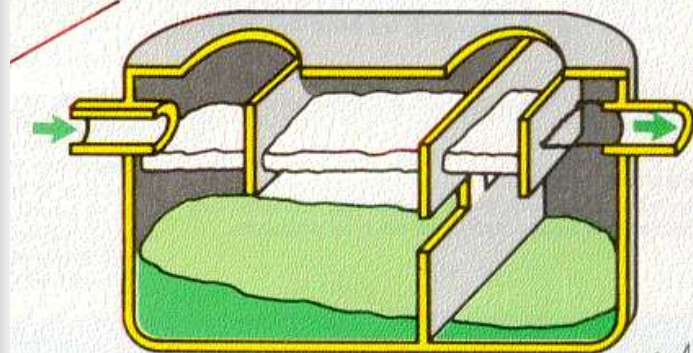
- Fosse septique toutes eaux
 - Eaux toilettes, WC et cuisine-lavage



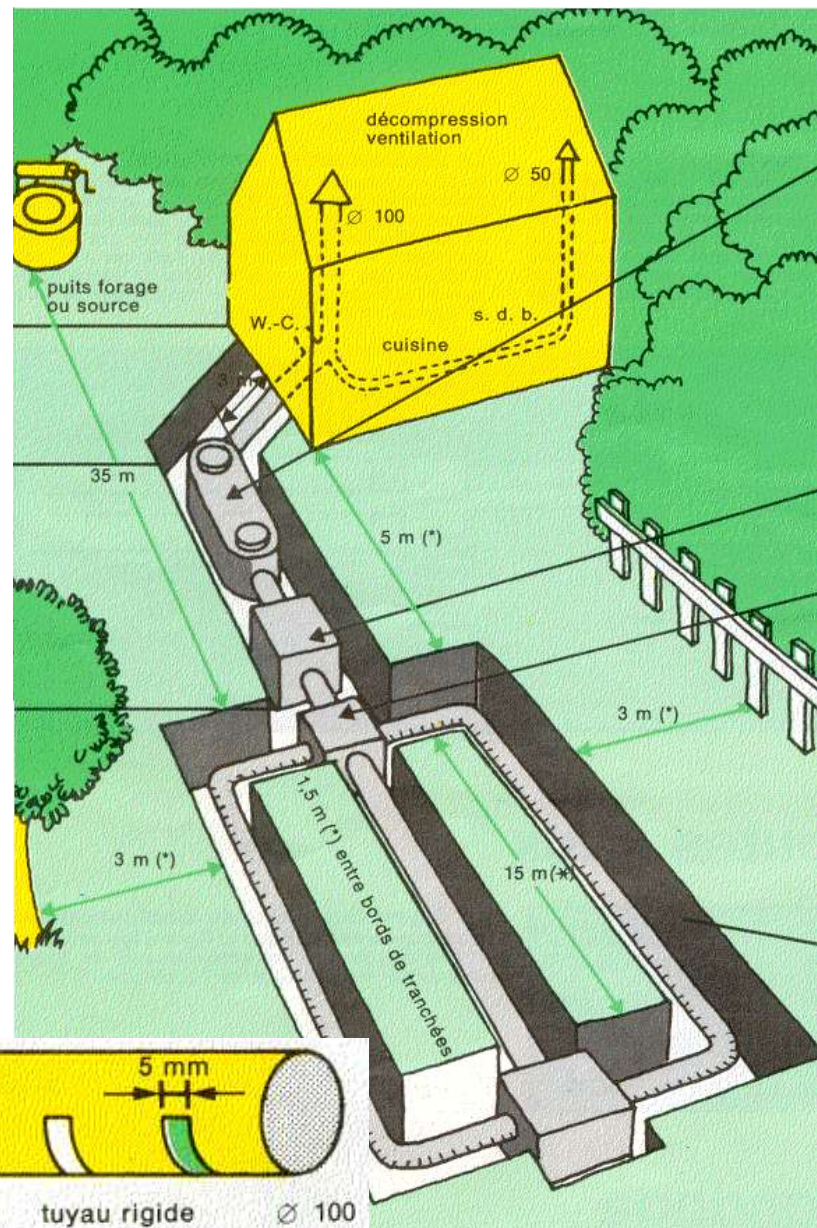
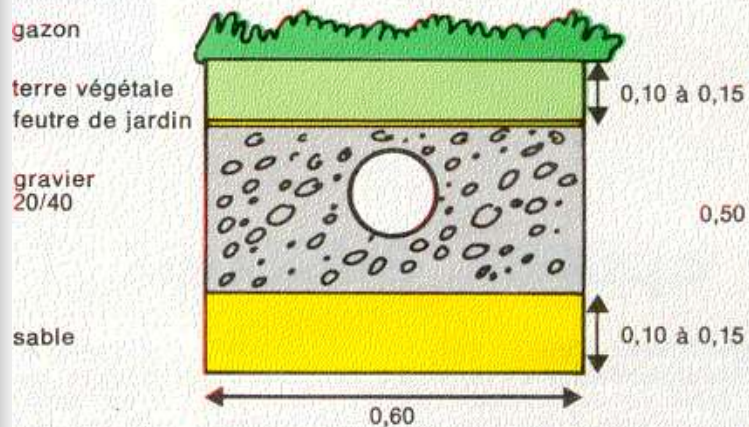
9- Assainissement autonome

