

# Introduction à l'écologie des boues activées et ses problèmes biologiques.

**Jean Pierre CANLER**  
**Equipe Traitement des eaux résiduaires**  
**[Jean-pierre.canler@cemagref.fr](mailto:Jean-pierre.canler@cemagref.fr)**  
**Cemagref – Lyon**  
**3 bis, quai Chauveau CP 220**  
**69 336 Lyon Cedex 09**



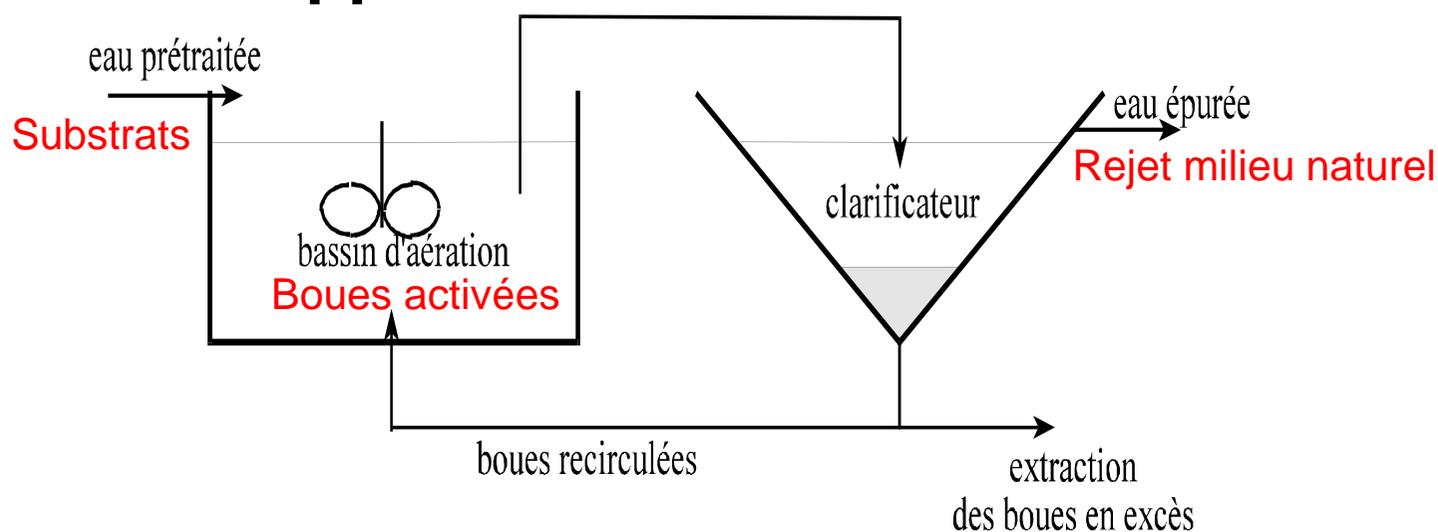
# Plan

- Rappels des boues activées et son édifice biologique.
- Les problèmes d'ordre biologique.
- Les facteurs aggravants et les solutions.
- Les techniques de lutte.

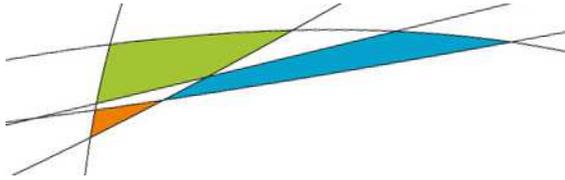


# Rappels des boues activées et son édifice biologique.

# Rappels sur les boues activées



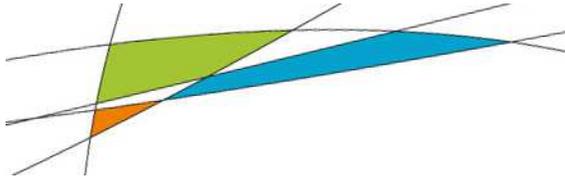
- **Paramètres de fonctionnement importants :**
  - **Rapport entre biomasse (« MVS ») et substrat :**
    - *Charge massique (Kg DBO5/Kg MVS par jour)*
    - *Age de boue (jour)*
  - **Temps séjour dans ouvrages (dimensionnement, recirculation)**
  - **Aération (appareillages et performances)**
  - **Mélange (aération + agitation mécanique) : Infiniment mélangé / Flux piston**



- Caractéristiques des boues activées (ordres de grandeur)

Domaine de Charge	Cm (kg DBO <sub>5</sub> /kg MVS.j)	Cv (kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .j)	Temps de passage (heure)	CBA en MVS (g MVS /l)	% de MVS	Rendement en DBO5 (%)	Production de boue (en kg MES/kg DBO <sub>5</sub> éliminée)	Age de boue (en j)
Forte charge	> 0.5	> 0.9	2 – 4	1.5 – 2	> 80	70 – 80	> 1.2	1
Moyenne charge	0.2 – 0.5	0.7	8 – 12	2	75 - 80	80 – 90	1 à 1,2	2 - 5
Faible charge	0.1 – 0.2	0.4	15 – 20	2 – 3	70	~ 90 - 95	0.8 à 1.0	> à 15
Aération prolongée	< 0.1	< 0.28	> 20	2,8	65 (d'où 4,3 g MES/l)	> 95	0.7 à 0.8	

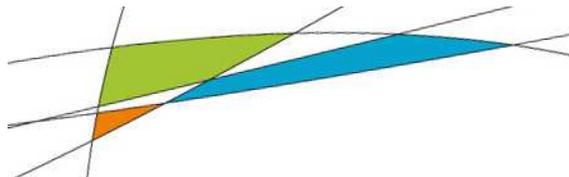
Différentes relations:  $Cv/Cm=MVS$ , Age de boue =  $1/(Cm \times Psb)$ ,  $Ts\text{ eau} = DBO5/Cv$



# Mise en oeuvre

---

- **Bassin d'aération:**
  - *Dimensionnement du BA.*
  - *Aération.*
  - *Traitement de l'azote et du phosphore.*
  
- **Clarificateur ( déjà abordé)**

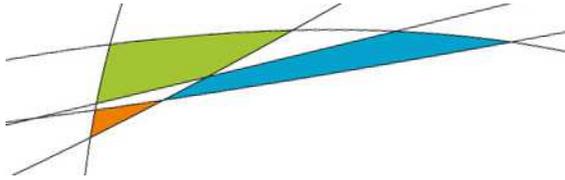


# Dimensionnement du BA.

---

**Dépend des objectifs recherchés:**

- La réglementation fixe le processus biologique et le domaine de charge ( Aération prolongée – faible charge).
  - Le domaine de charge a des conséquences:
    - \* sur l'âge de la culture (âge de la boue).
    - \* le rendement de l'installation et donc la qualité des eaux de sortie.
    - \* le degré de minéralisation de la boue (taux de MVS)
    - \* et la production de boue ( Production spécifique des boues: kg de MES / kg de DBO5 éliminée)..
-



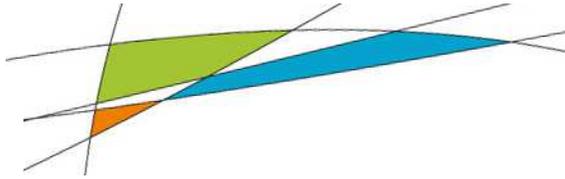
**Paramètre clé: Charge massique ou charge organique spécifique:  
Quantité de biomasse nécessaire pour traiter la pollution.**

$$C_m (KgDBO_5 / kgMVS.j) = \frac{[DBO_5] \times Q_j (kg / j)}{[MVS] \times VolBA(kg MVS)}$$

ou

$$\text{Age de boue} = \frac{1}{C_m \times P_{SB}}$$

2 approches identiques :  $C_m$  ou âge de boue



## Démonstration :

- Pour l'âge de boue :

- Age des boues = 
$$\frac{\text{Quantité de boues dans la station (kg MS ou de MES)}}{\text{Quantité de boues produites par jour (kg MS ou de MES /jour)}}$$

- Age des boues = 
$$\frac{\text{Volume du réacteur x [MVS]}}{\text{Volume d'entrée (Qe) x [DBO}_5\text{] x P}_{sb}}$$

On sait que la  $C_m = \frac{\text{Volume d'entrée (Qe) x [DBO}_5\text{]}}{\text{Volume du réacteur x [MVS]}}$

Donc

$$\text{Age de boues} = \frac{1}{C_m \times P_{SB}}$$

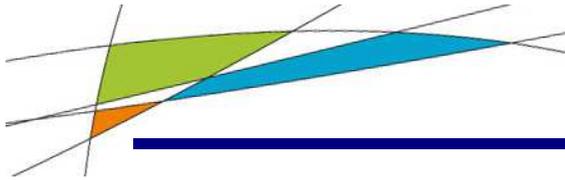
(attention aux unités)

Sur la base d'une production spécifique de :

0,7 kg de MES/ kg de DBO5 éliminée

ou 0,5 kg de MVS/ kg de DBO5 éliminée.

Relation inverse de la  $C_m$

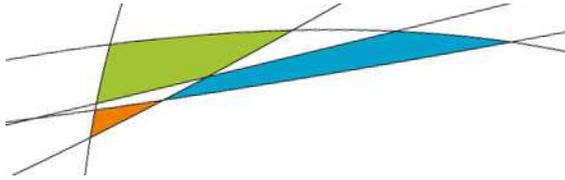


## Aération – Brassage :

Deux objectifs : - O<sub>2</sub> nécessaires aux microorganismes

- Puissance à mettre en œuvre pour éviter des dépôts

Type	Puissance spécifique minimale	Profondeur maximale	Observations
<b>Turbines</b>	<b>30 W/m<sup>3</sup></b>	<b>Petites (4 kW) H = 2,3 m Grosses (25 kW) H = 3,3 m</b>	<b>Dispositif anti-giratoire en bassin circulaire peu profond</b>
<b>Brosses</b>	<b>25 W/m<sup>3</sup></b>	<b>H = 2,2 m</b>	<b>- Déflecteur à l'aval immédiat de la brosse - Déflecteur en périphérie pour optimiser la vitesse du courant</b>
<b>Insufflation (fines bulles)</b>	<b>12 à 15 W/m<sup>3</sup></b>	<b>&gt; 3,5 m</b>	<b>Recommandée en régions froides</b>



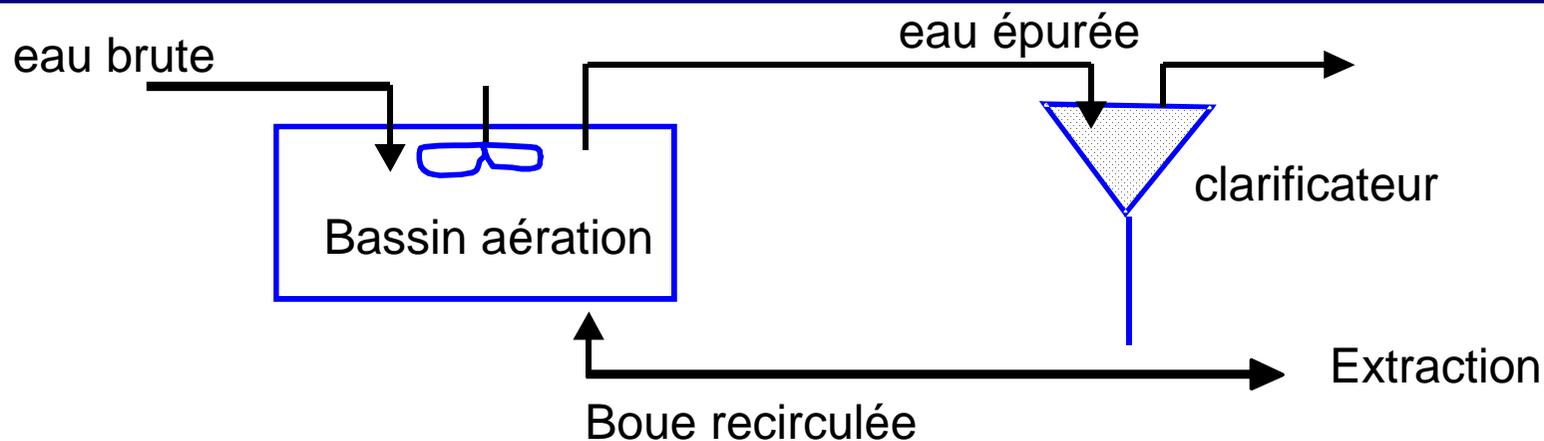
## **Brassage :**

- Agitateurs grandes pales
- Puissance variable selon la géométrie des bassins.

<b>Forme</b>	<b>Puissance</b>
<b>Annulaire</b>	3 W/m <sup>3</sup>
Rectangulaire (grande longueur)	12 à 15 W/m <sup>3</sup>

Vitesse dans le chenal: > à 0,30 m/s.

# Conclusion



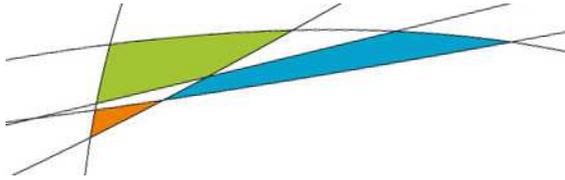
## PARAMETRES FONDAMENTAUX

- Alimentation (mode, aspects, qualitatifs et quantitatifs)
- Aération et brassage
- Age de la boue
- Recirculation

