



Mécanismes d'élimination de l'azote et du phosphore par la boue activée.

Jean Pierre Canler, du 20 au 22 novembre 2017

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



www.irstea.fr



Principe de formation des boues activées

Culture bactérienne concentrée et floculée

Faible rapport substrat / biomasse

Substrat équilibré C / N / P

Présence d'oxygène dissous

Décante lorsqu'on cesse de l'agiter

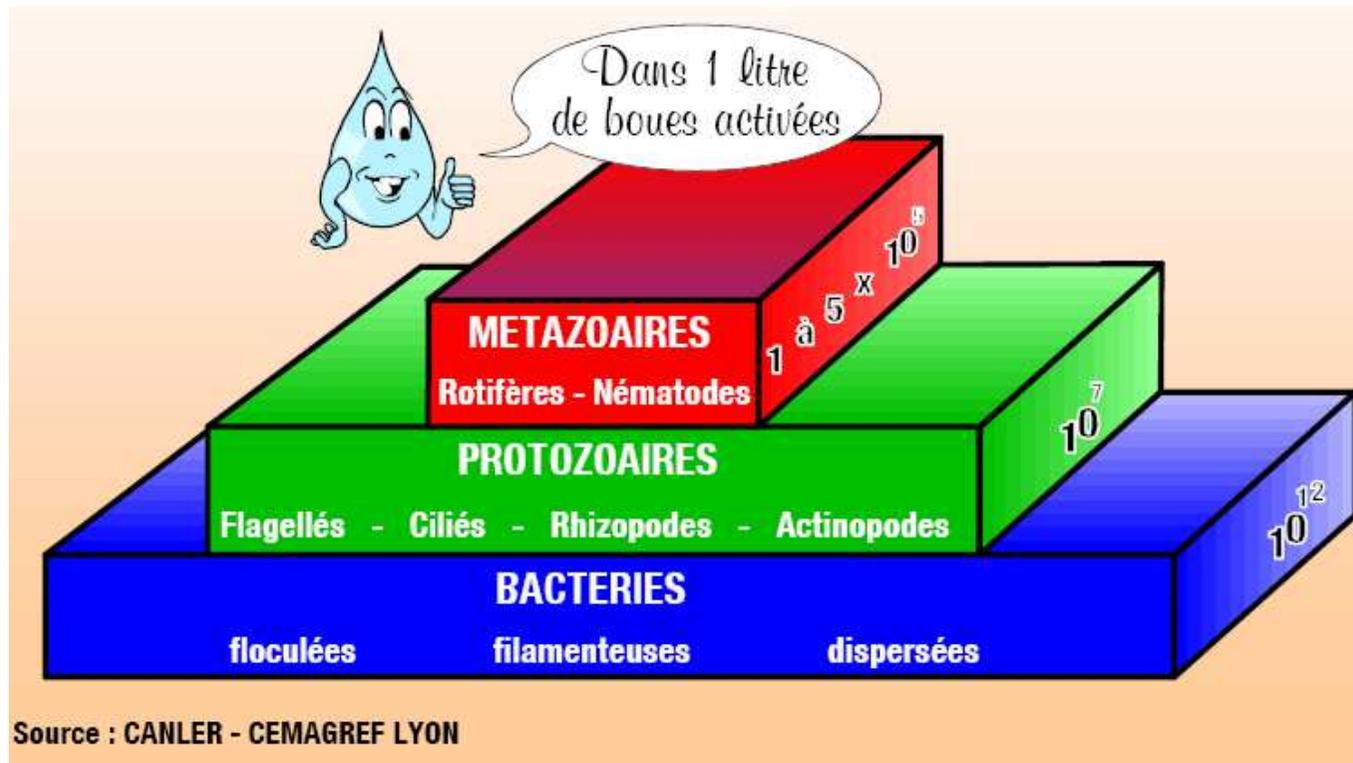
Composition des boues activées

Eau

Matières organiques et minérales (solubles, colloïdales et particulaires « MES »), dont substrat

Flocs « MES »

Microorganismes = Biomasse « MVS »

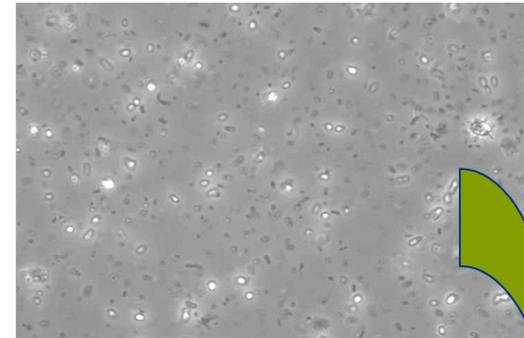


Boues activées

FLOCCULATION

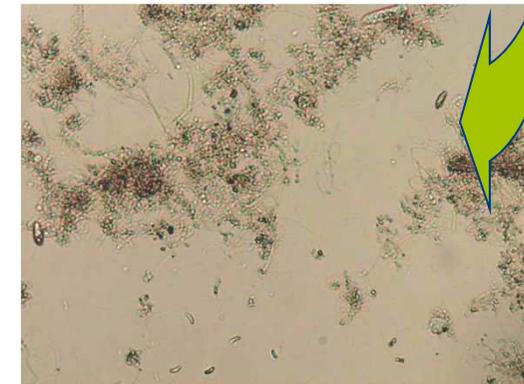
Au démarrage d'une station

[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 flocculée,
production d'EPS qui permet la cohésion des
bactéries