■ Fosse & tranchées

Fosse septique toutes eaux



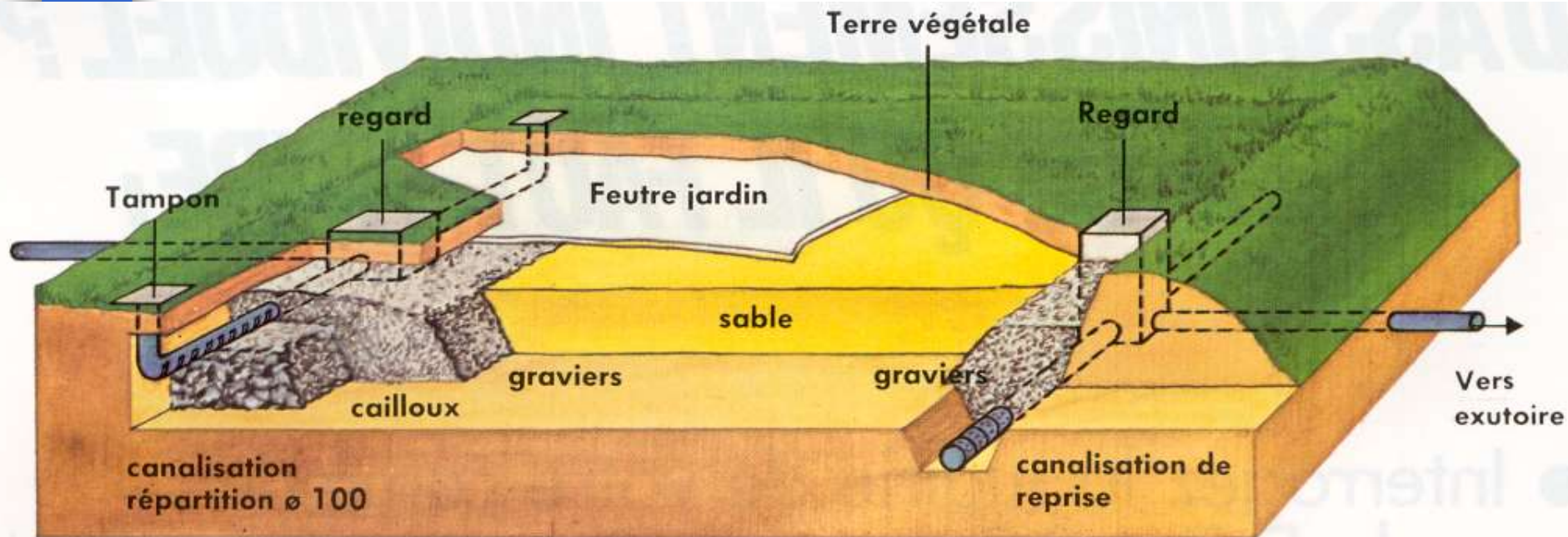
Tranchées



9- Assainissement autonome

■ Sol impropre à épandage

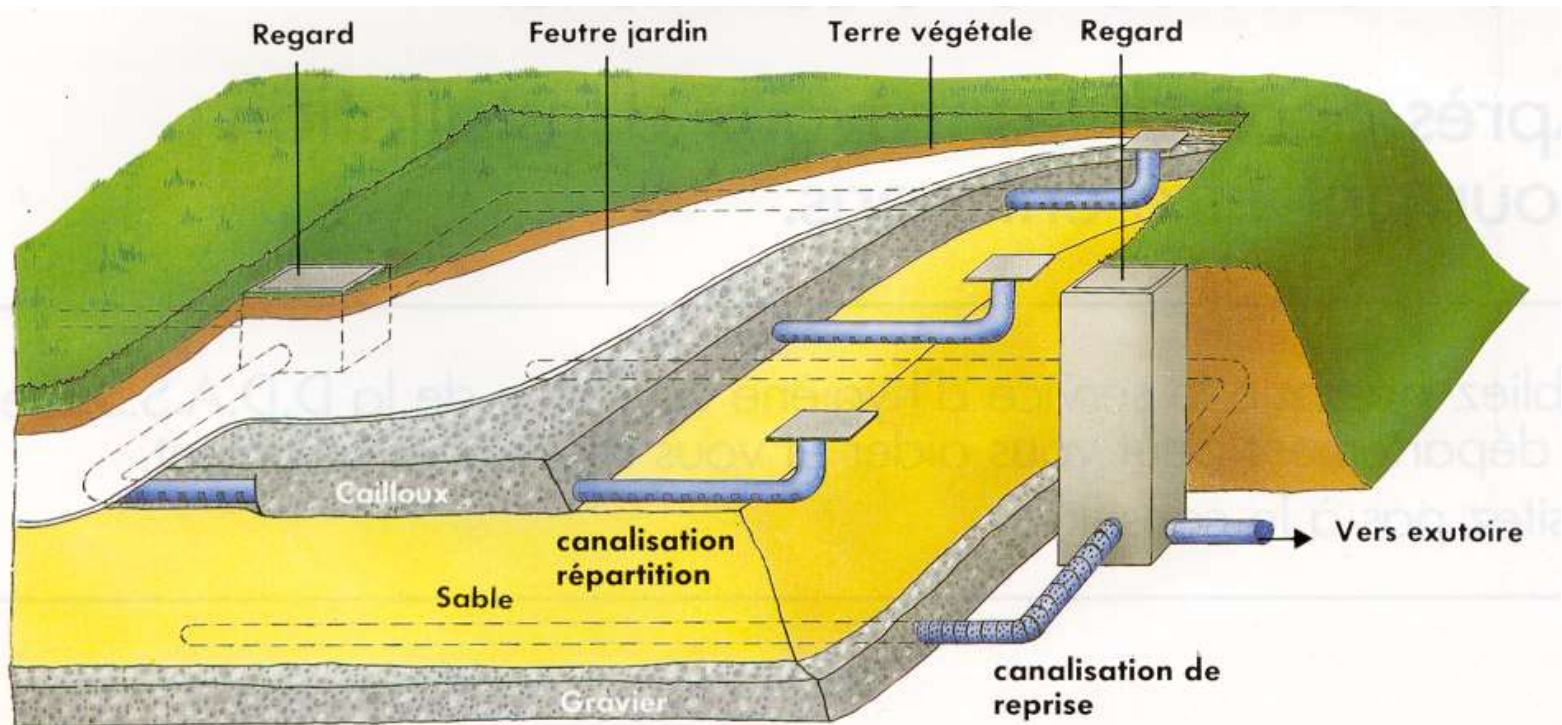
- Filtres à sable pour épandage de surface: filtre **horizontal**



9- Assainissement autonome

■ Sol impropre à épandage

- Filtres à sable pour épandage de surface: filtre **vertical**





9- Assainissement autonome

- Des questions ?