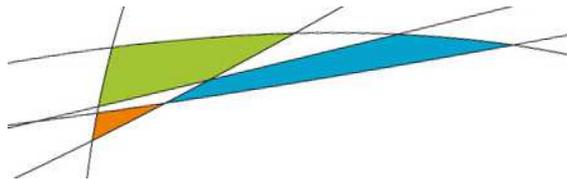
## PEUPELEMENT

- Bactéries
- Protozoaires
- Métazoaires

- **PERFORMANCES**  
(et fiabilités)
- **EXPLOITATION**



# Edifice biologique



# Transformation de la matière organique

---

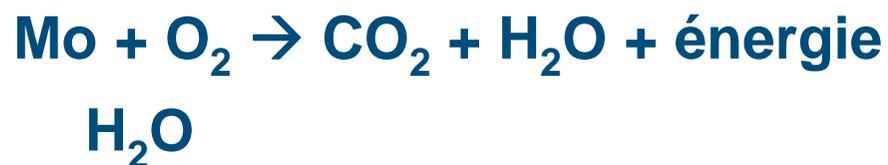
## I – Métabolisme =

Catabolisme

+

Anabolisme

production d'énergie



synthèse cellules

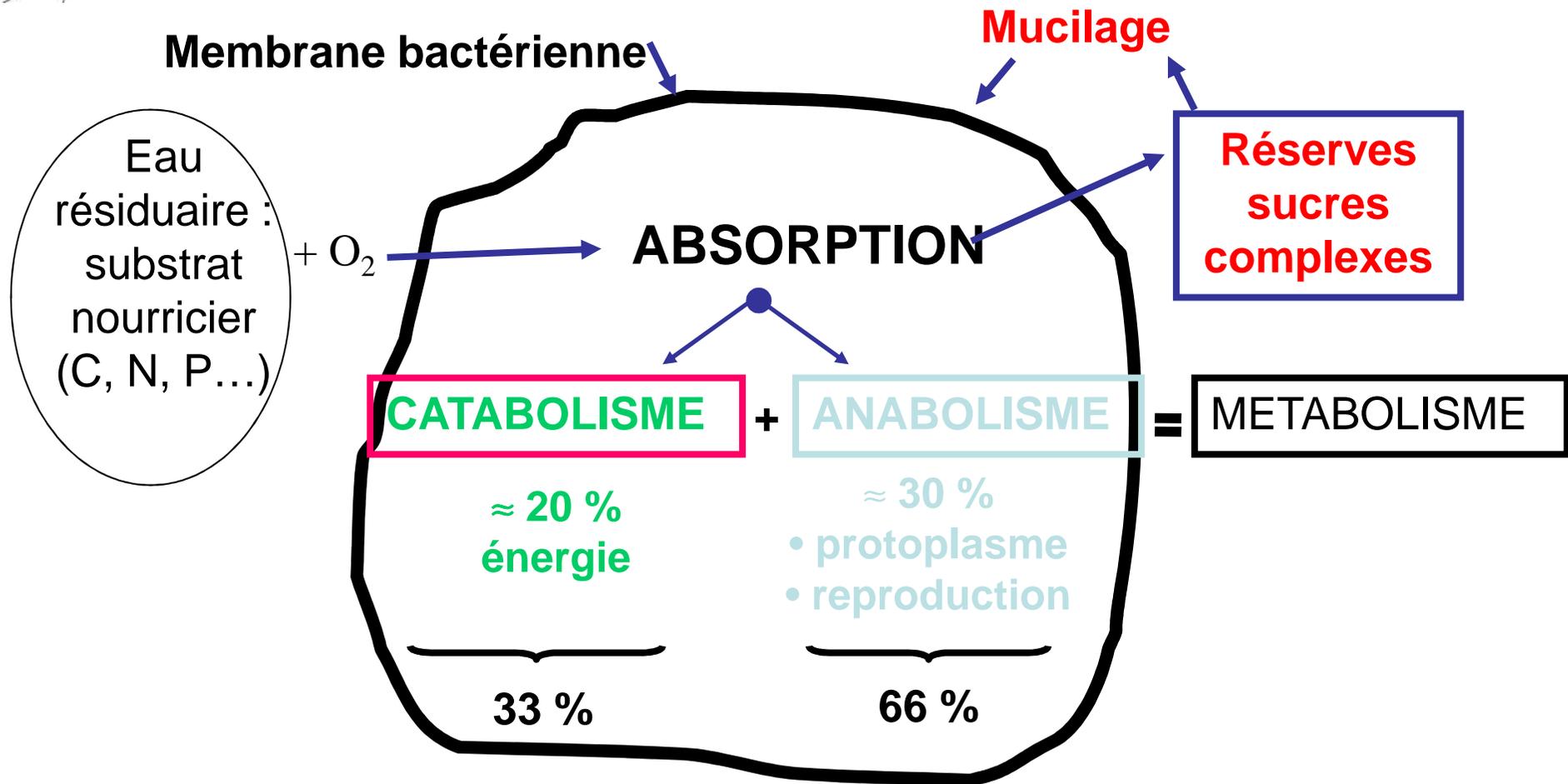


## II – Minéralisation

Auto-oxydation ou Respiration endogène

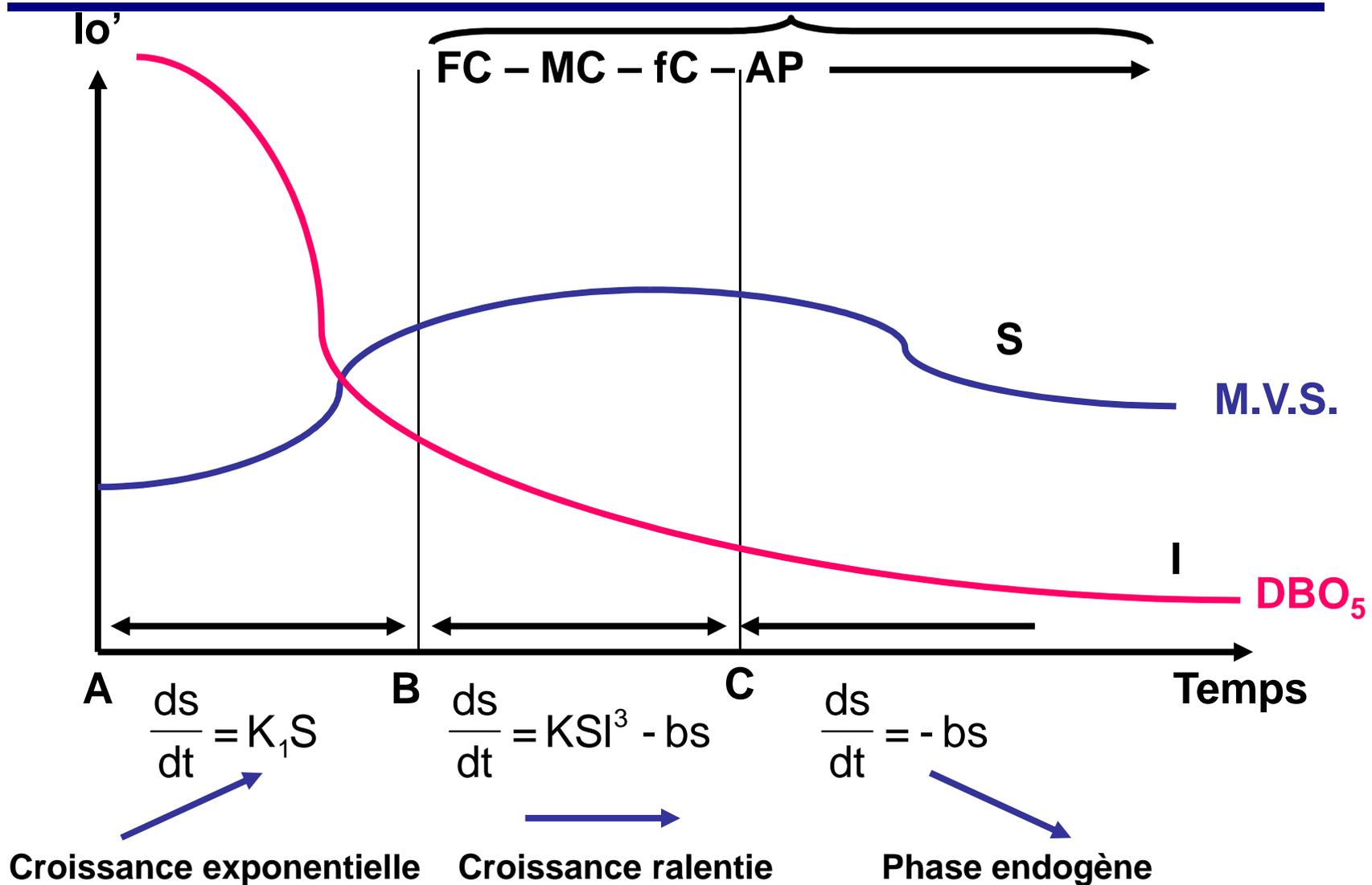


# Processus de floculation



## Membrane bactérienne

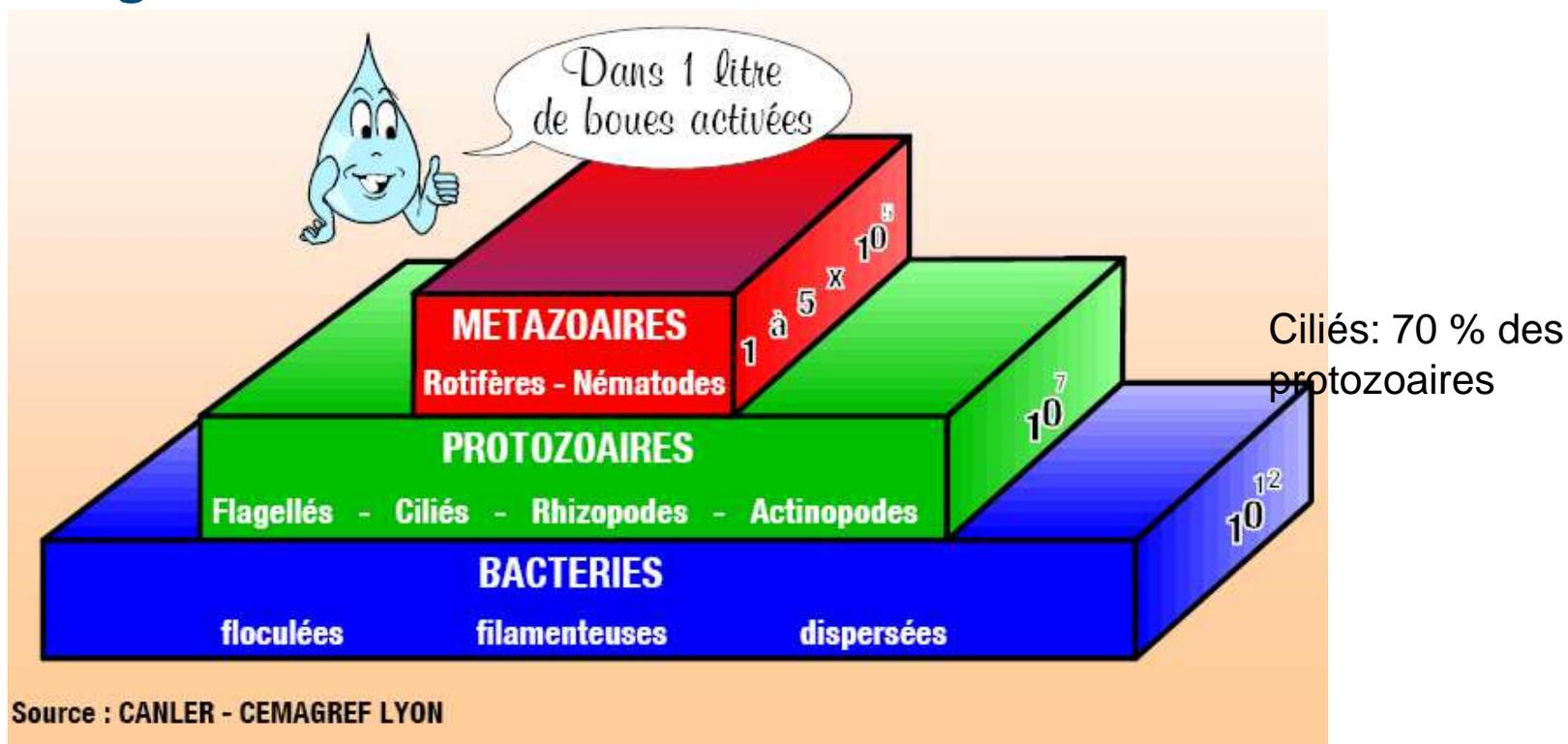
# Domaine des boues activées



**Schéma simplifié de la réduction de la pollution par les bactéries en fonction du temps**

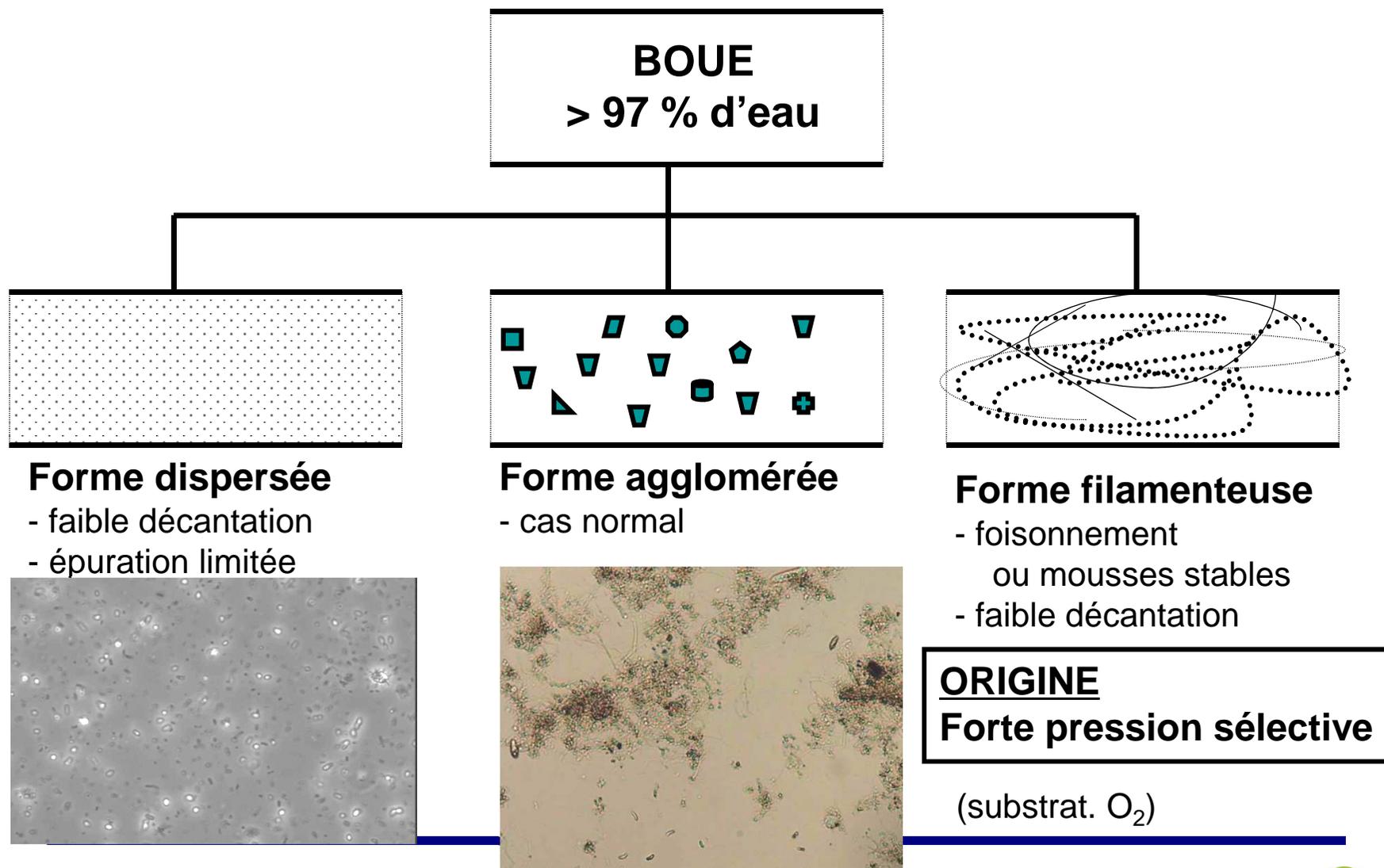
# Composition des boues activées

- Eau
- Matières organiques et minérales (solubles, colloïdales et particulaires « MES ») dont substrat
- Floccs « MES »
- Microorganismes = Biomasse « MVS »



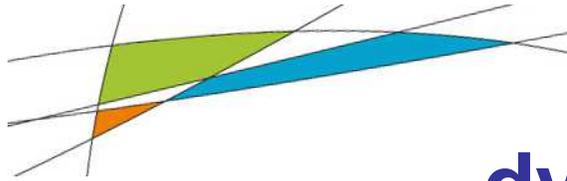


# Dynamique des populations bactériennes dans les boues activées





# Les problèmes d'ordre biologique



# Importance des dysfonctionnements biologiques

---

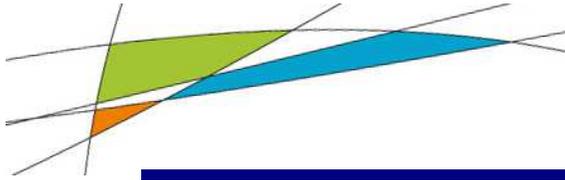
- BULKING 20 - 25 % des Boues Activées
  - MOUSSES BIOLOGIQUES 20 % des Boues Activées
- AU TOTAL 20 - 30 % de problèmes**

## LES EXIGENCES EN APPLICATION DE LA DIRECTIVE CADRE

- conformité à 95%
- valeurs rédhibitoires - 50 mg/l en DBO<sub>5</sub>

**Problème: Pertes de boue**

---



---

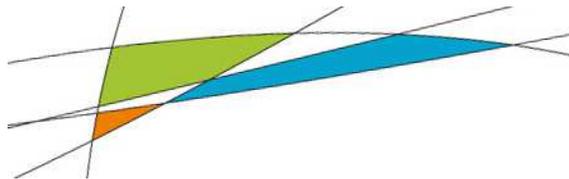
$I_b < 100$  ml/g : les boues sédimentent facilement et sont bien minéralisées (MVS < 60 %)

$I_b \sim 100-150$  ml/g : conditions normales de fonctionnement

$I_b > 200$  ml/g : problèmes de mauvaise décantabilité.