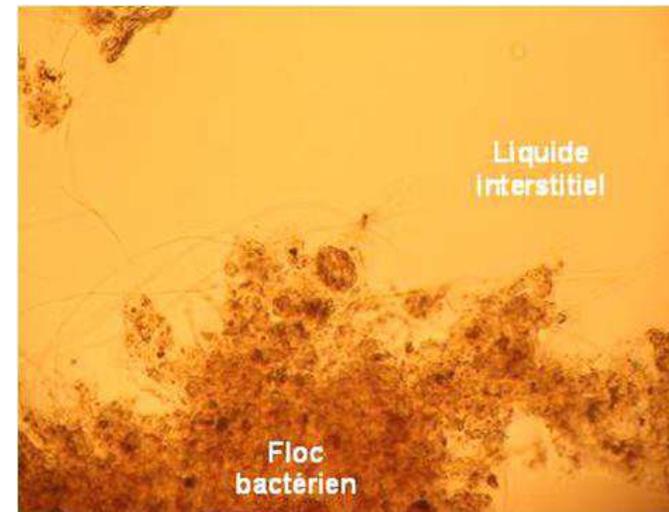




Composition des boues activées

5

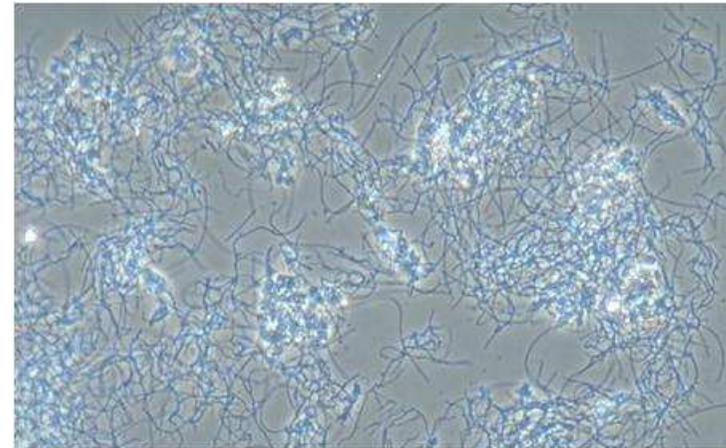
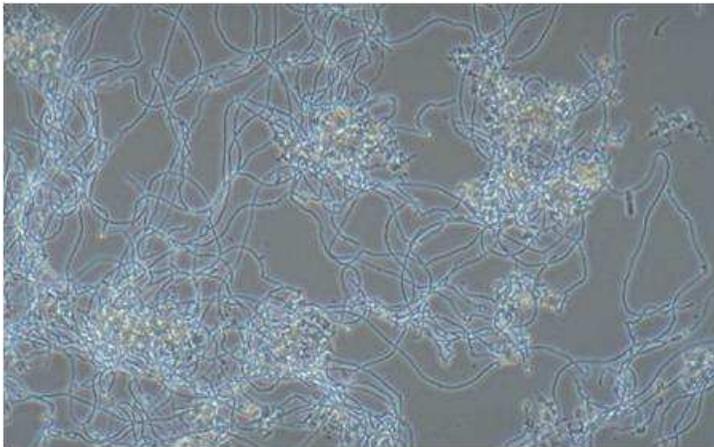
Flocs décantant correctement



Flocs + débris minéraux et végétaux + protozoaires

Composition des boues activées

Flocs filamenteux : décantation difficile





Plan de l'exposé

Introduction

Alimentation

Pré-traitements

Décantation primaire

Principes généraux des filières de traitement biologique aérobie

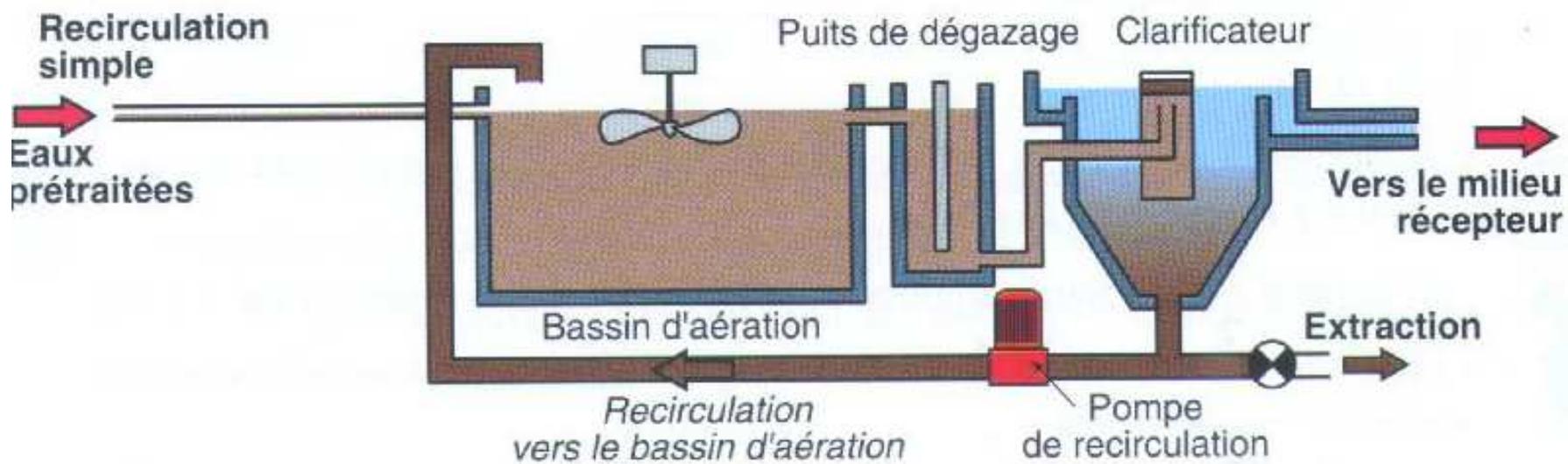
Fonctions et caractéristiques des procédés :

- Lits bactériens
- Disques biologiques
- Biofiltres
- Procédés physico-chimiques

Boues activées

- Description de la filière
- Traitement de l'azote
- Traitement du phosphore
- SBR
- Bioréacteurs à membranes immergées
- MBBR

Filière boues activées



Source : Manuel du conducteur de stations d'épuration.
Doc ARSATESE, AESN, CNFPT



Filière boues activées

Prétraitements

Décantation primaire (Optionnel mais peu favorable sauf si digestion)

Bassin de contact (cas des faibles charges)