10- Conclusion

■ Recherche et développement

- Pays développés : compacité, automatisation
- Pays en développement : rusticité, réutilisation

■ Études de cas

- STEP région parisienne: Biologique
- STEP Seine Aval: Achères
- STEP Seine Centre: Colombes (urbain)
- STEP Toulon: cap Sicié (naturel)
- STEP de Pierre Bénite (Lyon): 2004-2005



10- STEP Seine aval

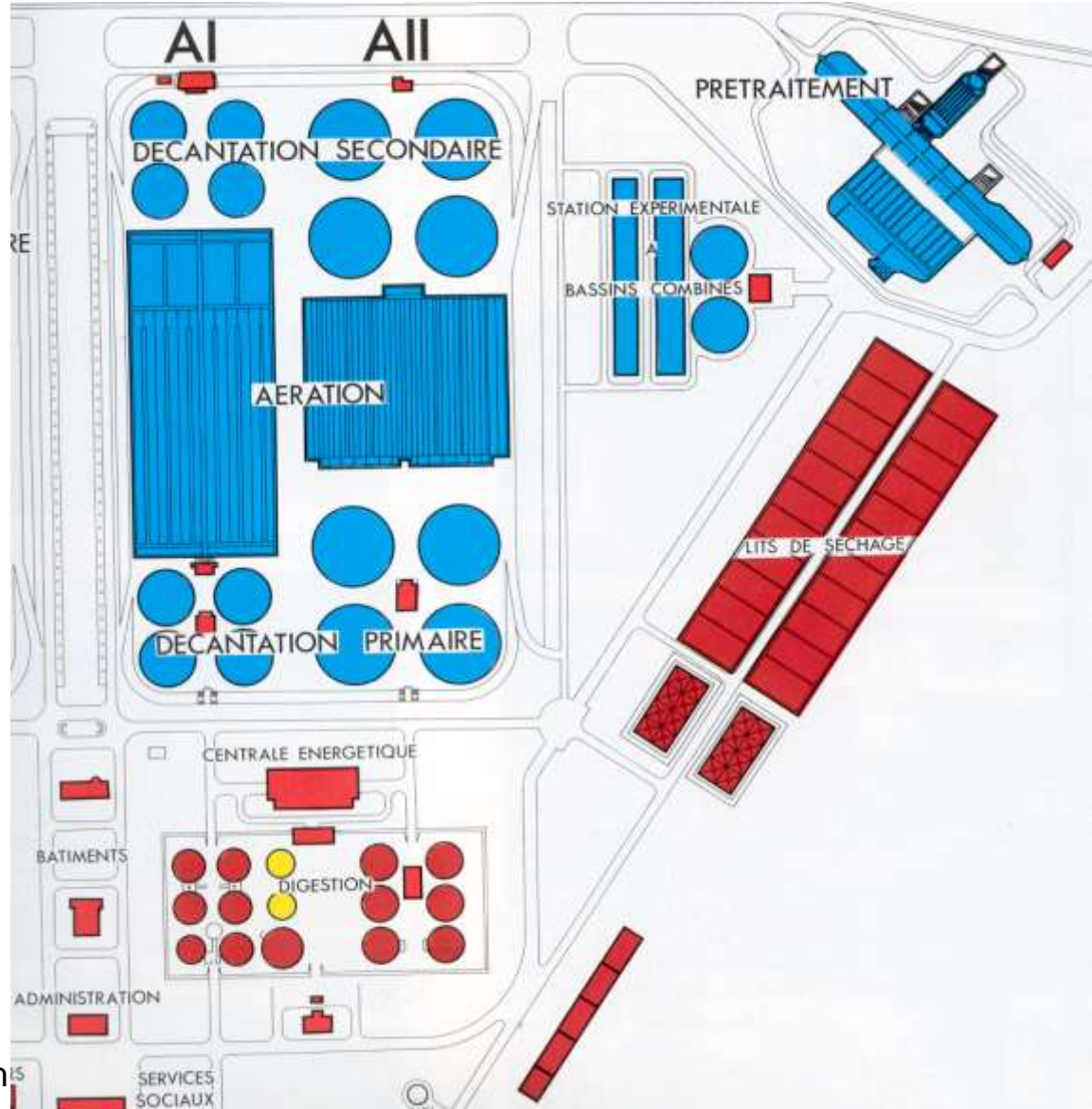
■ Achères IV

- Décanteurs primaires, secondaires



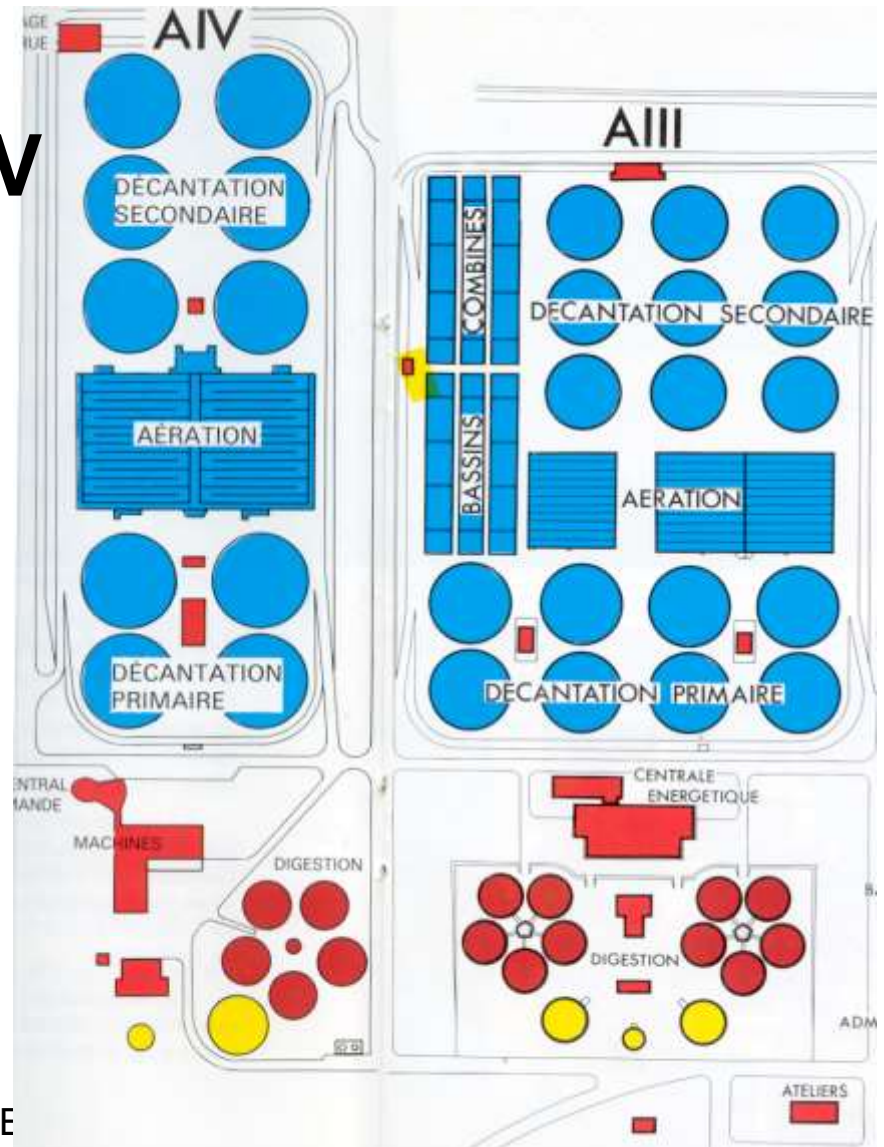
10- STEP Seine aval

■ Achères I & II



10- STEP Seine aval

■ Achères III & IV



10- STEP Seine aval

■ Evolution récente (2004)