Ces valeurs sont liées :

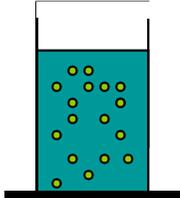
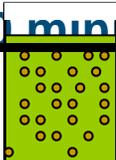
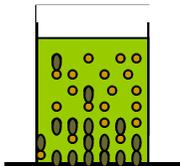
- soit à une prolifération de bactéries filamenteuse (eau surnageante limpide) → fréquentes pertes de boues, accidentelles ou chroniques
- soit à des phénomènes de défloculation (eau surnageante trouble) dus: toxiques, absence de substrat, ....

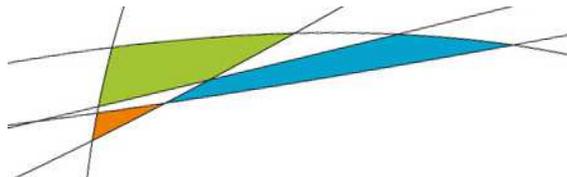


# Tableau de synthèse

Difficultés de décantation ➔ Diagnostic rapide à l'aide des tests en éprouvette

## Floculation

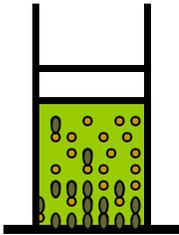
	Structure de la boue au microscope	Conséquence sur le traitement	Résultats du test en éprouvette
Croissance dispersée	Absence de floc, grande quantité de bactéries : libres, boues de couleur claire	Effluent turbide, pas de décantation, parfois mousses blanchâtres en surface du bassin d'aération	t = 30 minutes 
Défloculation	Particule inertes en suspension, peu ou pas de bactéries libres	Effluent de mauvaise qualité	t = 30 minutes 
Floc en tête d'épingle	Quelques particules de floccs grossières, eau interstitielle turbide, bactéries libres nombreuses, protozoaires, : flagellés, holotriches	Rejet de qualité médiocre	t = 30 minutes 

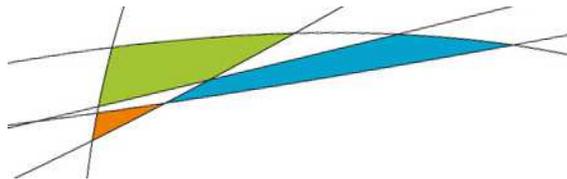


# Tableau de synthèse

Difficultés de décantation ➔ Diagnostic rapide à l'aide des tests en éprouvette

## Compaction

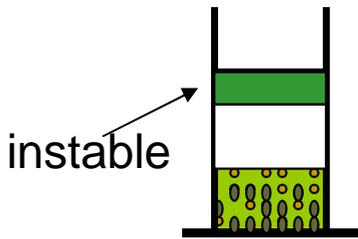
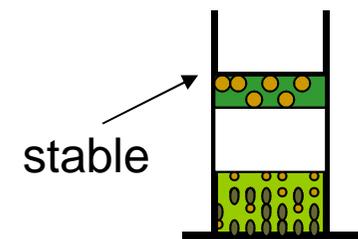
	Structure de la boue au microscope	Conséquence sur le traitement	Résultats du test en éprouvette
<b>Foisonnement</b>	<b>Présence de micro-organismes filamenteux</b>  <b>Quantité protozoaires : variable</b>  <b>Couleur des boues normale</b>	<b>Pertes de boues chroniques ou épisodiques</b>  <b>Épuration très correcte en absence des pertes de boue</b>	<b>t = 30 minutes</b> 

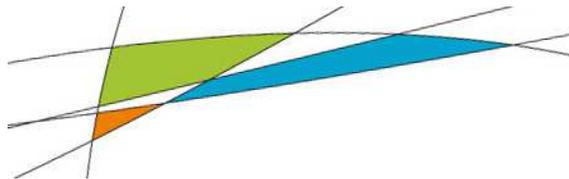


# Tableau de synthèse

Difficultés de décantation → Diagnostic rapide à l'aide des tests en éprouvette

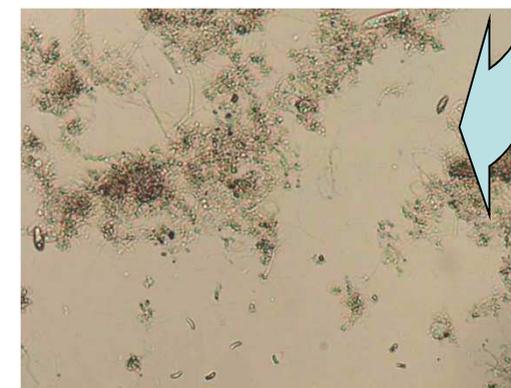
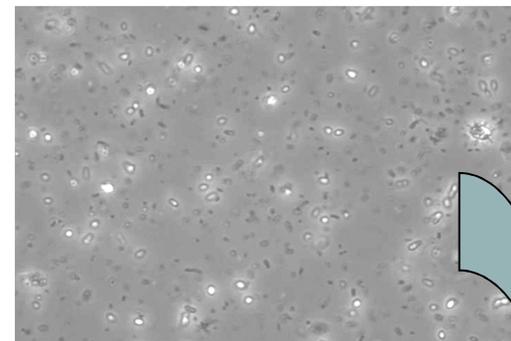
## Densité

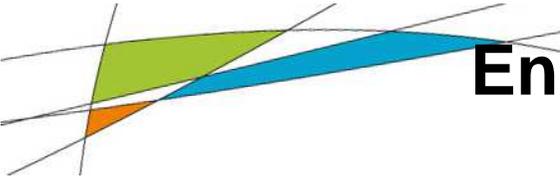
	Structure de la boue au microscope	Conséquence sur le traitement	Résultats du test en éprouvette
Remontée de boues dans le décanteur secondaire	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Boues « noires »</b></li> <li><b>Boues « claires » : microfaune diversifiée. Floccs bien formés &gt; 50 µm</b></li> </ol>	<b>Rejet plus ou moins altéré</b>	<b>t = &lt; 2 heures</b> 
Mousses stables	<b>Concentration de filaments dans les mousses (Nocardia) densité de filament variable et irrégulière dans les boues</b>	<b>Bon rendement d'épuration tant que les mousses ne parviennent pas jusqu'au rejet</b>	<b>t = 30 minutes</b> 



# Floculation

- **Au démarrage d'une station:**
  - **[Substrat] élevé par rapport [biomasse] :**
    - *Développement important des bactéries aérobies donc de [Biomasse], qui se développe initialement sous forme dispersée*
- **A l'équilibre:**
  - **[Substrat] faible par rapport [biomasse] :**
    - *Croissance bactérienne sous forme floculée, production d'EPS qui permet la cohésion des bactéries*





# En résumé, les difficultés de décantation sont dues:

---

1. Problème de floculation
  - ***Croissance dispersée***
  - ***Défloculation***
2. Problèmes de densité apparente
  - ***Dénitrification***
  - ***Mousses stables***
3. Problèmes de faible compaction
  - ***Foisonnement***
    - Pénalise fortement les capacités hydrauliques du décanteur
      - \* ***Nécessité d'une bonne décantabilité de la boue***
      - \* ***STEP à faible charge : problèmes plus aigus***

**D'où une bonne identification du problème.**

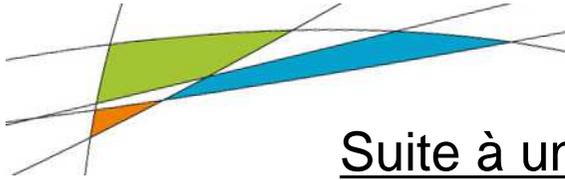


## Principaux facteurs aggravant ou déclenchant

---

- Apports d'O<sub>2</sub> et les durées d'anoxie Cf. Approche par calcul théorique
- Dépôts Cf. Puissance spécifique de brassage
- Flottants
- Equilibre nutritionnel Notion de DBO<sub>5</sub>/N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>
- Carences nutritionnelles Notion de Cm
- Aspects qualitatifs Soufre réduit : Thiothrix  
Beggiatoa

Richesse en hydrate de carbone / Riche en sucres  
Substrat facilement assimilable : brasserie, laiterie, malterie, sirop  
Filament : Sphaerotilus Natans



## Suite à une enquête: les cas de foisonnement touchent:

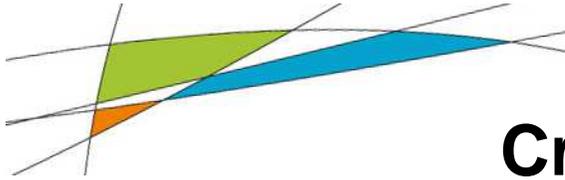
---

### 1. Stations à faible charge

- ***Bassins à mélange intégral***
- ***Sous charge***
- ***Sous aération***
- ***Dilution des effluents***
- ***Mauvaise gestion de la production de boue***
- ***Composition des effluents [industries agro-alimentaires, déséquilibres, effluents septiques (S)],***
- ***Décanteur primaire***

### 2. Stations à forte charge

- ***Surcharge***
- ***Sous aération***
- ***Composition des effluents (S...)***

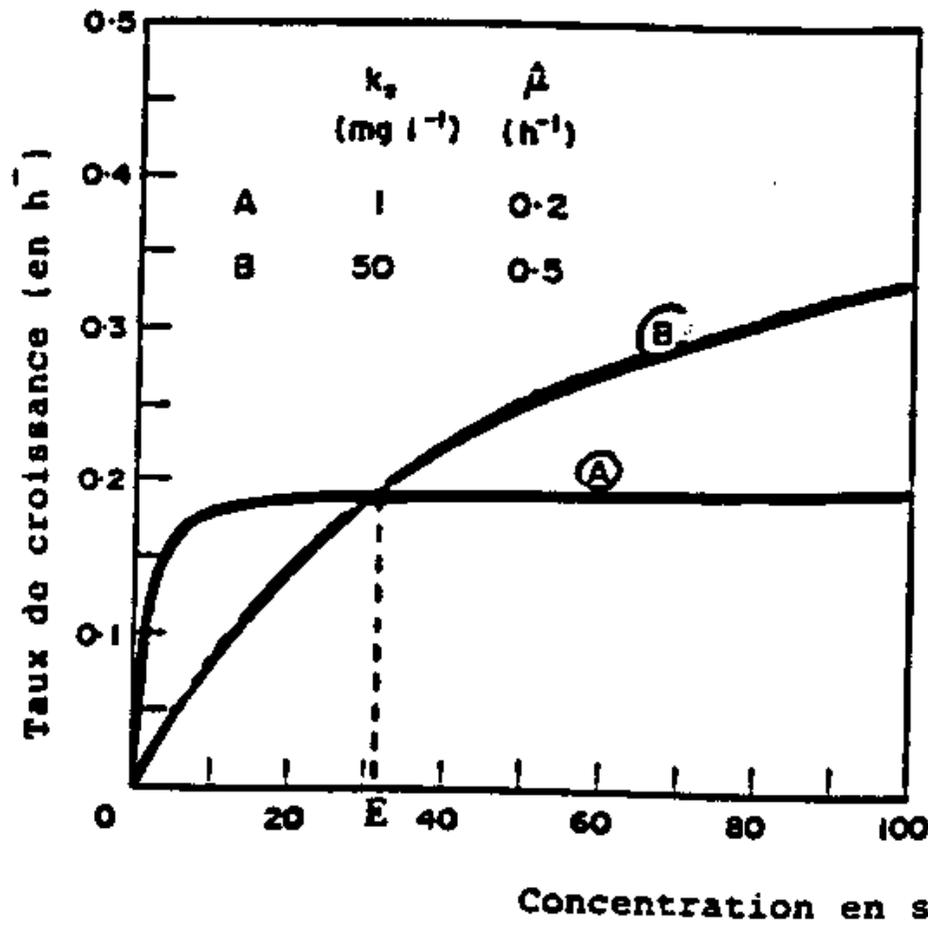


# Croissance filamenteuse : mécanismes explicatifs

---

1. Morphologie des germes filamenteux
    - *Rapport S/V élevé : facilité d'échanges avec le milieu*
  2. Aspects particuliers du métabolisme
    - *Substrats riches en composés facilement assimilables*
    - *Effluents riches en soufre*
  3. Taux de croissance et dynamique des populations
    - *Influence de la concentration en substrat*
    - *Influence de la concentration en oxygène dissous*
-

# Différenciation du taux de croissance (Chudoba): La plus importante.

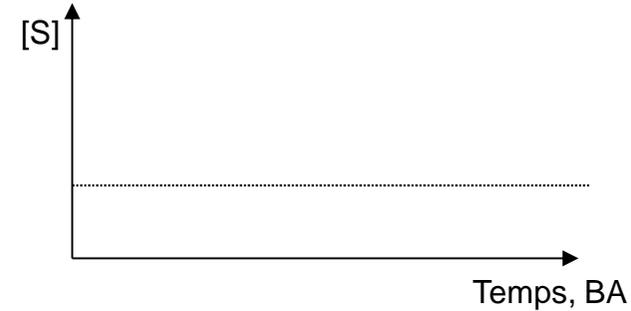
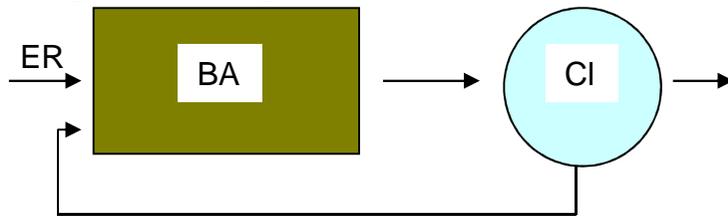


A: micro-organismes filamenteux  
B: non filamenteux

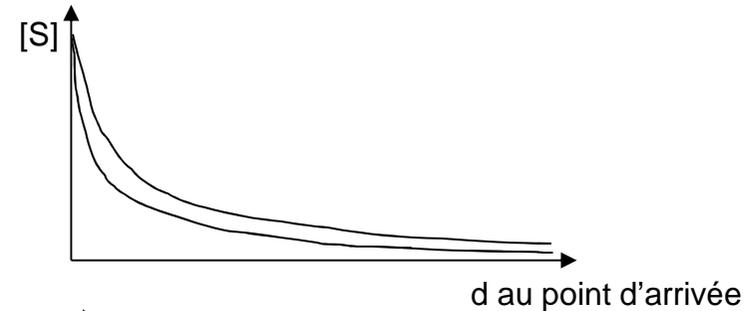
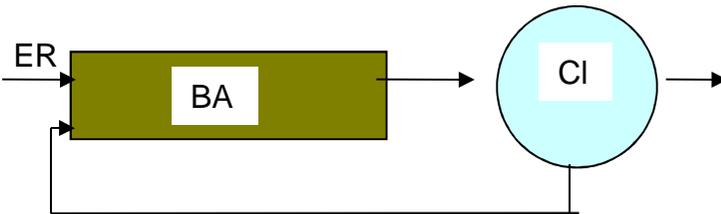


# Effet du mode d'arrivée de l'eau résiduaire sur la concentration en substrat dans le bassin d'aération

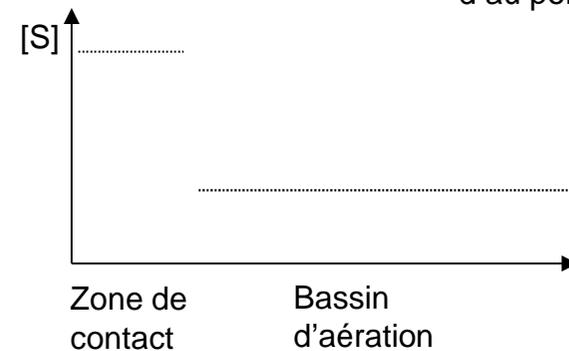
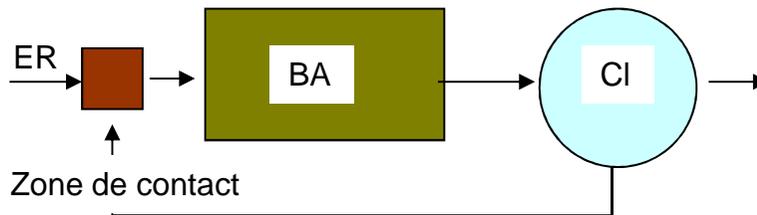
## Mélange intégral