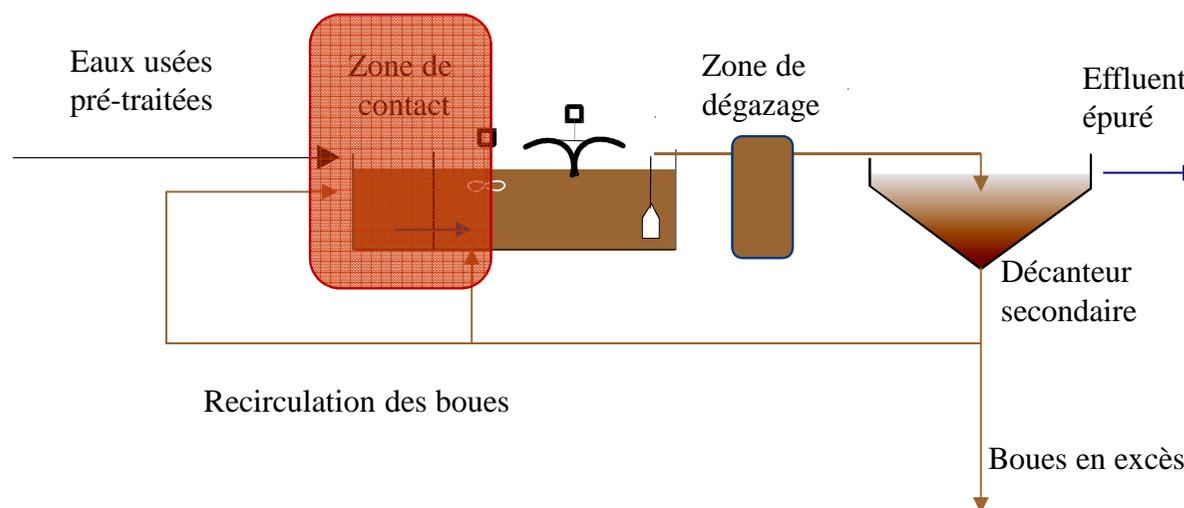
Bassin d'aération

Dégazage

Décanteur secondaire

Filière boues activées

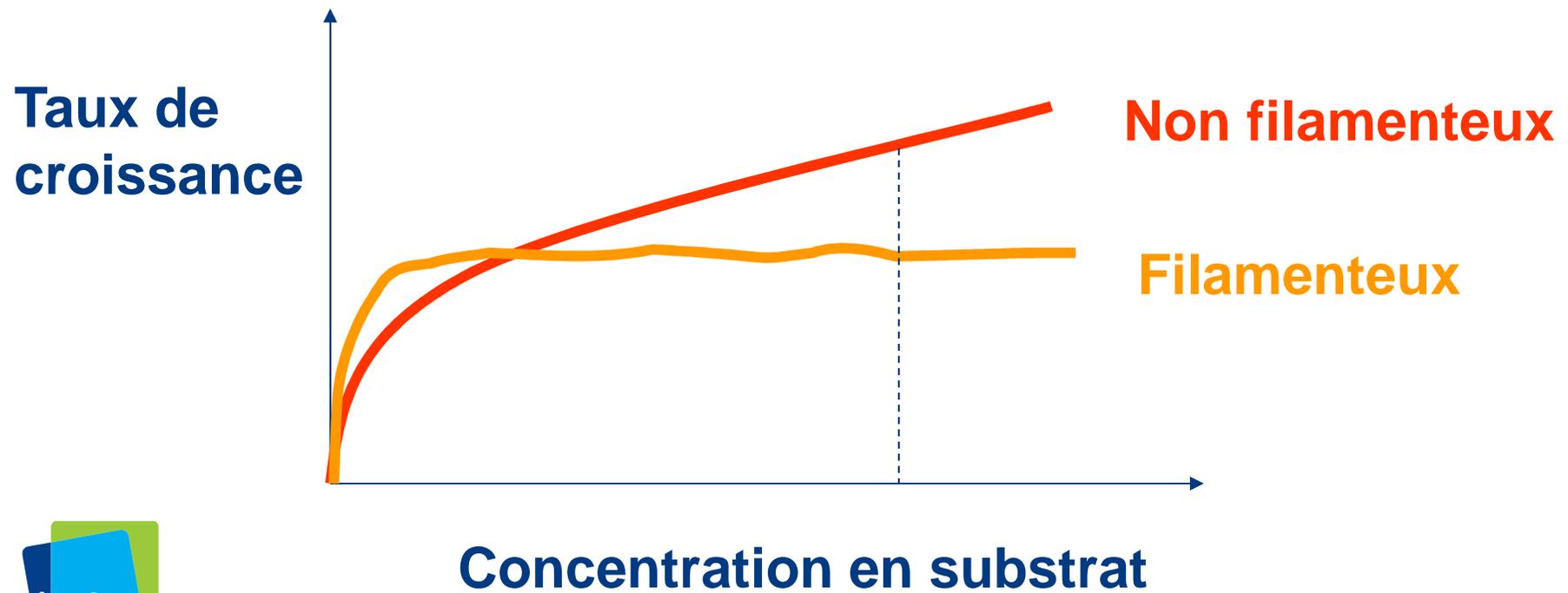
BASSIN D'AÉRATION + DÉCANTEUR SECONDAIRE



Filière boues activées

ZONE DE CONTACT

Zone amont en forte charge : favorise le développement de micro-organismes non filamenteux





Filière boues activées

ZONE DE CONTACT

Critères de dimensionnement : charge appliquée dans la zone :
100 mg DCOs / g MES

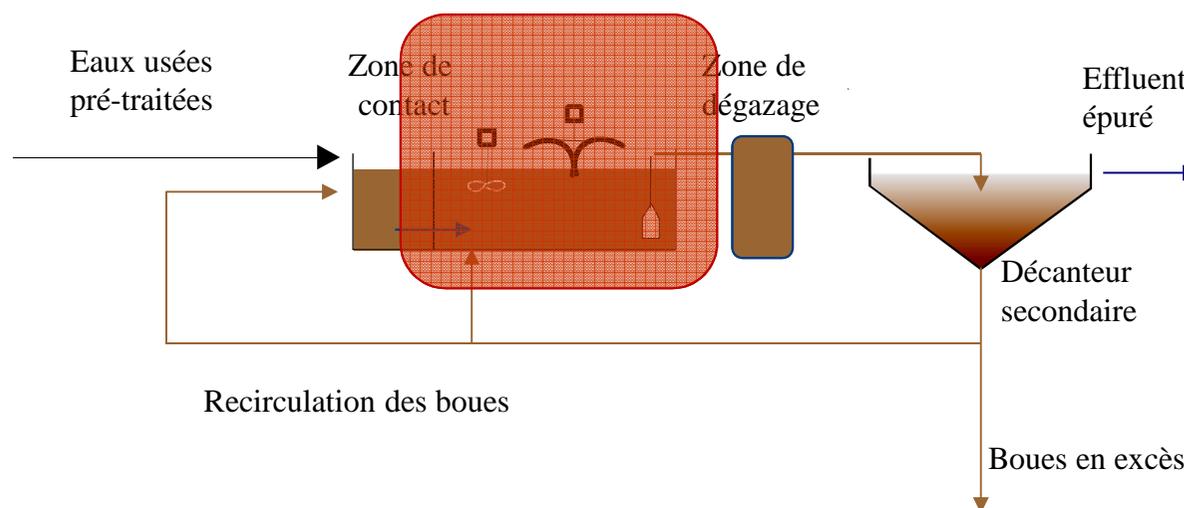
⇒ Débit de recirculation vers la zone

Temps de contact en pointe : 10 minutes

⇒ Volume de la zone

Filière boues activées

BASSIN D'AÉRATION + DÉCANTEUR SECONDAIRE





Filière boues activées

BASSIN D'AÉRATION ET AÉRATEURS

Bassin d'aération = réacteur biologique dans lequel s'effectue le traitement, équipé :

d'aérateurs : oxygène nécessaire au traitement

d'agitateurs : mélange durant les périodes d'arrêt de l'aération

Aérateurs

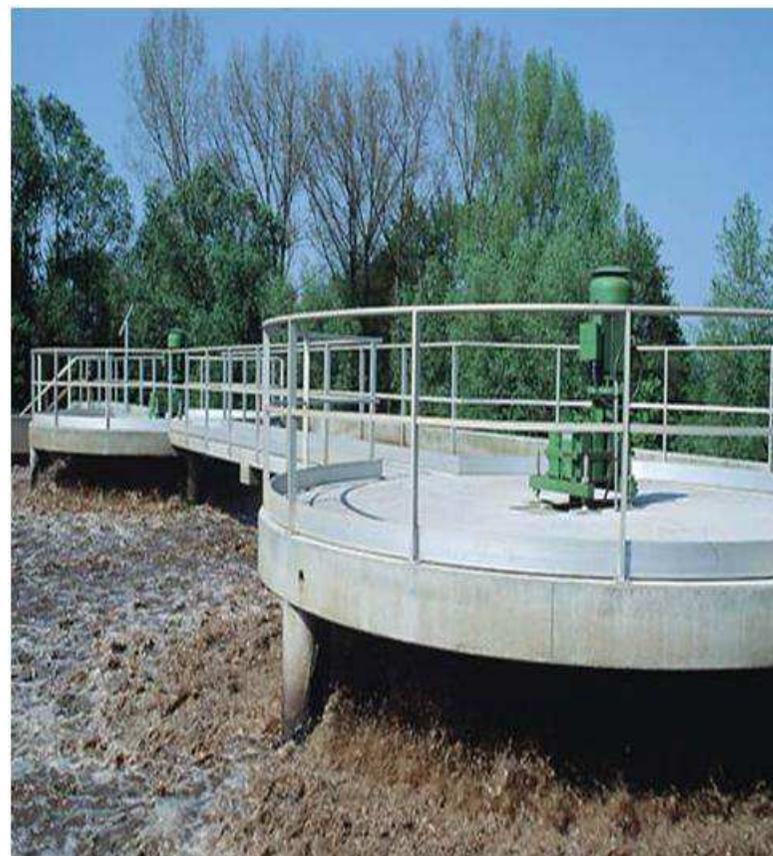
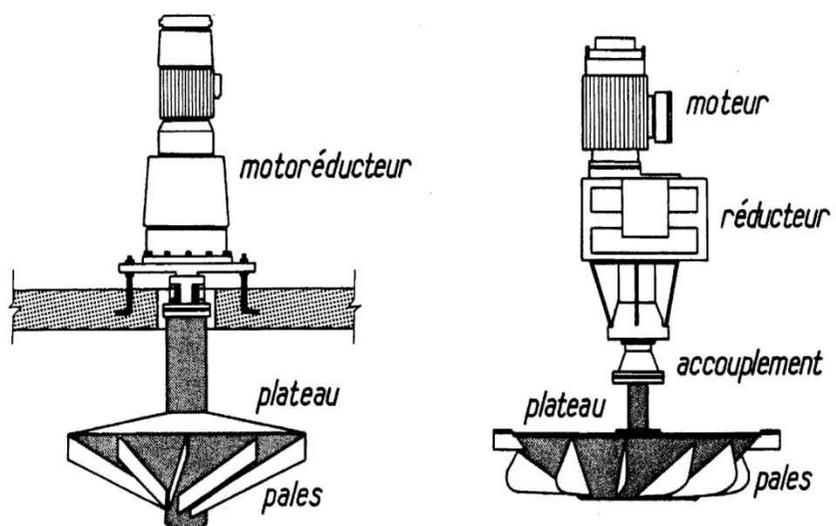
de surface