- Temps sec: traitement tertiaire de déphosphatation (après boues activées) par addition Fe III
- Temps de pluie: traitement secondaire en parallèle (débit doublé)
 - Boues activées
 - Traitement chimique: coagulation, floculation...
- Mise en place de nitrification (2007)
 - Biofiltres BIOFOR (après déphosphatation)

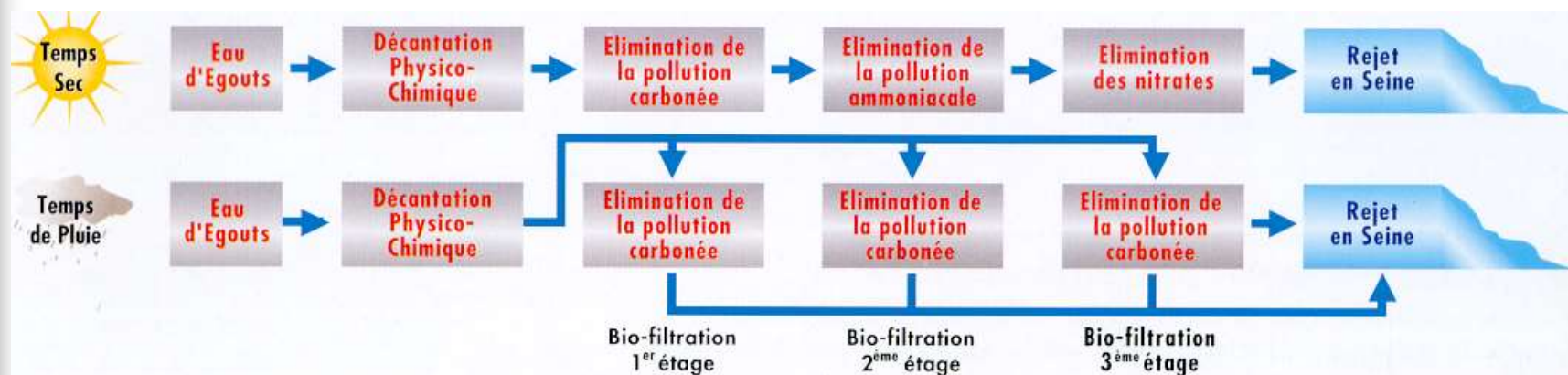
10- Seine Centre

- Colombes (construction en 1998)



10- Seine Centre

- **Temps sec : biofiltres en série**
 - 2,8 m³/s soit 240.000 m³/j
- **Temps de pluie: biofiltres en parallèle**
 - 12 m³/s pendant 8 h