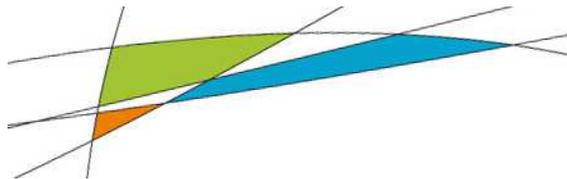


## Flux piston

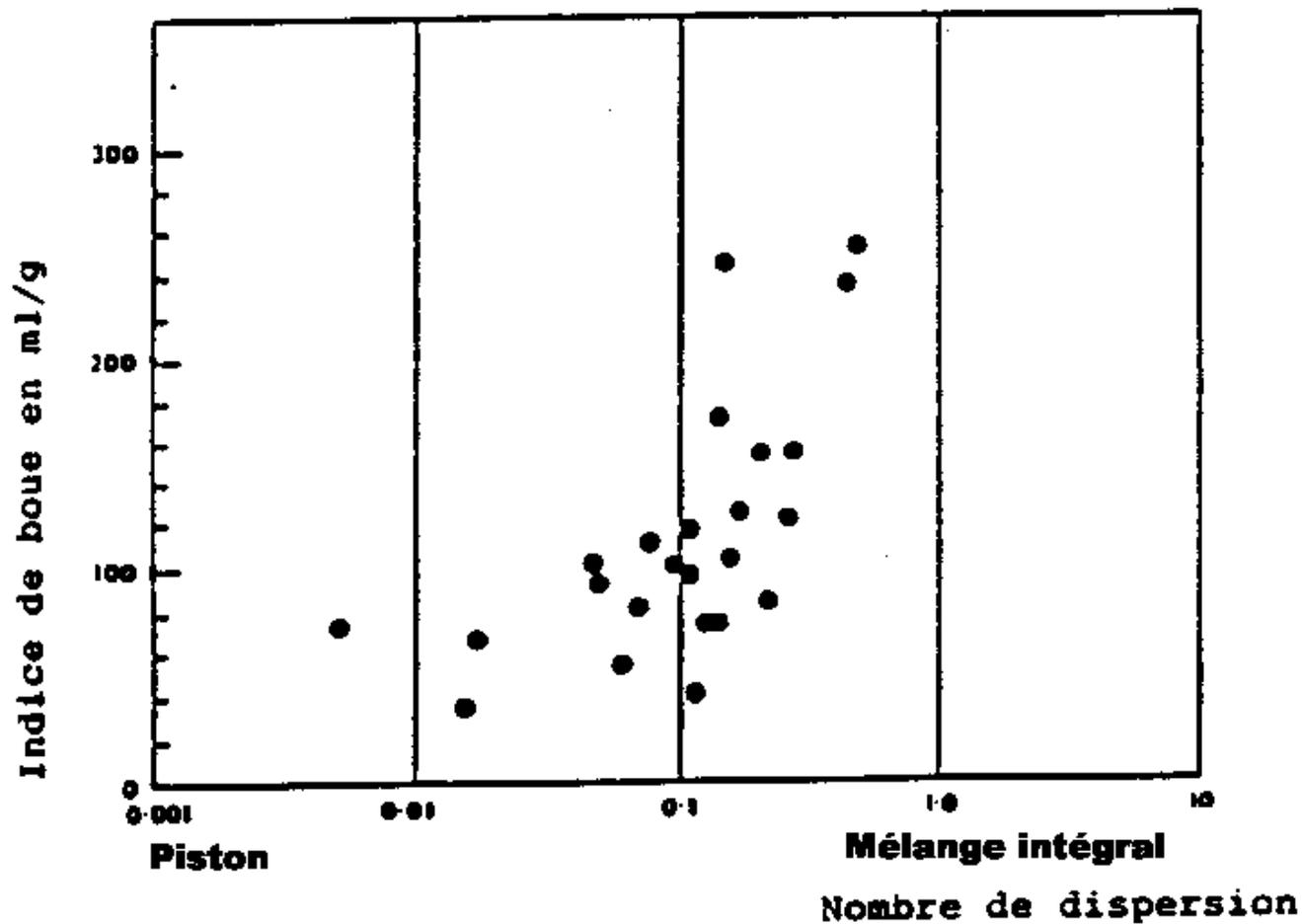


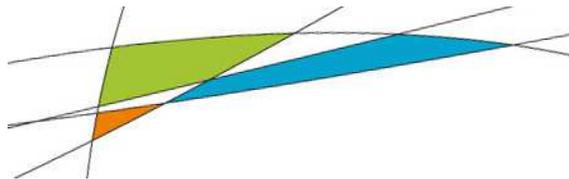
## Zone de contact



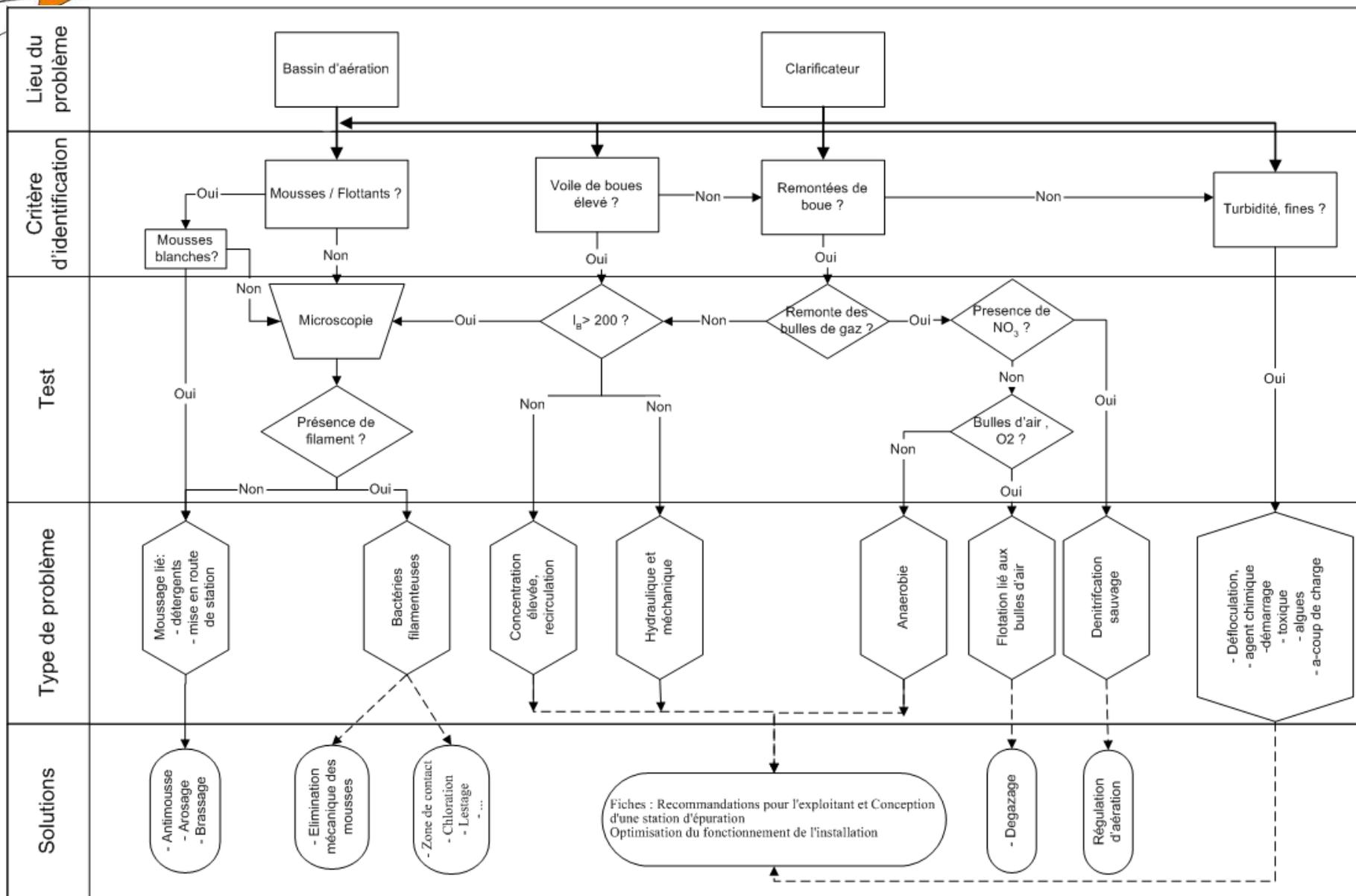
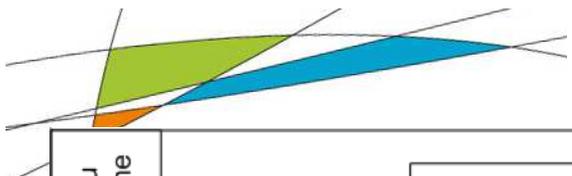


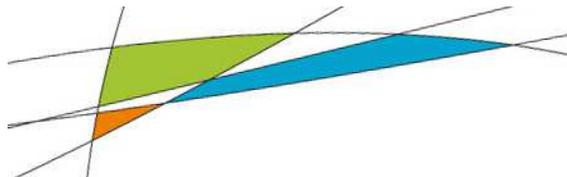
# Relation Indice de boue et nombre de dispersion





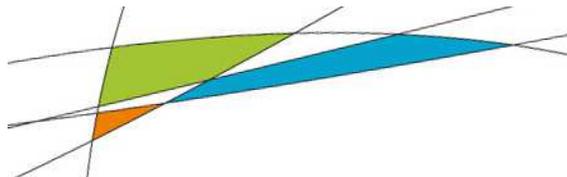
# Les Facteurs aggravants et ses solutions





## LE RESEAU

Conception	Exploitation			
<b>Optimisation du fonctionnement : diminuer la septicité</b>				
objectif : ne pas dépasser une valeur limite de 1 ou 2 mg.L <sup>-1</sup> en H <sub>2</sub> S dissous et Rh < 50 / 100 mV à l'entrée de la station				
Assurer la réoxygénation dans les postes de relèvement (par chute d'eau essentiellement, tenir compte de l'éventuel stripping d'H <sub>2</sub> S générant odeurs et corrosion)				
Limiter les temps de séjour dans les postes de relevages en optimisant le nombre de démarrage des pompes. Il convient cependant de veiller à ne pas dépasser un certain nombre de démarrage dans l'heure, nombre qui sera fonction de la puissance de la pompe :				
Puissance de la pompe en kW	< 4	4 à 11	12 à 30	> 30
Nombre maxi de démarrage/heure	15	12	10	6
Temps mini entre 2 démarrages en mn	4	5	6	10
Limiter les temps de séjour dans les fosses toutes eaux (idem, même principe de protection des moteurs)				

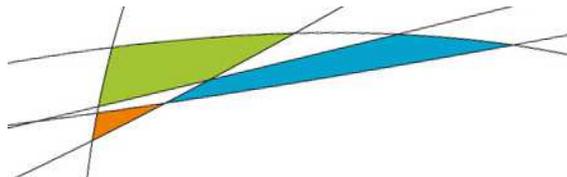


## LE BASSIN TAMPON

Conception	Exploitation
<b>Limitation des réensemencements</b>	
Prévoir la possibilité de vidange complète de l'ouvrage, ce qui implique : <ul style="list-style-type: none"> <li>- une fosse de pompage ou un fond conique</li> <li>- un type d'aérateur capable de fonctionner à bas niveau (type hydroéjecteur sur flotteur-diffuseur moyennes ou grosses bulles...)</li> </ul>	Vérification d'absence de dépôt

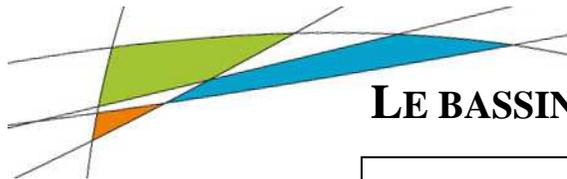
## LE DECANTEUR PRIMAIRE

Conception	Exploitation
<b>Limitation des réensemencements ???</b>	
Limiter le temps de séjour des boues primaires (< 2h) Système de piégeage efficace des flottants	Maintenir des faibles niveaux de boue Vérifier la bonne reprise des boues Elimination systématique des flottants



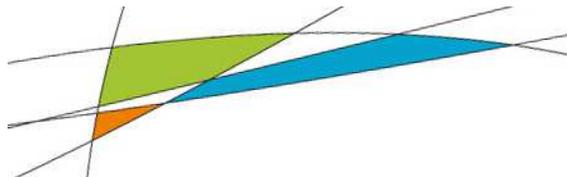
## LE DEGRAISSEUR

Conception	Exploitation
<p style="text-align: center;"><b>Aéré :</b></p> <p>Dimensionnement correct de l'aéroflot<sup>1</sup> (diamètre des bulles)</p> <p style="padding-left: 40px;"><math>P_i = 30 \text{ W.m}^{-3}</math> (valeur idéale)</p> <p style="padding-left: 40px;"><math>P_i = 50 \text{ W.m}^{-3}</math> (valeur maximum)</p> <p>Zone calme au-delà de la jupe</p> <p style="text-align: center;"><b>Aéré et statique :</b></p> <p>Bon raclage de surface, bonne reprise des flottants,</p> <p style="padding-left: 40px;">extraction efficace des dépôts (sables) de fond d'ouvrage</p>	<p>Vérification du bullage correct</p> <p>Elimination des flottants</p> <p style="padding-left: 40px;">Extraction hebdomadaire (si opération manuelle) des sables et dépôts de fond d'ouvrage</p> <p style="padding-left: 40px;">Maintien de l'aération en cas d'arrêt d'alimentation (par exemple mise en service ponctuelle d'une file sur deux selon le débit) pour éviter l'anaérobiose</p>



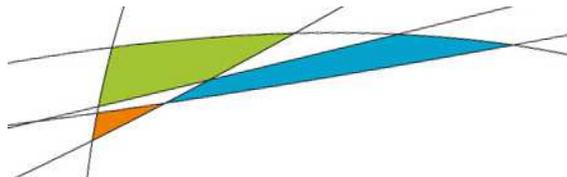
## LE BASSIN D'AERATION

Conception	Exploitation
<p align="center"><b>Pour tous les bassins</b></p> <p>Prévoir systématiquement le passage d'un bassin à un autre par surverse libre. Sinon, prévoir la possibilité de retirer périodiquement une partie au moins des cloisons siphonides (objectif : ne jamais laisser s'accumuler des flottants, permettre donc leur élimination « naturelle »).</p> <p align="center"><u>Bassin d'anoxie</u></p> <p>Temps de passage (débit d'eau brute + débit de recirculation) inférieur à 2 heures.</p> <p align="center"><u>Bassin d'aération</u></p> <p>Profiter des dispositions type chenal pour organiser le raclage des mousses (barrière flottante)</p>	<p>Raclage manuel (type boudin flottant ) si besoin, pour extraire les mousses.</p> <p>Réglage de l'aération adéquate en fonction de la charge et du mode hydraulique (mélange piston - mélange intégral).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne jamais programmer un temps d'arrêt de l'aération supérieur à 2 heures</li> <li>- vérifier la concentration d'oxygène dans le bassin, surtout dans le cas de flux piston. (voir fiche « capteurs » pour plus de précisions sur le nombre et la localisation des capteurs oxygène)</li> </ul> <p>Concentration de MES<sup>1</sup> ? 4-5 g.L<sup>-1</sup> (à moduler pour maintenir la charge massique, voir § III.6.8 et Fiche technique II Outils de suivi et de diagnostic – 2.1 Charge massique</p>



## LE DEGAZEUR

Conception	Exploitation
<b>Limitation des réensemencements</b>	
Prévoir une sur-verse avec évacuation directe vers le traitement des boues De préférence ne pas couvrir l'ouvrage Mise en place d'une rampe d'arrosage pour chloration éventuelle des mousses	Objectif : Elimination des flottants.
<b>Optimisation du fonctionnement</b>	
limiter les entraînements de gaz vers l'ouvrage par une chute d'eau modérée	

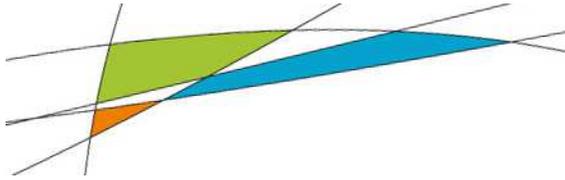


## LE CLARIFICATEUR

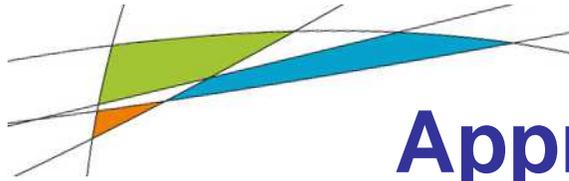
Conception	Exploitation
<b>Optimisation du fonctionnement : ne pas accumuler de boues, ne pas laisser des flottants</b>	
	<p>Ne pas arrêter la recirculation pour concentrer les boues avant leur extraction vers l'épaississeur.</p> <p>Vérifier la bonne reprise des boues sur toute la longueur du pont.</p> <p>Vérifier la non formation de dépôt sur les herses.</p> <p>Evacuer ou plomber les flottants par aspersion</p>

## LA FILIERE DE TRAITEMENT DES BOUES

Conception	Exploitation
<b>Eviter les retours en tête d'effluents septiques</b>	



# Les techniques de lutte



# Approche méthodologique générale

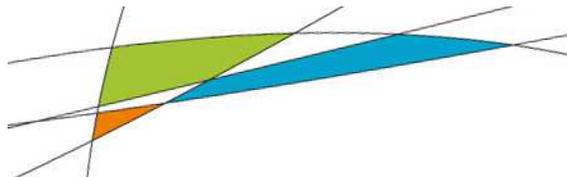
---

- Mise en évidence et caractérisation précise du problème  
Diagnostic  $I_b > 200$  ml/g – identification des filaments.