à insufflation d'air

Filière boues activées

AÉRATEURS

Turbines lentes
ASB moyen = $1,5 \text{ kgO}_2 \text{ kWh}^{-1}$



Filière boues activées

AÉRATEURS

Brosses

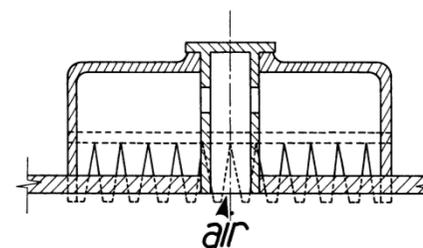
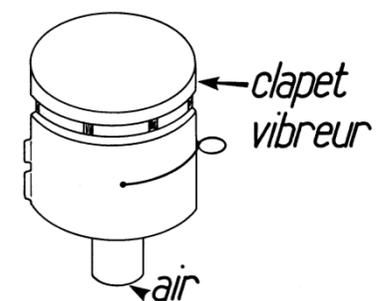
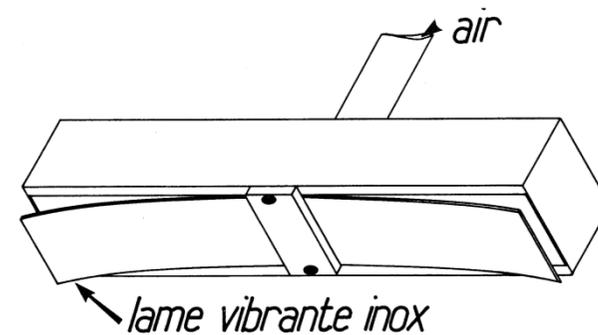
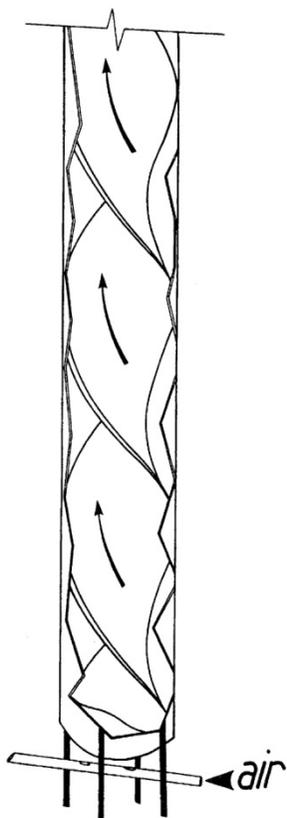
ASB moyen = $1,5 \text{ kgO}_2 \text{ kWh}^{-1}$



Filière boues activées

AÉRATEURS

Insufflation d'air en moyennes bulles
ASB moyen = $1,0 \text{ kgO}_2 \text{ kWh}^{-1}$



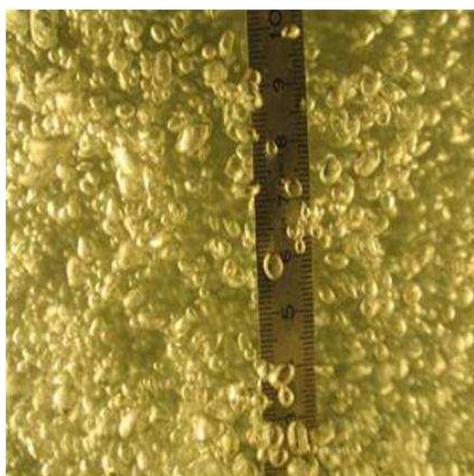
Filière boues activées

AÉRATEURS

Insufflation d'air en fine bulles
ASB moyen = $2,5 \text{ kgO}_2 \text{ kWh}^{-1}$



2 – 5 mm



Filière boues activées

AÉRATEURS

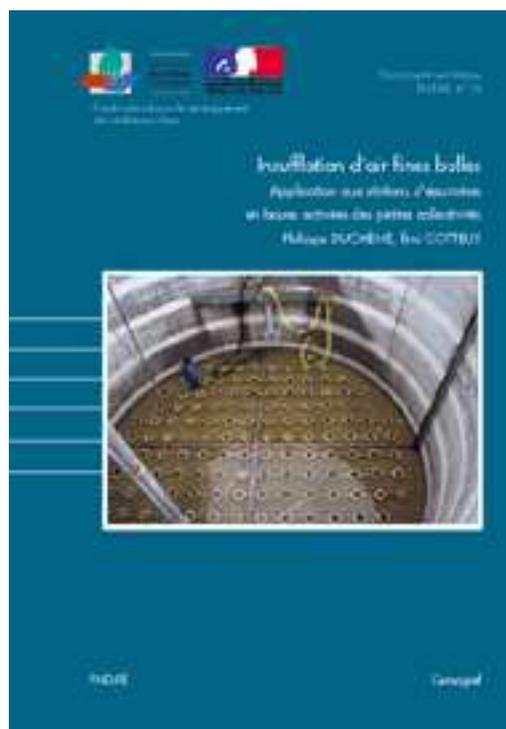
Insufflation d'air en fine bulles – chenaux agités
ASB moyen = $2,8 \text{ kgO}_2 \text{ kWh}^{-1}$



Filière boues activées

AÉRATEURS

2 documents techniques FNDAE (fndae.fr)



N° 26 (2002)



N° 31 (2005)

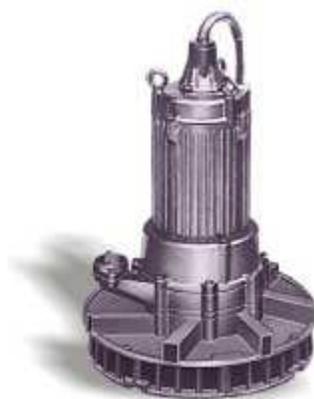
Filière boues activées

AÉRATEURS

Insufflation d'air – turbines immergées

Mélange air/eau

Avec ou sans insufflation d'air



Pas de colmatage
Facilité d'installation (posés en fond de bassin)
Pas de membranes à changer

Filière Aérateurs boues activées

Vérification des garanties en eau claire : méthode normalisée de réoxygénation d'eau claire (NFEN12255-15, 2004)





Filière boues activées

AÉRATEURS

Conversion performances en eau claire / performances en boues

Aérateurs de surface
Moyennes bulles

Facteur correctif = 0,7
(en très faible charge)

Fines bulles

Facteur correctif = 0,5
(en très faible charge)



Filière boues activées

BASSIN D'AÉRATION

Principe de dimensionnement d'un bassin d'aération à partir de la charge massique ou la charge volumique