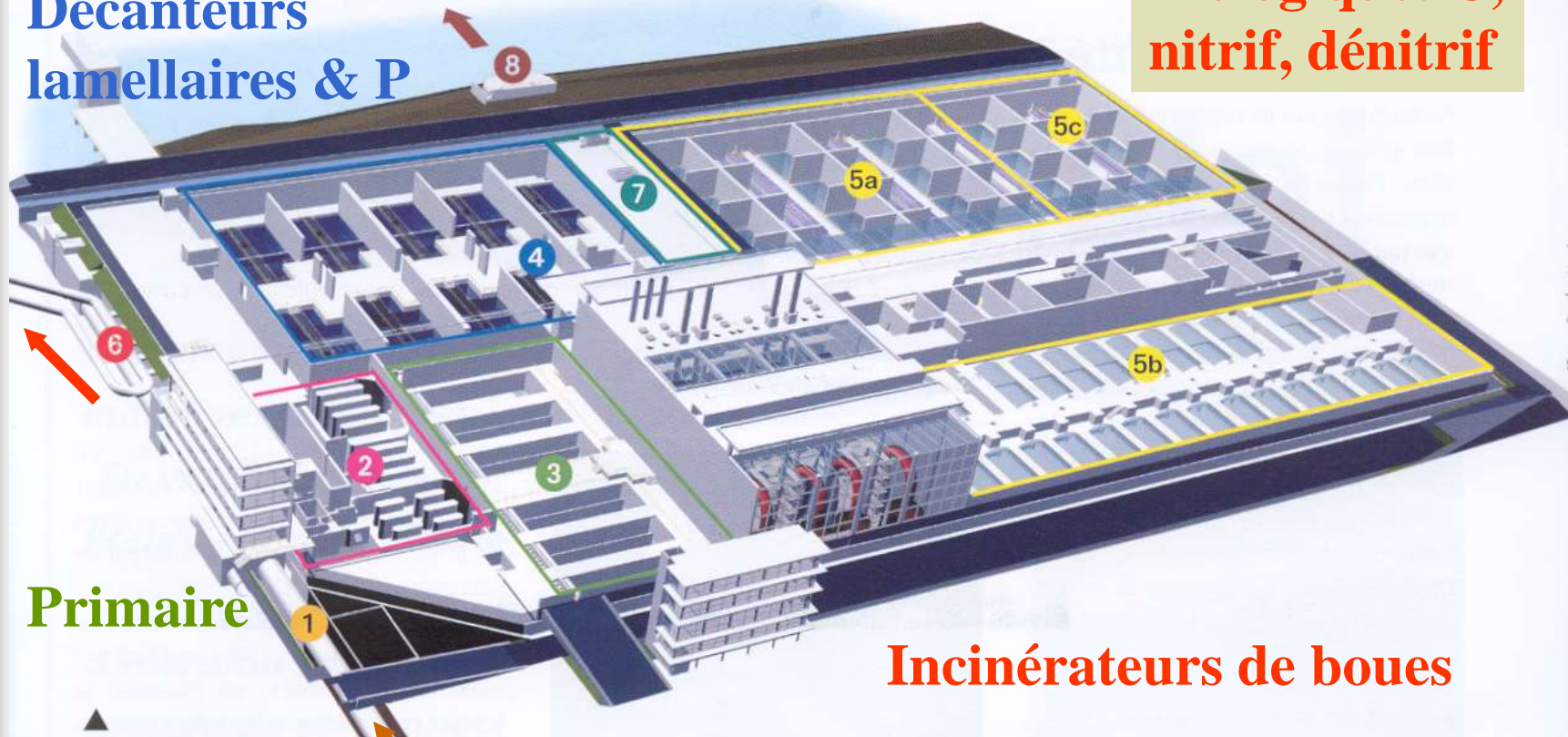


10- Seine Centre

■ Circuit eau

Décanteurs
lamellaires & P

Biologique: C,
nitrif, dénitrif



10- Stations d'épuration de Douai



Douai, Biofutur, 2/2003

10- STEP: Toulon



D. Thévenot, 2000

- **Implantée sous le cap Sicié**
 - **Totalement cachée**



10- STEP: Toulon

- Collecte de Toulon et environs
- Trait. chimique & filtre biologique



10- STEP: Pierre Bénite

- En cours de (re)construction: 2004-2005 au sud de Lyon
 - 6000.000 m³/j (pointe à 25.200 m³/h)
 - Vocation pédagogique: circulation publique





10- STEP: Pierre Bénite

■ Dégrillage (2)

- 6 cm entre barreaux * 3 m de large
- Débit maximal: 25.200 m³/h

■ Tamisage (5)

- 6 mm * 12 m de large
- Débit maximal: 5.000 m³/h

■ Dessablage - deshuilage associés (6)