## Etudes préalables

Origine du problème  
Anomalies particulières  
Facteurs aggravants

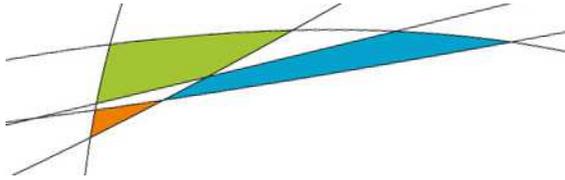
- Choix des solutions à mettre en place



<b>Problèmes</b>	<b>Aigus « transitoires »</b>	<b>Chroniques « permanents »</b>
<b>Solutions</b>	<b>« Curative » Résultats rapides mais nombreuses contraintes</b>	<b>« Préventive » Action plus lentes mais peu de contraintes</b>
	<b>Chloration, Flocculants,</b>	<b>Zone de contact, Complémentation en N ou P</b>
<b>Temps de réponse</b>	<b>Immédiat à quelques jours</b>	<b>1 à 2 fois l'âge de la culture</b>

# Relations Filaments / Origine / Remède

Type de station	Origine supposée du foisonnement	Facteur aggravant	Dominance du filament	Solution technique envisageable
Faible charge massique	<p>Carence nutritionnelle peu marquée</p> <p>Forte carence nutritionnelle (industriels)</p>	<p>Déficit en O<sub>2</sub></p> <p>Décanteur I</p> <p>1er étage de traitement</p>	<p>Type 0041, 0092, 0581</p> <p><i>Microthrix parvicella</i></p>	<p>- zone de contact (aération)</p> <p>- zone de contact + complémentation en nutriments (aération)</p>
Moyenne ou forte charge massique	<p>Déséquilibres nutritionnels</p> <p>Variations de charge</p>	<p>Déficit en O<sub>2</sub></p>	<p><i>Sphaerotilus natans</i>, type 021N, 1701, 1863</p>	<p>- Complémentation en nutriments</p> <p>- Sur oxygénation des boues</p> <p>- Extension de la station mise en place d'un premier étage</p>
Indifférenciée	<p>Composés soufrés réduits dans l'effluent</p> <p>Effluents pH acide</p> <p>pH &lt; 6</p>		<p>Type 021N, <i>Thiothrix</i>, <i>beggiatoa</i></p> <p>Champignons</p>	<p>- Oxydation des composés soufrés en amont du traitement</p> <p>- Suraération des boues</p> <p>- Réajuster le ph</p>



# Chloration

---

- **Principe** : Bactéricide : dosage maîtrisé (suivi microscopique)
- **Point d'injection nécessite** :
  - un mélange énergique
  - une concentration élevée de boue
  - un flux maximal de boue concerné journalièrement
  - et son éloignement par rapport à l'admission des eaux brutes d'où poste de recirculation
- **Modalités pratiques** :

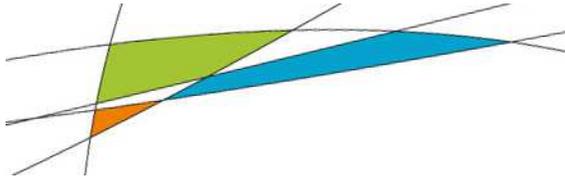
**Données** : Quantité de boues connues : bassin d'aération + clarificateur

**Dosage** :

- **doses** : 2 à 6 g de  $\text{Cl}_2$ /kg de MES.j (max. 15 g de  $\text{Cl}_2$ /kg MES.
- **concentration au point d'injection** : < à 35 mg  $\text{Cl}_2$ /l de boue

calcul : masse totale de  $\text{Cl}_2$  injectée / jour sur le débit total à ce point  
réf : 4 à 20 mg  $\text{Cl}_2$  / l

---



---

## Taux de passage :

d'une même particule au point d'injection > à 2,5 fois/jour

$$\text{Taux} = \frac{\text{Masse totale de MS passant dans la journée}}{\text{Masse totale de MS du système}}$$

- **Autres informations :**

En début de Chloration, risque de moussage

Consignes de sécurité dans l'utilisation du produit

Modidification des réglages en fonction de l'observation microscopique (pas de temps  $\geq 2$  jours)



➤ Autres agents toxiques : peu d'expériences

Formule			Action	
Eau oxygénée ou solution de peroxyde d'hydrogène	$H_2O_2$	solution	+ oxydant puissant	bactéricide
Ozone	$O_3$	Gaz	++	

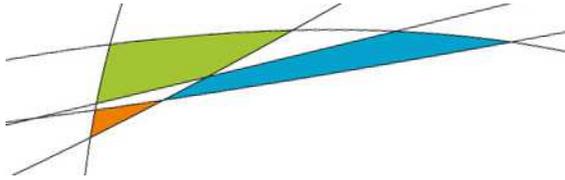
Commentaires : (d'après la bibliographie)

**$H_2O_2$  :**

- manipulation moins contraignante
  - coût plus élevé
  - dose plus élevée que le chlore : 100 à 200 mg  $H_2O_2$ /l de boue recirculée
  - nécessite un temps de contact plus long ( $\approx$  15 minutes)

**Ozone :**

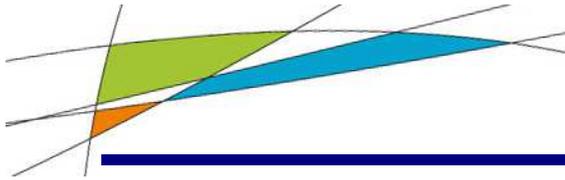
- résultat intéressant
- dose : 0.5 à 1 mg d' $O_2$ /l de boue



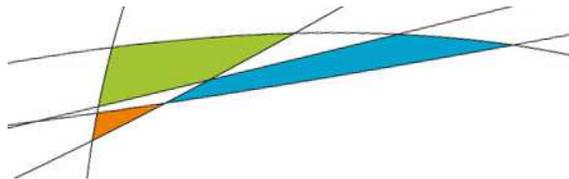
---

## ➤ Agents lestant

- Chaux éteinte,
  - Talc,
  - Bentonite,
  - Sels de fer,
  - Autres ...
- 
- Améliore l'agglomération des floccs bactériens
  - Ne sont pas toxiques aux doses préconisées
  - Améliore l'indice de boue mais augmente la concentration de MES (production de boue)

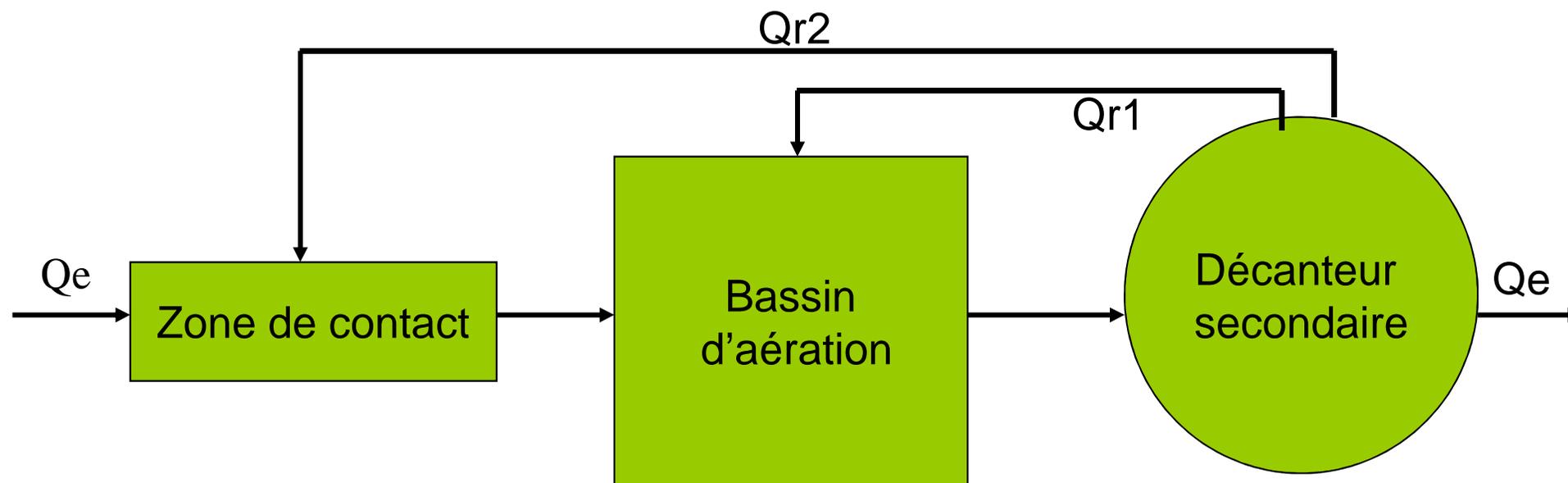


Agent lestant	Caractéristiques et remarques	Doses soumises
Talc	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Poudre minérale naturelle</li> <li>➤ Non abrasif</li> <li>➤ Insoluble</li> <li>➤ Et chimiquement inerte</li> <li>➤ <b>Solution ponctuelle :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• surcharge hydraulique</li> <li>• I<sub>B</sub> très saisonnier</li> </ul> </li> <li>➤ Pas d'effet sur le moussage</li> <li>➤ Coût élevé</li> </ul>	<p>Importante de 0.6 à 1 g /g de MES</p> <p>Entretien : 0.3</p> <p>Effet immédiat</p>
Chaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Evaluation prochaine</li> <li>➤ Pas assez d'informations</li> <li>➤ Utilisation si possible de la chaux éteinte               <ul style="list-style-type: none"> <li>Double action → effet biologique : pH</li> <li>→ effet physique</li> </ul> </li> <li>➤ Dose d'injection : ne pas dépasser un pH à 8.3</li> </ul>	<p>10 g / m<sup>3</sup> d'eau usée</p>
Sels de fer	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Résultat positif avec FeSO<sub>4</sub></li> <li>➤ Résultats peu significatifs FeCl<sub>3</sub> (même en grosse quantité)</li> </ul>	<p>20 à 50 mg de Fe / l d'eau usée</p>
Polymères	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Jar test indispensable</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Effet immédiat</li> <li>➤ Utilisé le produit de la filière boue</li> </ul>	

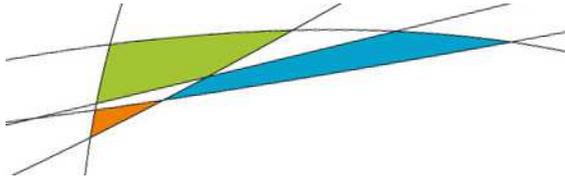


## Zone de contact

### Zone de contact – schéma de principe



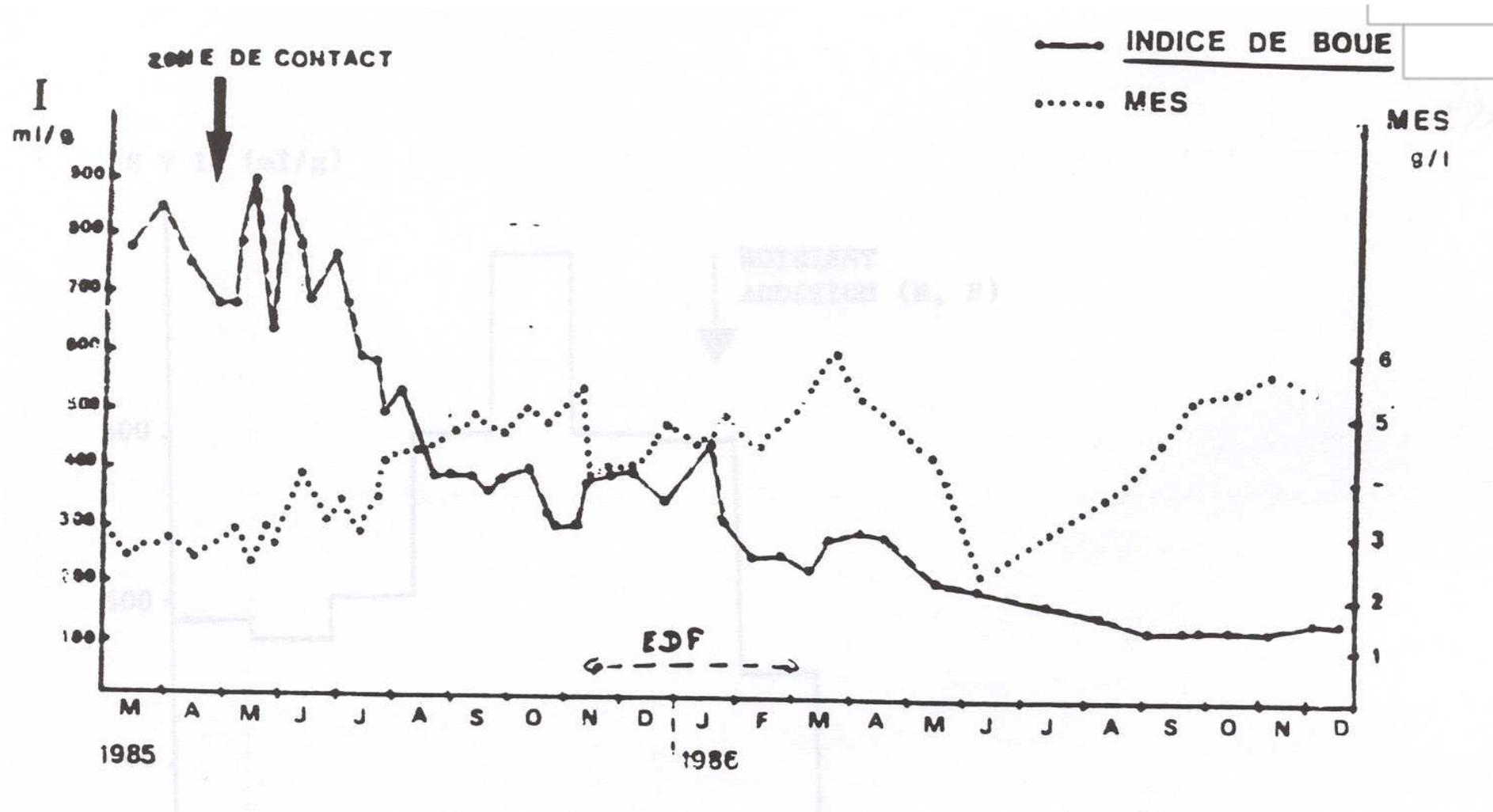
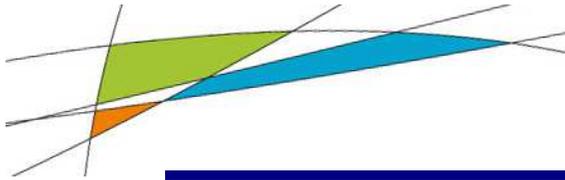
- Temps de contact : ~10 mn
  - Charge appliquée : ~100 mg DCO<sub>fa</sub>/g MES
- } À déterminer plus précisément par essai de biosorption