Pour un traitement poussé de l'azote à 12°C :

$$C_m = 0,1 \text{ kg DBO}_5 \text{ kg MVS j}^{-1}$$

$$C_v = 0,28 \text{ kg DBO}_5 \text{ m}^{-3} \text{ j}^{-1}$$

$$\text{MES} = 4,0 \text{ g L}^{-1}$$

$$\text{MVS} = 2,8 \text{ g L}^{-1}$$



Filière boues activées

BASSIN D'AÉRATION

Principe de dimensionnement d'un bassin d'aération à partir de l'âge de boues

θ = âge de boues = masse de boues dans le système / masse de boues extraites

$$\theta = V \times [\text{MES}] / \Delta\text{MES}$$

V = volume du bassin

ΔMES = Production de boues, formules empiriques, par exemple :

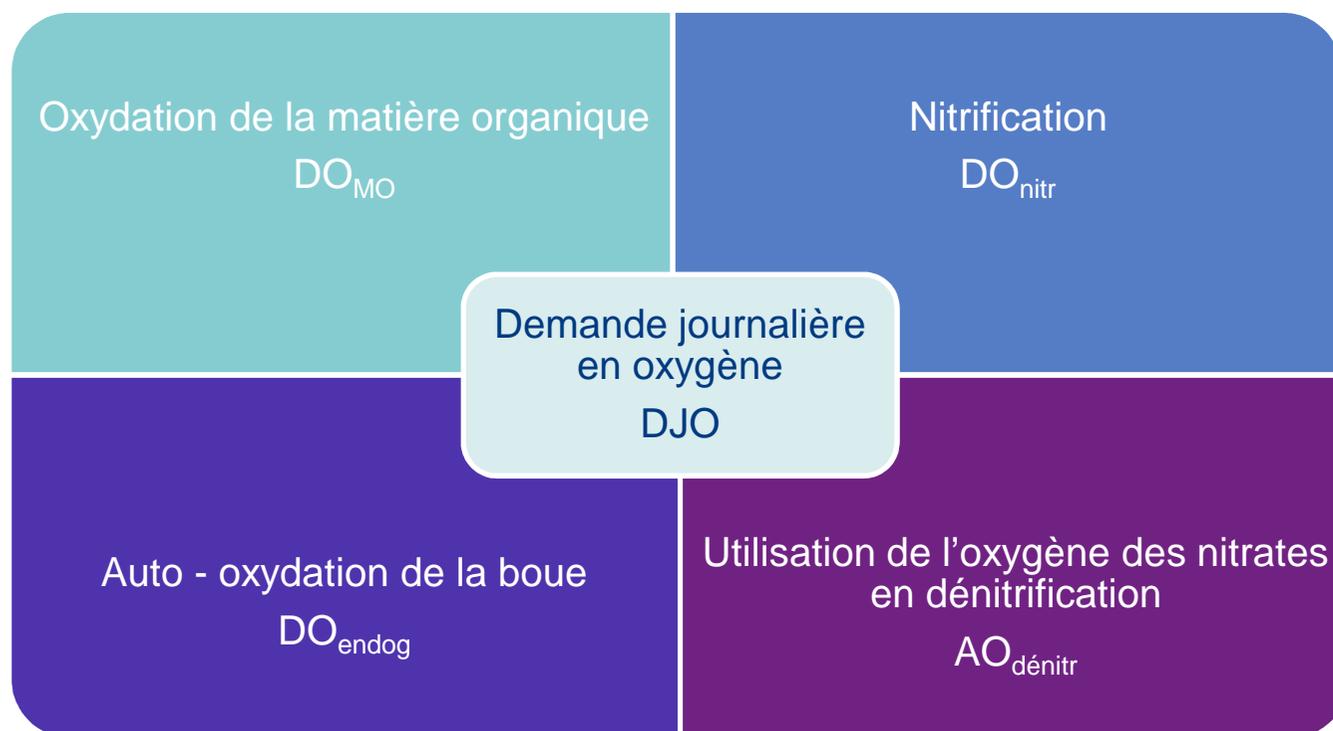
$$\Delta\text{MES} = 0,84 (\text{MES} + \text{DBO}_5) / 2 \text{ (ERU, réseau séparatif)}$$

Pour un traitement poussé de l'azote à 12°C :

$$\theta = 15 \text{ jours}$$

Filière boues activées

DIMENSIONNEMENT – SYSTÈME D'AÉRATION



$$DJO = DO_{MO} + DO_{NITR} + DO_{ENDOG} - AO_{DÉNITR}$$

$$DJO = DOMO + DONitr + DOendog - AODénitr$$

Filière boues activées

DIMENSIONNEMENT – SYSTÈME D'AÉRATION

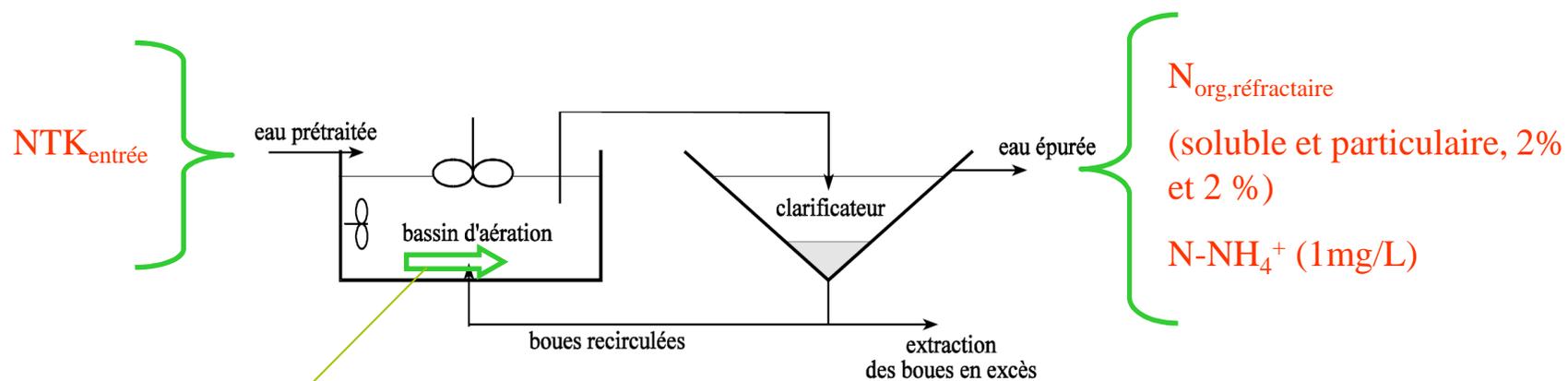
Demande journalière en oxygène

Demande en oxygène	Estimation
DO_{MO}	$0,65 \times Rdt_{DBO5} \times \text{charge } DBO_5/j$
DO_{nitr}	$4,2 \times N_{nitr}$
DO_{endog}	$0,07 \times \text{masse MVS dans le BA}$
AO_{denitr}	$2,85 \times N_{denitr}$