- Taille des bassins: 5 x 30 m



10- STEP: Pierre Bénite

- **Décantation primaire lamellaire (6)**
 - Taille des bassins: 13 x 13 m
 - Surface: 3.000 m²
 - Temps sec: 12.600 m³/h ⇒ traitement biologique
 - Temps pluie: rejet dans Rhône sans traitement de l'excédent à 12.600 m³/h
- **Boues activées (4)**
 - 30.000 m³ de forme oblongue
 - Aérateurs de fond (1700)
 - Agitateurs à pales (8)

10- STEP: Pierre Bénite

- Bassin d'aération à boues activées



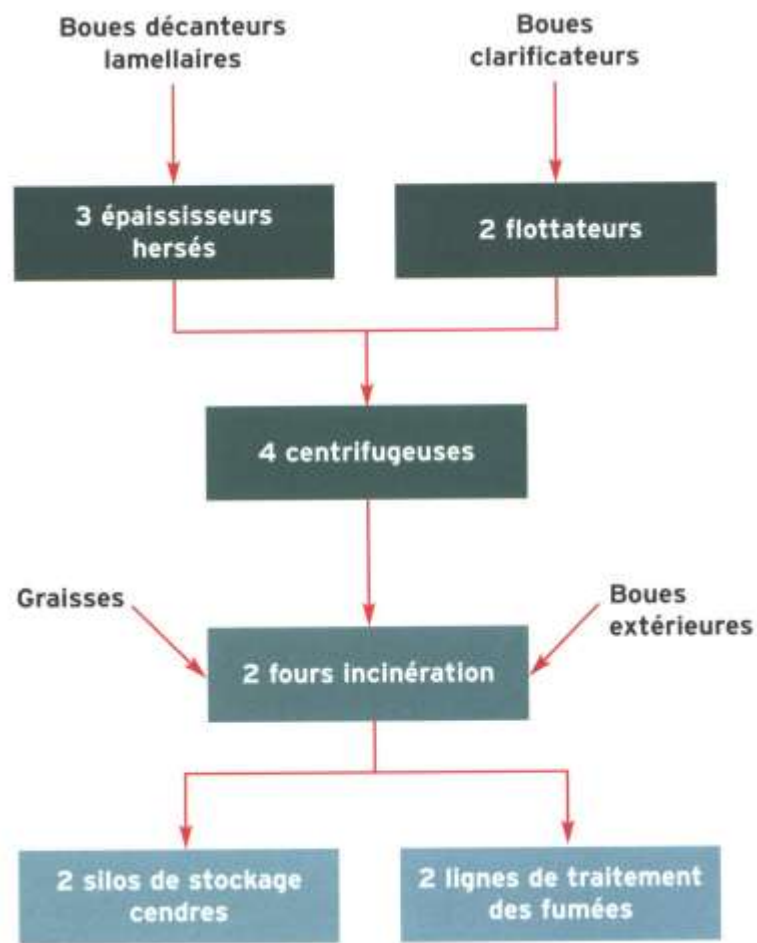
10- STEP: Pierre Bénite

- **Clarificateurs circulaire (8)**
 - Diamètre 55 m \Rightarrow rejet en Rhône
- **Epaississeur (3) pour boues primaires**
 - Diamètre: 22,5 m; hauteur 3,5 m
- **Flottateurs (2) pour boues secondaires**
 - Micro bulles d'air par détente \Rightarrow boues flottent !
 - Diamètre: 16,7 m
- **Centrifugation (4) des 2 types de boues**
 - Débit: 30 m³/h \Rightarrow 28% de siccité
- **Incinération des boues (2)**
 - Lit fluidisé \Rightarrow 20 t/j de cendres
 - 4 Traitement des fumées (24.000 Nm³/h): électro-filtre, quench, laveur, charbon actif
- **Traitement des matières extérieures: vidange de fosses, curage, graisses...**

6- Traitement des boues

■ Pierre Bénite (Lyon): 2004-2005

- Épaississeur ou flottateur
- Centrifugeuses
- Incinération
- Traitement des fumées





10- Conclusion

- Des questions ?