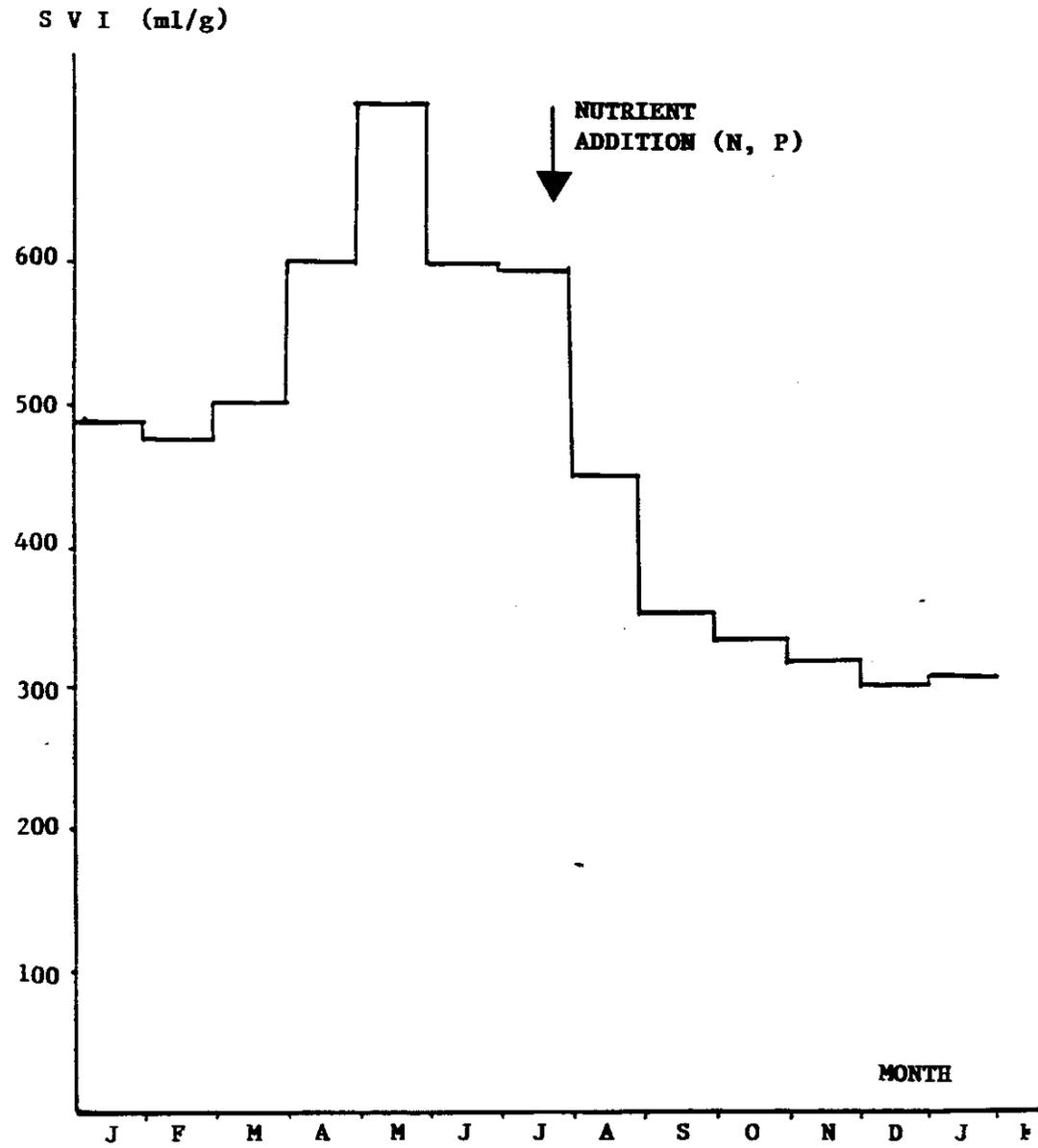
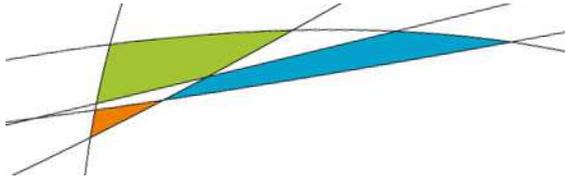


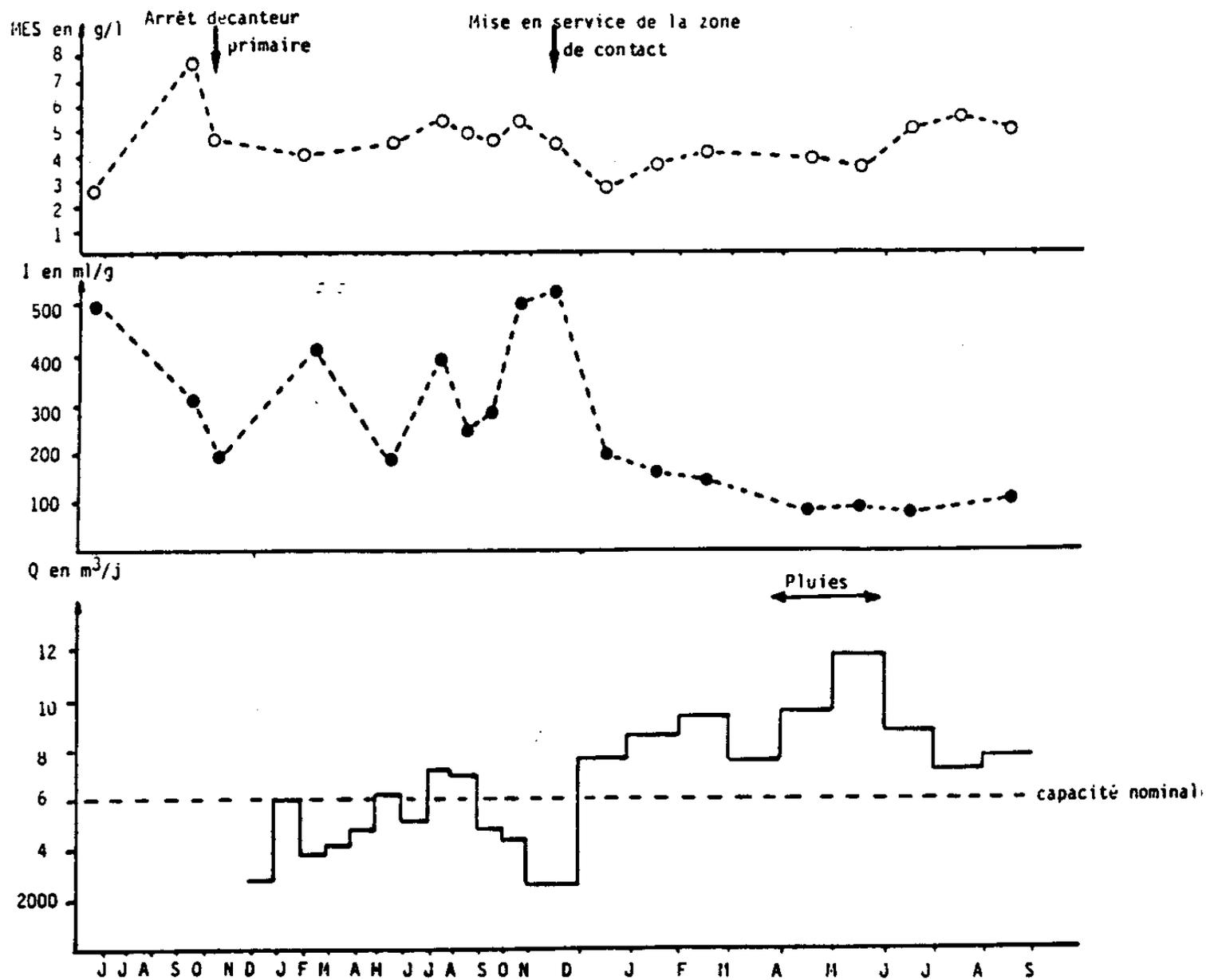
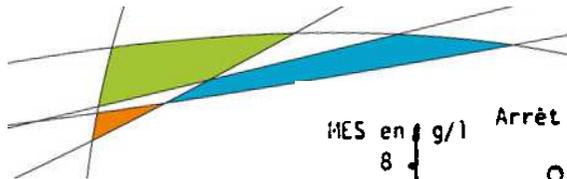
---

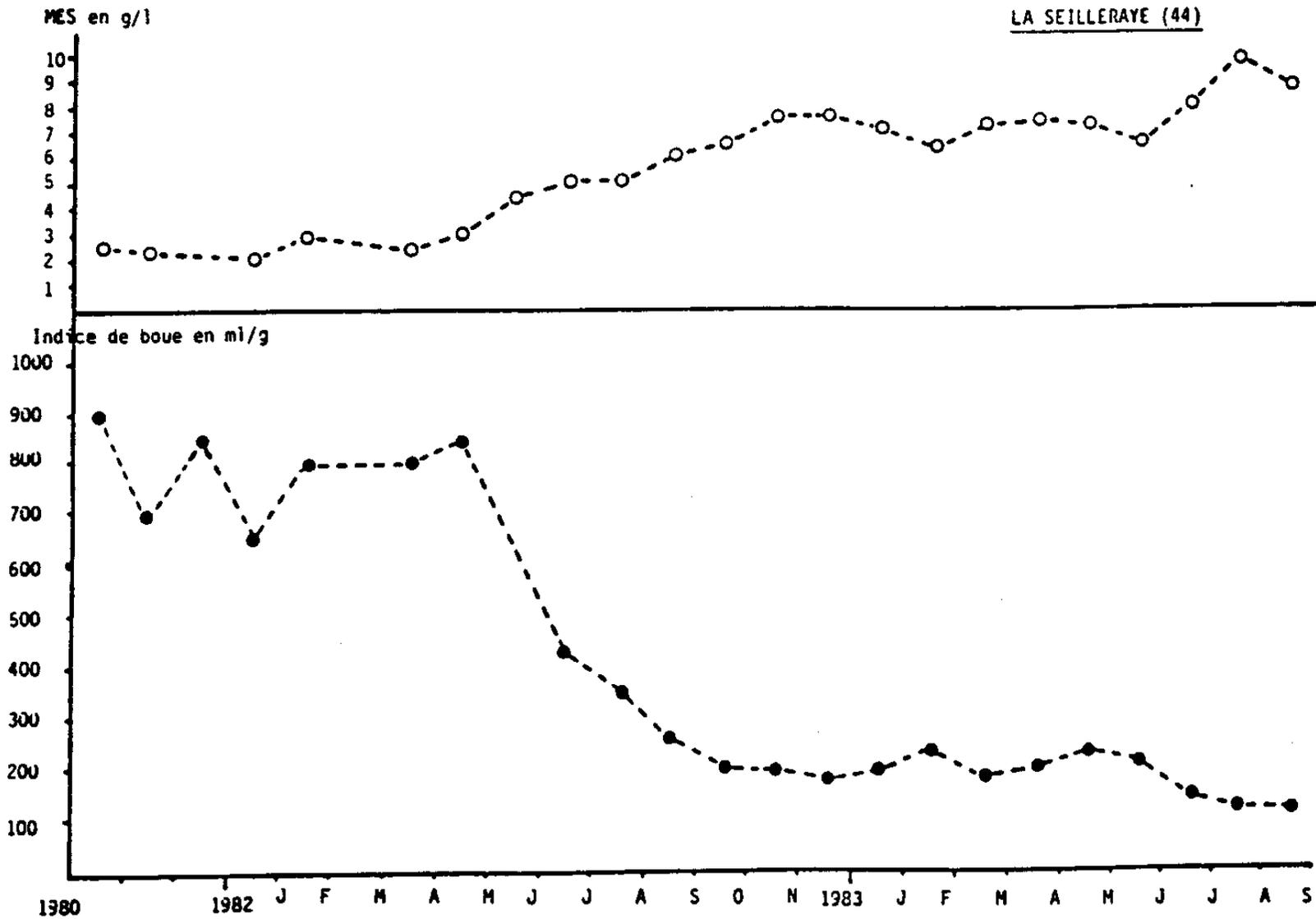
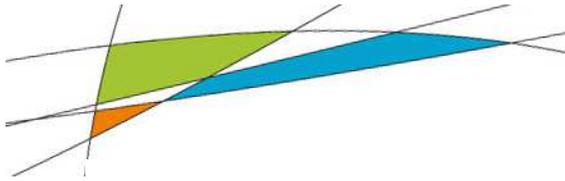
## Charge appliquée au niveau du floc:

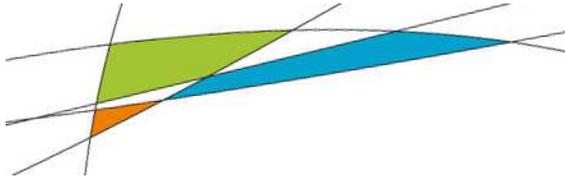
$$\text{Charge} = \frac{(\text{DCO}_{\text{dissoute influent}} - \text{DCO}_{\text{dissoute dure}}) \times V_{\text{eff.}}}{\text{MES}_{\text{BR}} \times \text{Volume Boue à recirculer.}}$$











# Moussage

---

## Causes et origine des mousses stables

**Mousses stables =  
Boues + Bulles + Micro-organismes filamenteux**

## Typologie des mousses

- Tensio-actifs
- Démarrage de la STEP
- Dénitrification (biologie des boues)
- Mousses stables (biologie des boues)



# Causes et origine des mousses stables

---

## Microthrix Parvicela

- Substrat nourricier (carrences,...)
- Septicité (dépôts,...)