Filière boues activées

DIMENSIONNEMENT – SYSTÈME D'AÉRATION

Azote à nitrifier



Assimilation

0,05 DBO₅, éliminée

Filière boues activées

SYSTÈME D'AÉRATION

Demande journalière en oxygène

- DJO

Besoins horaires en oxygène

- $DHO = DJO / \text{temps d'aération par jour}$

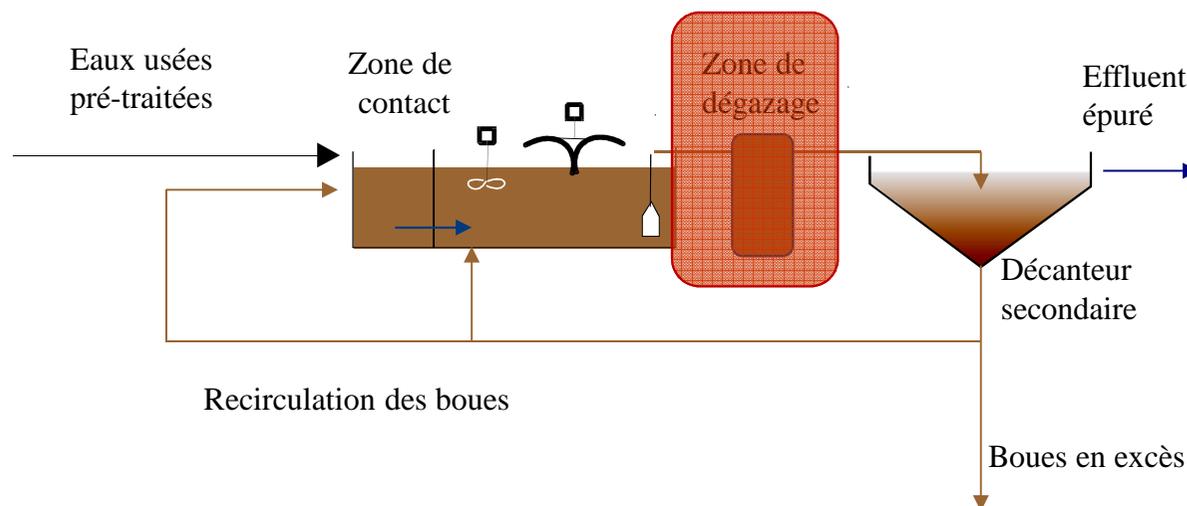
Apport horaire en eau claire

- $AH = DHO / \text{Facteur correctif}$

Puissance à installer en fonction
du système d'aération retenu

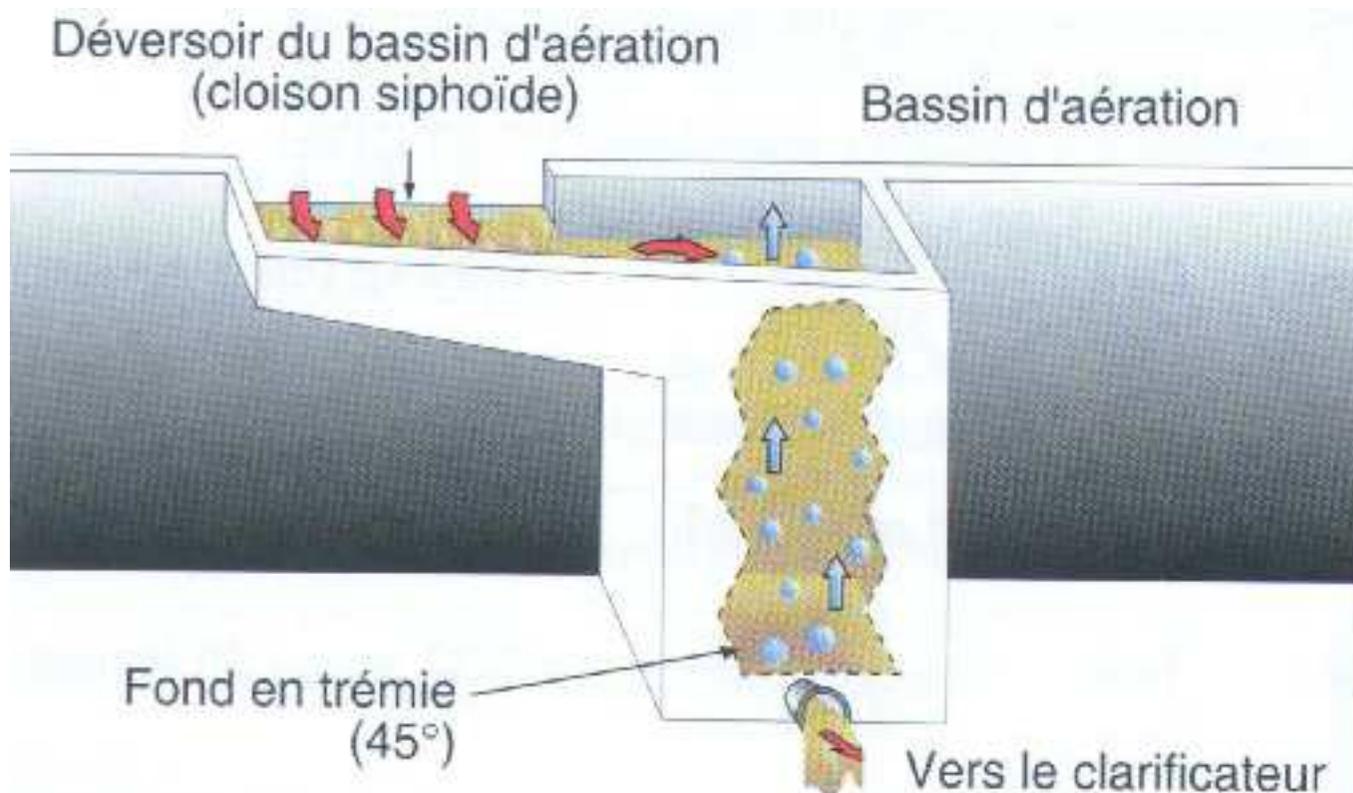
Filière boues activées

BASSIN D'AÉRATION + DÉCANTEUR SECONDAIRE



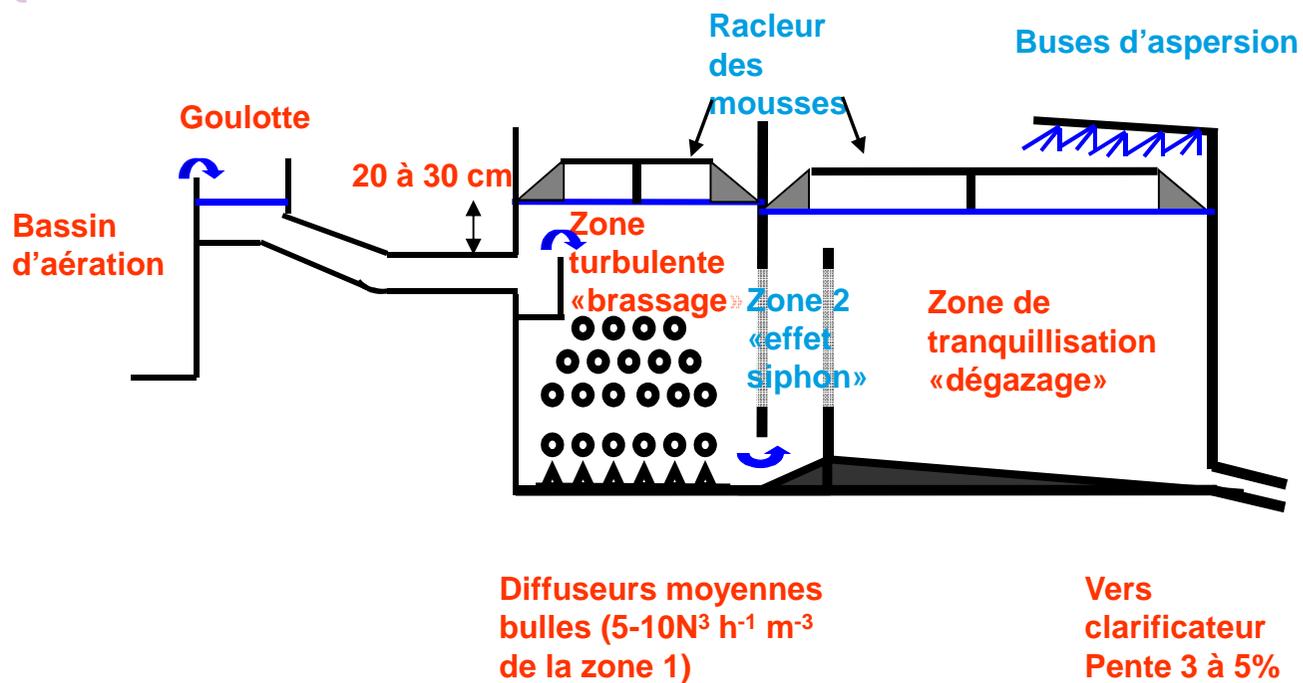
Filière boues activées

ZONE DE DÉGAZAGE



Filière boues activées

ZONE DE DÉGAZAGE



Source : jean-pierre.canler@irstea.fr

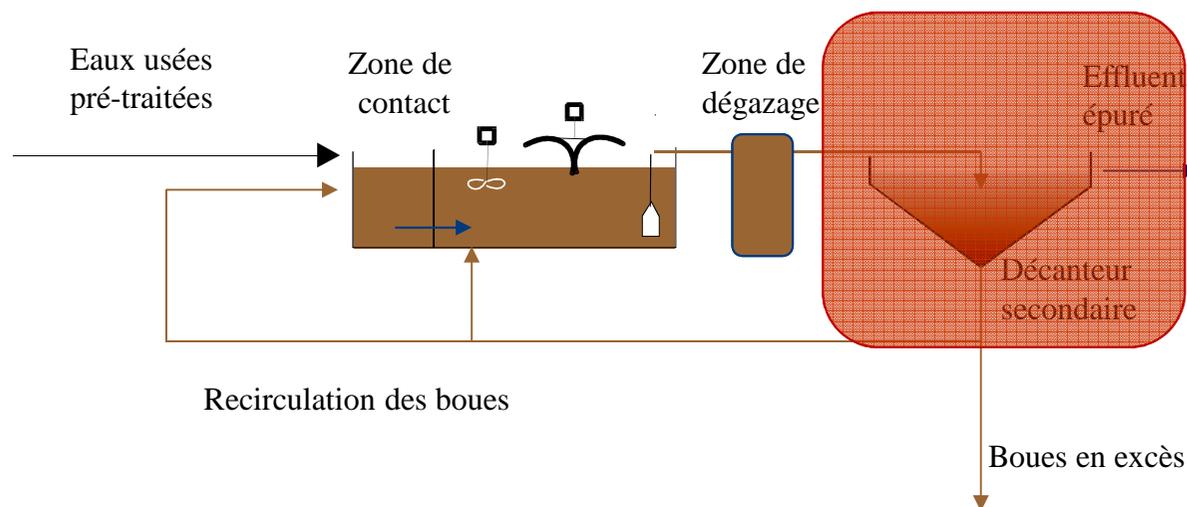
Filière boues activées

ZONE DE DÉGAZAGE



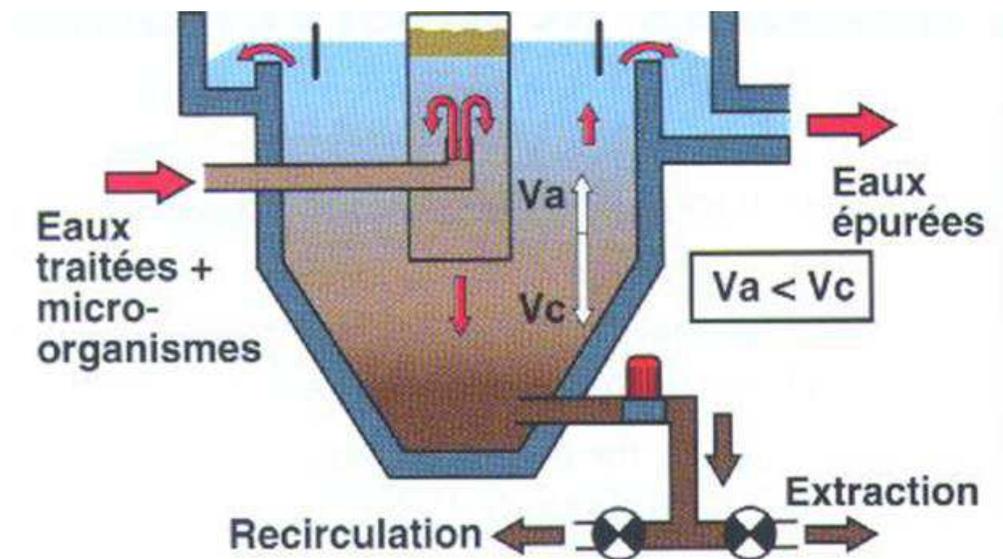
Filière boues activées

BASSIN D'AÉRATION + DÉCANTEUR SECONDAIRE



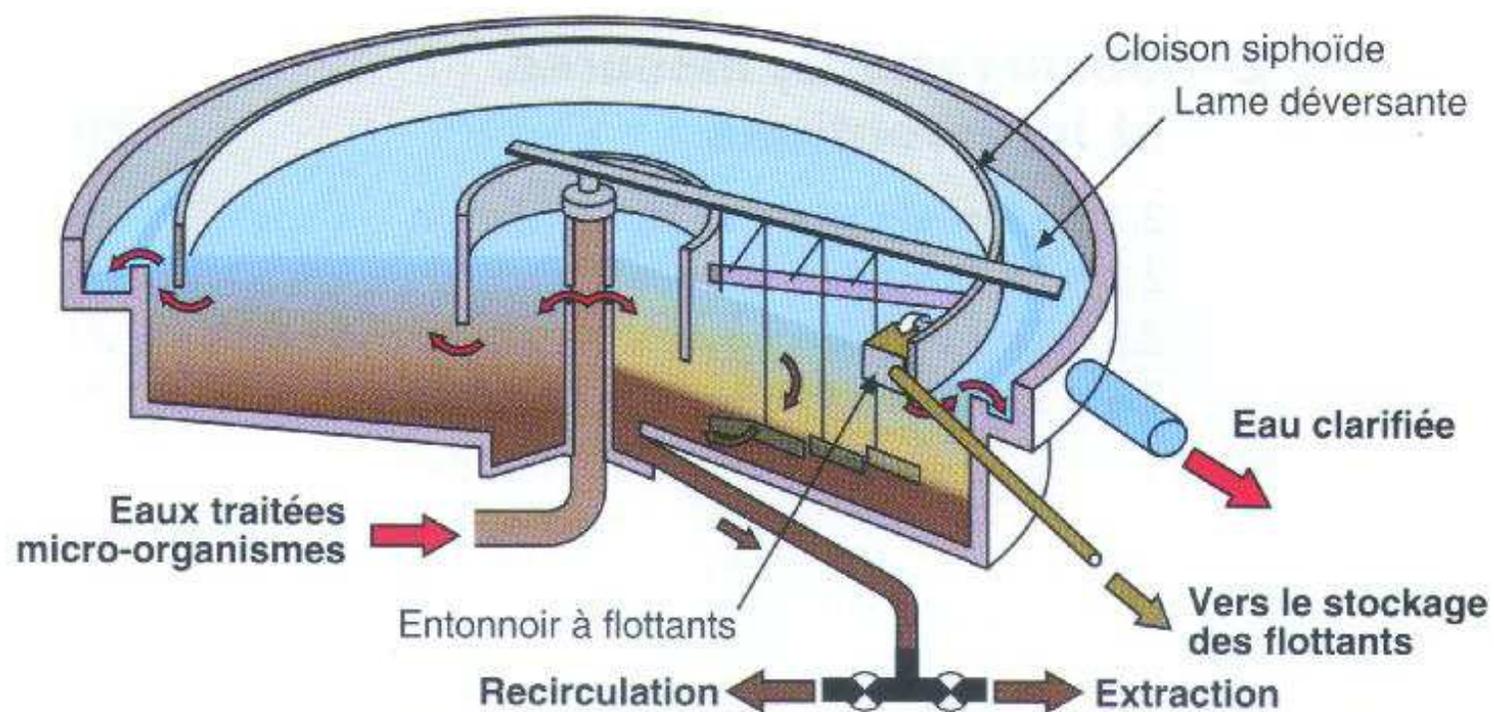
Filière boues activées

DÉCANTEUR SECONDAIRE



Filière boues activées

DÉCANTEUR SECONDAIRE





Filière boues activées

DÉCANTEUR SECONDAIRE

Rôle : Séparation du floc formé dans le bassin d'aération et de l'eau traitée

Fonctions