## Nocardia Formes

- Age de boue
- Apport lipidiques, tensio-actifs

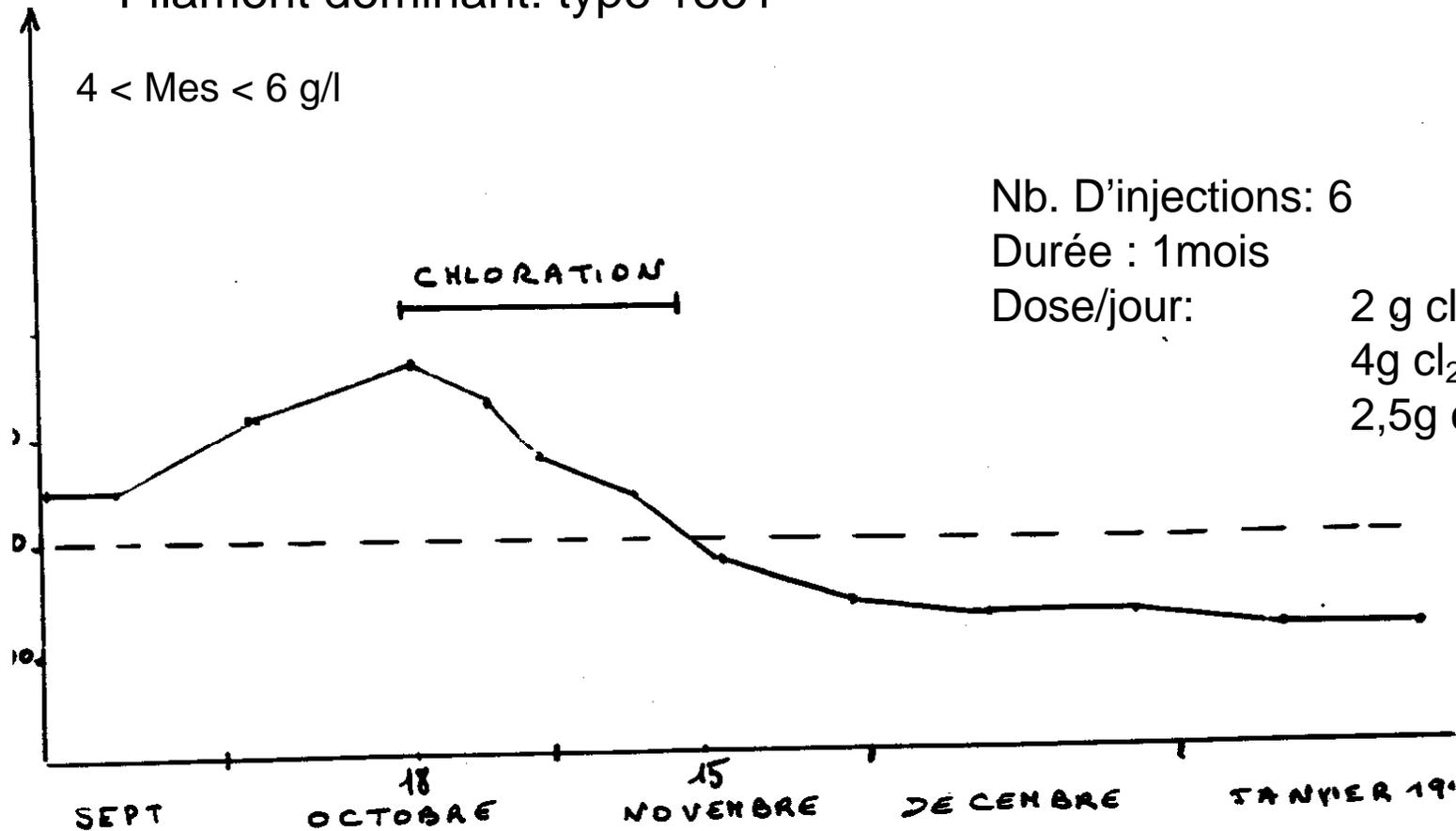
## Facteurs aggravants:

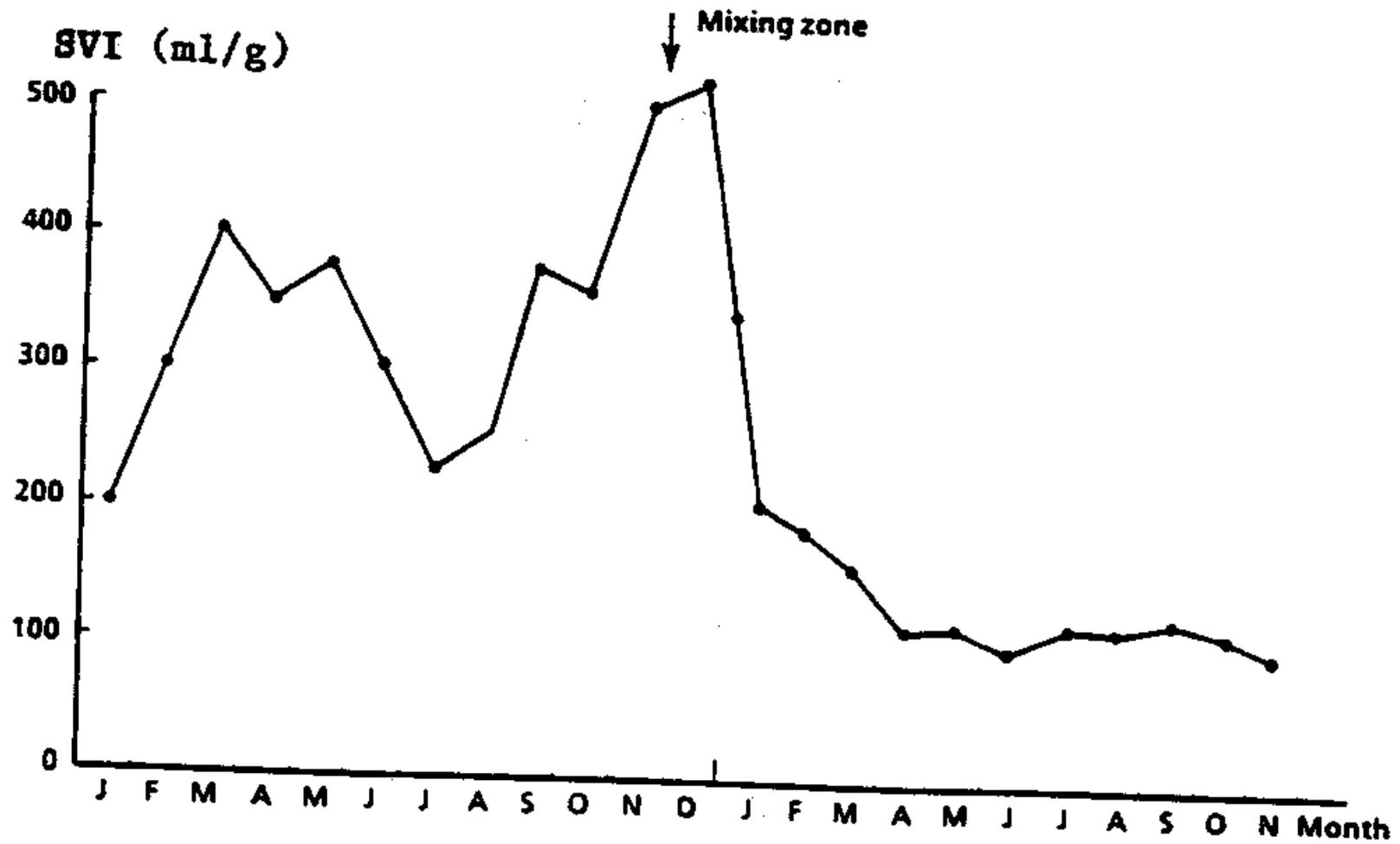
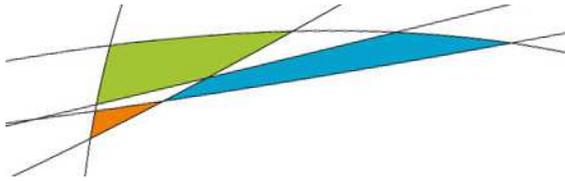
- Environnement de surface favorables (retours épaisseur, retours mousses...)
  - Conditions d'exploitation (aération, gestion des boues)
-

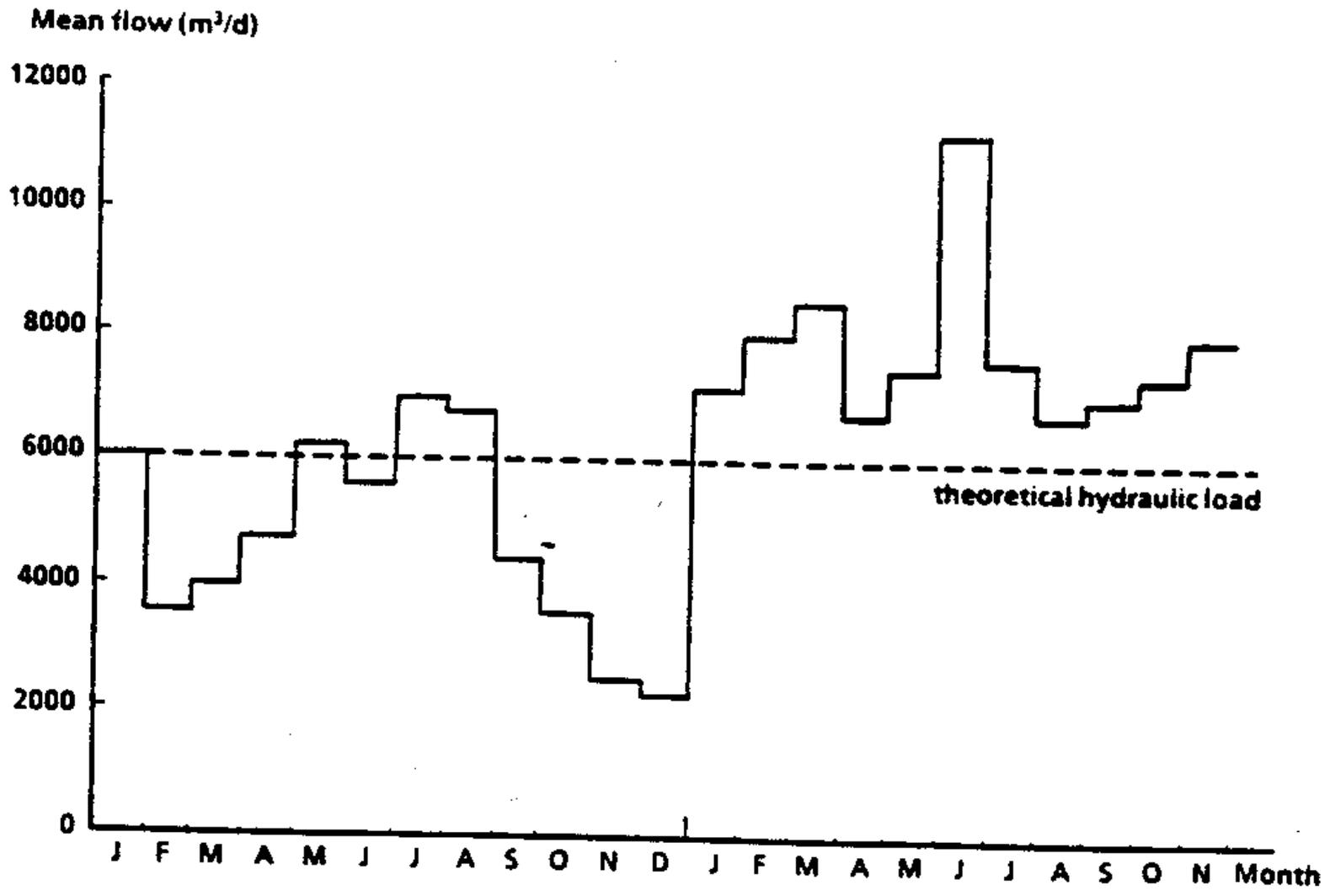
# Eau résiduaire industrielle (IAA)

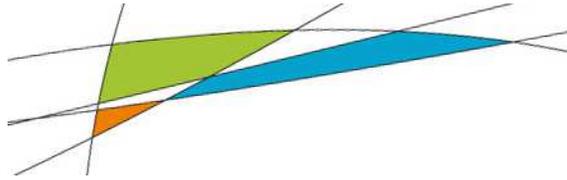
Filament dominant: type 1851

4 < Mes < 6 g/l





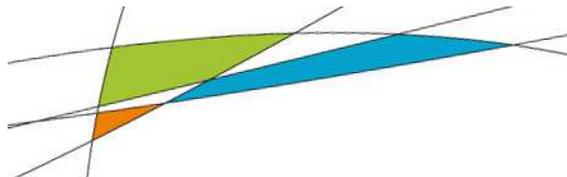




# Exemples de Dimensionnement

---

- ◆ Zone de contact
- ◆ Chloration



## Zone de contact

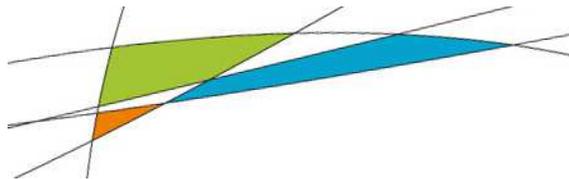
### Données de bases:

Débit journalier	300 m <sup>3</sup> /j
Débit moyen journalier	12.5 m <sup>3</sup> /h
Débit pointe horaire	35 m <sup>3</sup> /h
DCO de l'effluent brut	700 mg/l
DCO dissoute	
(heures les plus chargées)	300 mg/l
MES du bassin d'aération	5 g/l
MES recirculation	8 g/l

### Hypothèses (effluent urbain):

Charge appliquée dans la zone de contact: C=100 mg DCO<sub>fa</sub>/g  
MES

Temps de contact en pointe: T = 10 minutes



# Calcul du dimensionnement

---

## ➤ Calcul du débit des boues à recirculer

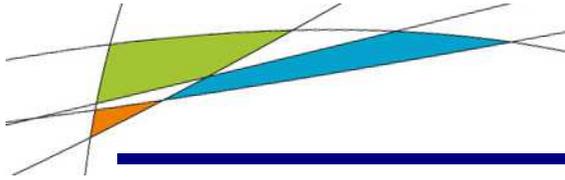
$$\begin{aligned} Q \text{ rec.} &= \frac{\text{DCOfa} \times \text{QE}}{\text{Charge} \times [\text{BR}]} \\ &= \frac{(300 - 35 \text{ (réfractaire)}) \times 35}{100 \times 8} = 11,6 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

## ➤ Calcul du volume de la zone de contact

$$\begin{aligned} &= \frac{T (\text{QE} + \text{Qb})}{60} \quad T \text{ de contact} = \text{Volume} / Q \\ &= \frac{10 \times (35 + 11,6)}{60} = 7,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Remarques : pointes de pollution / valeurs moyennes

---

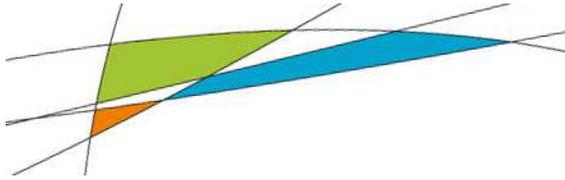


# Chloration

## Exemple de dimensionnement d'une chloration par injection à la recirculation

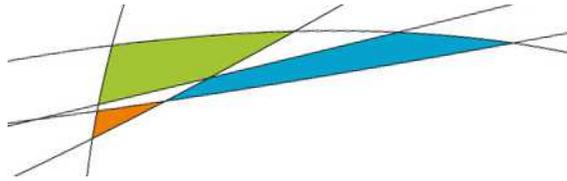
### Données

- Volume du bassin d'aération  $V_{BA}$  = 680 m<sup>3</sup>
- Volume du clarificateur occupé par des boues  $V_{DB}$  = 100 m<sup>3</sup>
- Teneur en MES en aération  $C_{BA}$  = 3,5 g/l
- Teneur en MES en recirculation  $C_R$  = 5 g/l
- Débit de recirculation  $Q_R$  = 60 m<sup>3</sup>/h
- Débit de pompe à chlore  $Q_{Cl}$  à définir en l/h
- Chlore en solution commerciale à 48 ° Cl  
Soit 152 g de Chlore actif par litre (1 Cl = 3.17 g de Chlore actif/l)
- Dose appliquée (1er temps) : 4 g de Cl<sub>2</sub>/kg de MES/j



## Précautions

- **Dose au point d'injection < à 35 mg Cl<sub>2</sub>/l de boue  
(dans le cas contraire, augmenter le nombre de points  
d'injection)**
- **Le taux de passage d'une même particule au point  
d'injection doit être supérieur à 2,5 fois par jour.**



# Calcul du dimensionnement

---

## ➤ Masse totale de MES

$$\begin{aligned} &= V_{BA} \times C_B + VD_B \times (C_r + C_{BA}) / 2 \\ &= 680 \times 3.5 + 100 \times 4.25 \\ &= 2\,800 \text{ kg} \end{aligned}$$

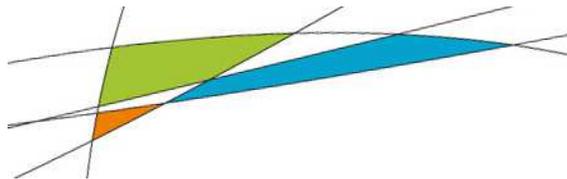
## ➤ Quantité de Chlore à injecter

$$\begin{aligned} &= \text{Masse de boue} \times \text{dose préconisée} \\ &= 2\,800 \text{ kg} \times 4 \text{ g Cl}_2 / \text{lg de MES.j} \\ &= 11\,200 \text{ g de Cl}_2/\text{j} \end{aligned}$$

La solution commerciale est à 150 g de Cl<sub>2</sub>/l

Soit une injection de  $11\,200 / 150 = 74.67$  l/jour ou 3.11 l/heure

---



# Calcul du dimensionnement

---

- **Concentration** au point d'injection : g de Cl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> recirculé

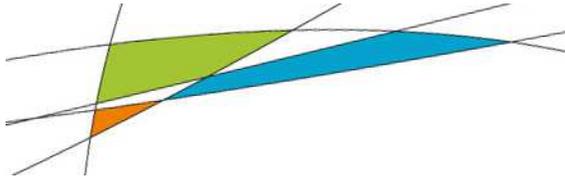
$$C = \frac{\text{masse de Cl}_2 \text{ injecté par jour}}{\text{Q journalier de recirculation}} = \frac{11\,200}{60 \times 24} = 7.77 \text{ g/m}^3 \text{ (ou mg/l)}$$

- **Taux de traitement** au point d'injection : g de Cl<sub>2</sub>/kg de MES

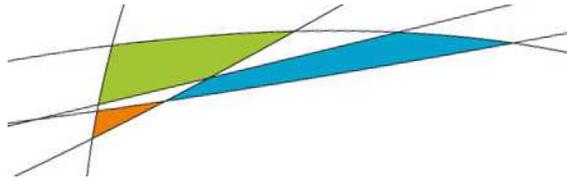
$$T = \frac{\text{masse de Cl}_2 \text{ injecté par jour}}{\text{masse massique au point d'injection}} = \frac{11\,200}{60 \times 24 \times 5} = 1.5 \text{ g Cl}_2/\text{kg MES}$$

- **Fréquence du taux de passage** d'une même particule au point d'injection

$$F = \frac{\text{masse massique au point d'injection}}{\text{masse totale de MES}} = \frac{7\,200}{2\,800} = 2.6 \text{ j}^{-1} \text{ optimum: } 2 < F < 3$$



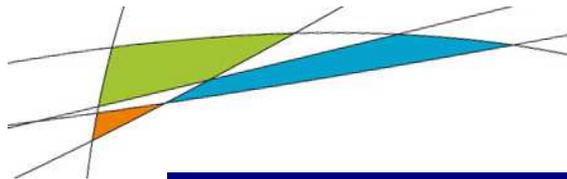
## DOCUMENTS ANNEXES



# Relations Causes / Filaments

## Station type faible charge

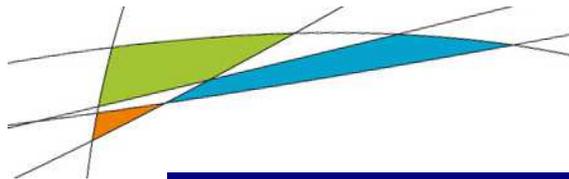
Filaments	Facteurs de développement
Microthrix parvicella	<b>Carence en nutriments - Temps d'anoxie trop long, septicité (Soufre, AGV), flottants.</b>
Type 0041	<b>Carence en nutriments (C), effluents dilués.</b>
Sphaerotilus natans	<b>Carence en O<sub>2</sub> et substrat facilement assimilable</b>
Type 0675	<b>Carence en nutriments et en O<sub>2</sub></b>
Nocardioformes	<b>Carence en nutriments(laiterie) et flottants persistant – Age de boue élevé</b>
Algues pigmentées	<b>Sous-charge, long arrêt de l'aération</b>
Type 0092	<b>Carence en nutriments (N ou P) et en O<sub>2</sub> et flottants non repris (septicité)</b>
Type 0581	<b>Carence en nutriments (N) et en O<sub>2</sub></b>



# Relations Causes / Filaments

## Station type faible / moyenne charge

Filaments	Facteurs de développement	Type d'effluent
Thiothrix sp	<b>Soufre réduit, carence en nutriments (N) et en O<sub>2</sub> – à-coups de charge</b>	<b>IAA</b>
Type 021 N	<b>Déséquilibre en nutriments (N) - Carence en O<sub>2</sub> - à-coups de charge – Soufre</b>	
Type 0961	<b>Carence en nutriments (le plus souvent en P voir N)</b>	
Type 1701	<b>Carence en O<sub>2</sub> – Déséquilibre – Substrat facilement assimilable</b>	<b>IAA / papeteries</b>
Type 1851	<b>Déséquilibre en nutriments et en O<sub>2</sub></b>	
Nostocoïda limicola	<b>Carence en nutriments et en O<sub>2</sub></b>	<b>Domestiques et industries</b>
Type 1863	<b>Déséquilibre en nutriments – Carence en O<sub>2</sub></b>	<b>(substrat facilement</b>

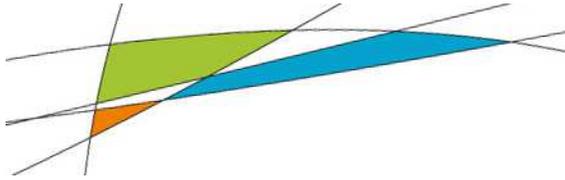


# Relations Causes / Filaments

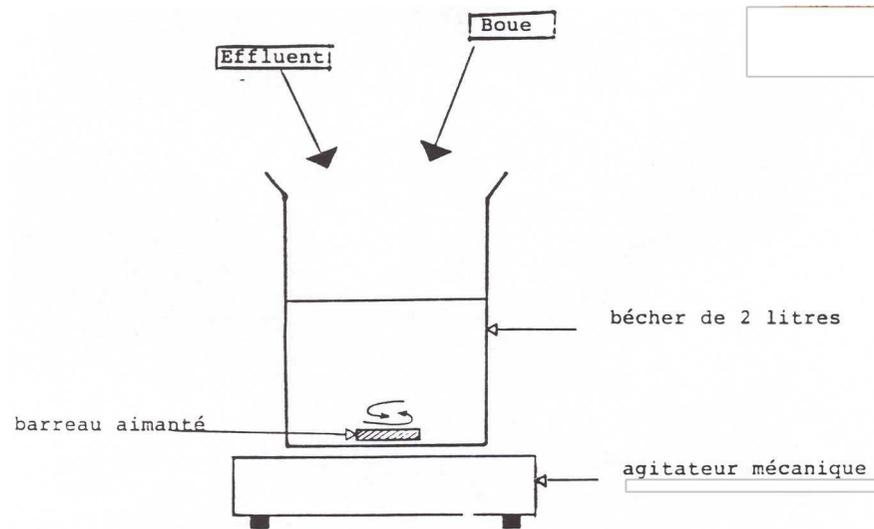
## Station type moyenne / forte charge

Filaments	Facteurs de développement	Type d'effluent
Type 021 N <b>Sans domaine précis</b>	<b>Carence en nutriments et en O<sub>2</sub> et à-coups de charge</b>	

Filaments	Facteurs de développement	Type d'effluent
Type 0914 Beggiatoa sp Haliscomenobacter hydrossis Type 803 Champignons	<b>Soufre réduit</b> <b>Soufre réduit : anaérobiose (dépôts)</b> <b>Carence en O<sub>2</sub> et substrat facilement assimilable</b>  <b>Forte septicité</b> <b>pH variable – effluents chimiques</b>	<b>papeteries</b>

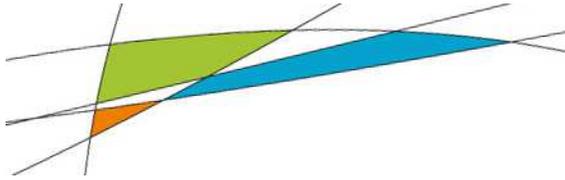


## Schéma du dispositif expérimental

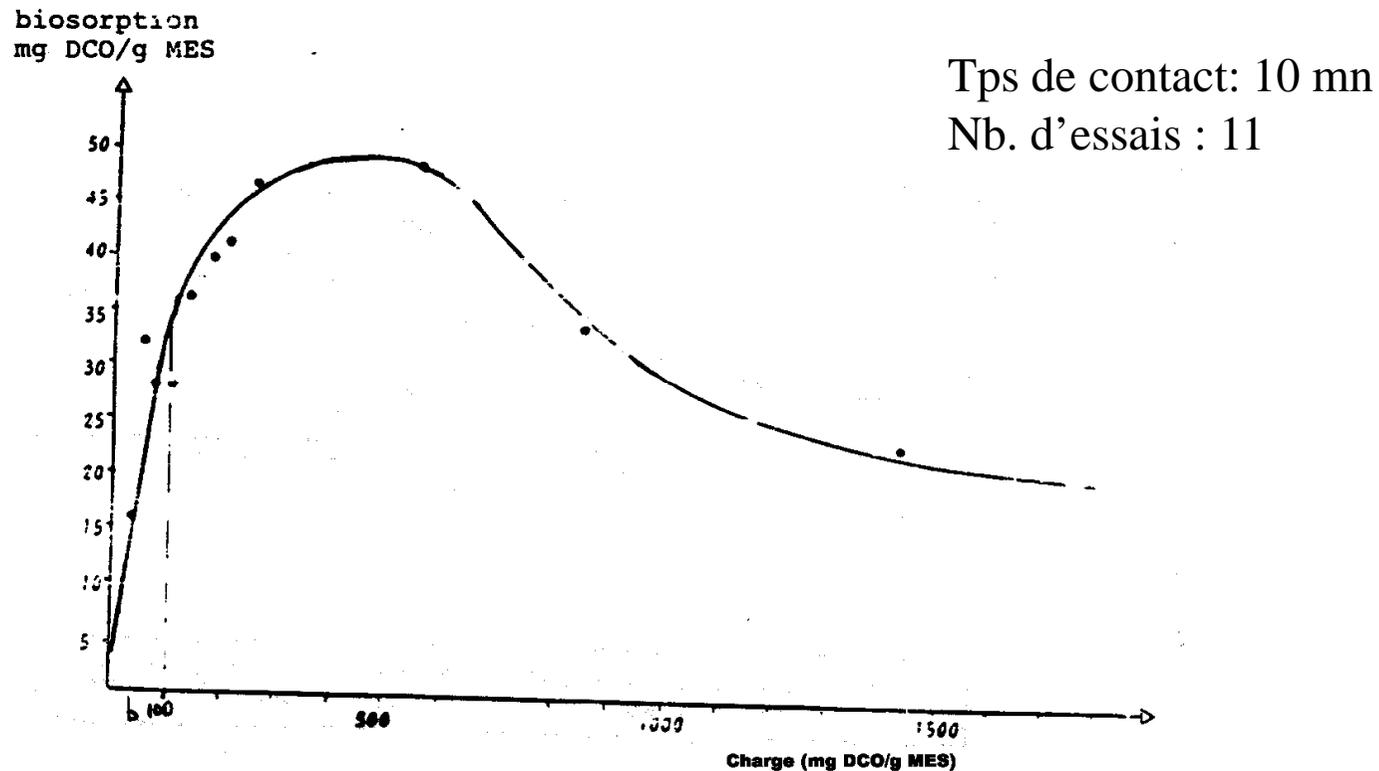


## Principe de la mesure:

- T0: introduction dans le bêtecher d'un volume connu d'effluent et de boue
- Brassage continu du mélange
- T<sub>i</sub>: prélèvement d'un échantillon du mélange immédiatement centrifugé et filtré



Chaque couple (effluent-boue) testé est caractérisé par une courbe dont l'allure générale est la suivante:



Evolution de la biosorption en fonction de la charge au niveau du floc



## Méthodes de diagnostics du fonctionnement des stations d'épuration

- **Analyses physico-chimiques**
  - **constat = état des lieux**
- **Enregistrement :**
  - **de paramètres de fonctionnements**
  - **et divers capteurs**
- **Tests biologiques**
  - **vitesse nitrification, biodégradabilité, respirométrie ...**
- **Observations des boues**
  - **macroscopiques (IB) et microscopiques**



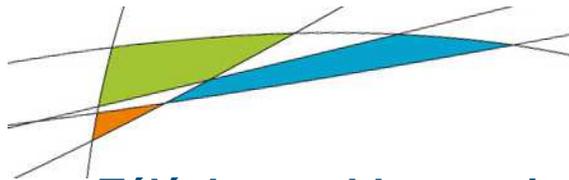
## Méthodes de diagnostics du fonctionnement des stations d'épuration

- **Intérêt des observations microscopiques de boues activées**
  - **Estimation rapide historique des paramètres station**
    - *infos avant évolution des paramètres analytiques*
  - **Nature d'effluent**
    - *biodégradabilité, nutriments, toxique*
  - **Niveau de charge polluante**
  - **Fonctionnement des installations amont/aval**
    - *réseau, prétraitement, traitement des boues...*
  - **Conditions d'aération, de brassage et d'âge de boue**
- **Anticiper un dysfonctionnement biologique et/ou diagnostiquer les causes**
- **Orienter les stratégies d'exploitation et/ou traitements curatifs**



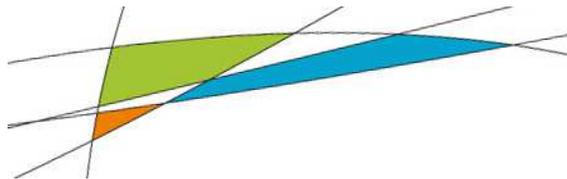
# Bibliographie

- Téléchargeable gratuitement sur le site : [www.fndae.fr](http://www.fndae.fr)
  - 2 - document technique FNDAE n° 33. Dysfonctionnements des stations d'épuration : origines et solutions
  - 6 - document technique FNDAE n° 8. Guide technique sur le foisonnement des boues activées
  - document technique FNDAE n° 24. Performances des systèmes de traitement biologique aérobie des graisses. Graisses issues des dégraisseurs de stations d'épuration traitant des effluents à dominante domestique
  - ...
- Non disponible en ligne :
  - Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems, third Edition (JENKINS, 2004) ISBN : 1-56670-647-5. 101 Euros.
  - 6 - Process Control of activated sludge plants by microscopic investigation (Eikelboom, 2000) + CD associé ISBN 1-900222-29-9 <http://www.asissludge.com/>
  - CD-Rom : *Identification and Control of Filamentous Micro-Organisms in Industrial Wastewater Treatment Plants* (Eikelboom, 2007) ISBN 184339096—5
  - 3 - Les biomasses épuratrices (VEDRY, 1996) ISBN 2-11-087429-5 prix environ 40 Euros
  - 1 - Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées (Cemagref, 1999) ISBN 2-85362-510-9 prix 37,96 euros <http://www.quae.com/fr/livre/?GCOI=27380100792360>
  - Microfaune caractéristique des boues activées (Agence de l'eau Seine Normandie, 2002) ISBN 2-11-087431-7 (gratuit)
  - 5 -  $\mu$ icro-F Diagnostic (CNRS-UMII, Drakides, 1994)



# Bibliographie

- Téléchargeable gratuitement sur le site : <https://gisbiostep.cemagref.fr/les-publications-collectives-1>
  - **Les publications collectives :**
    - *Les éléments les plus significatifs de la microfaune des boues activées*
    - *4 - Dysfonctionnement biologiques dans les stations d'épuration en boues activée*
    - *7 - Hors série FNDAE : Guide de lutte contre les mousses biologiques stables dans les stations d'épuration à boues activées*
    - *Carnet de chloration*
    - *L'épaississement des boues : les règles de bonne gestion*
    - *Traitement des sulfures dans les réseaux*
    - *Note technique. Les matière de Vidange : bonnes pratiques pour limiter les nuisances en station d'épuration*
  - **Le partage d'expérience :**
    - *Comment démarrer une station d'épuration avec des boues d'une installation existante ?*
    - *L'apport de chaux permet-il d'apporter des bicarbonates dans les eaux usées ?*
    - *Comment peut on appréhender le passage d'un toxique sur une station d'épuration ?*
    - *Faut-il réensemencer le bassin d'aération après passage d'un toxique ?*
    - *Un digesteur qui mousse ?*
    - *Pourquoi et comment vérifier le bon fonctionnement d'un agitateur ?*
  - **Interrogations dysfonctionnements biologiques, par mail : [gisbiostep@cemagref.fr](mailto:gisbiostep@cemagref.fr)**



# Bibliographie