Retenir le maximum de MES (Rdt > 99%)

Concentrer les boues avant recirculation

Stocker provisoirement des boues en temps de pluie



Filière boues activées

DÉCANTEUR SECONDAIRE

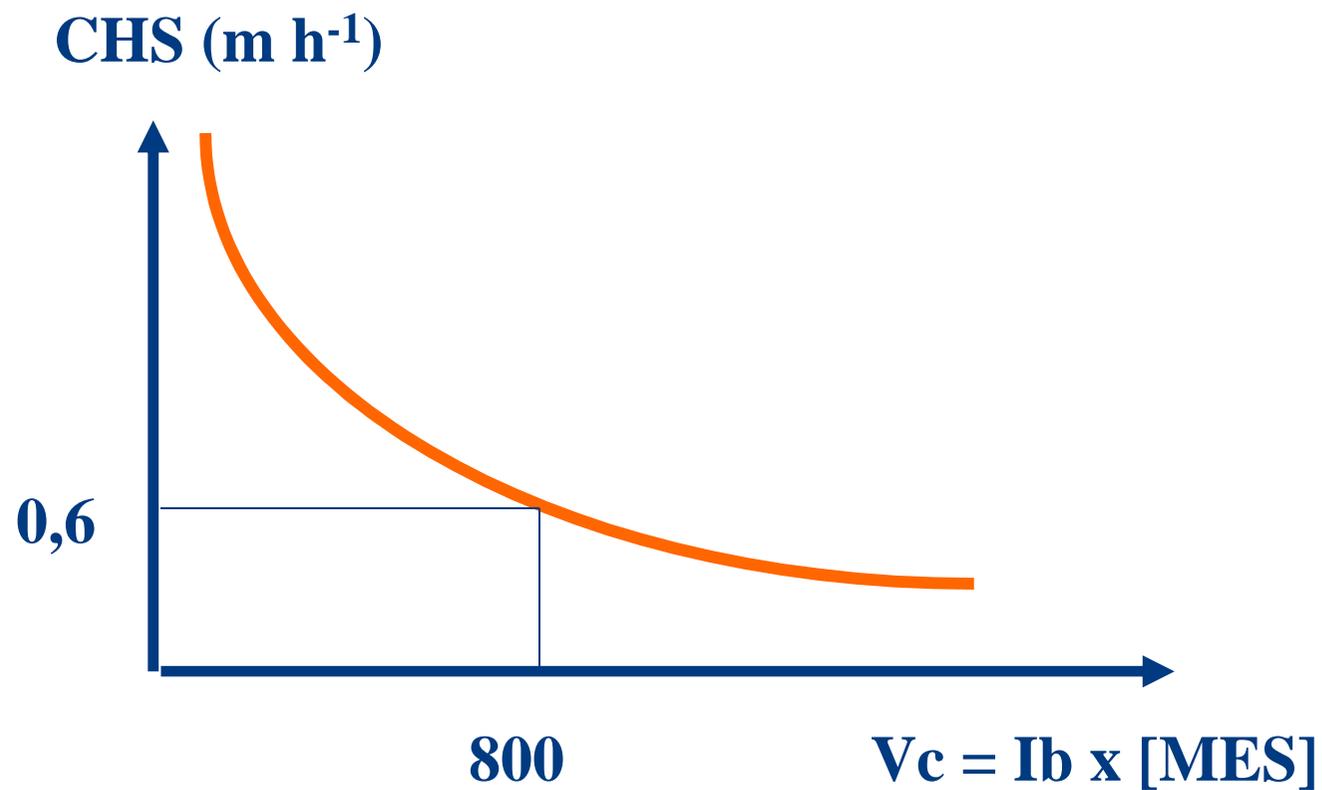
Vitesse ascensionnelle ou charge hydraulique superficielle (CHS),
exprimée en m h^{-1}

$$\text{CHS} = \frac{\text{Débit de pointe à traiter}}{\text{Surface du décanteur}}$$

Filière boues activées

DÉCANTEUR SECONDAIRE

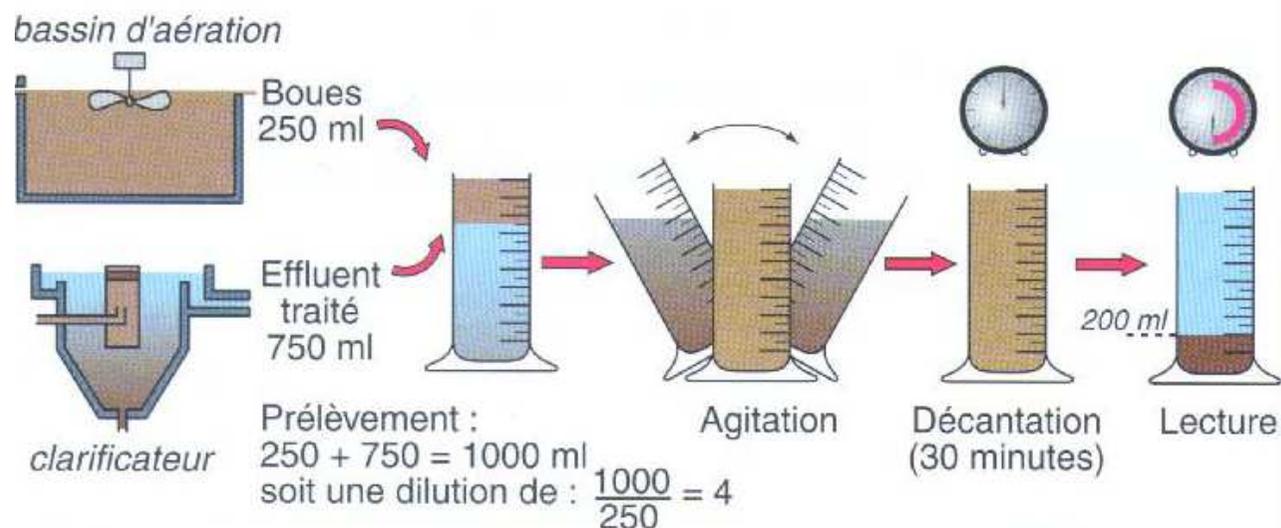
CHS = f (Volume corrigé)



Filière boues activées

DÉCANTEUR SECONDAIRE

Indice de boues



Exemple : Facteur de dilution = 4

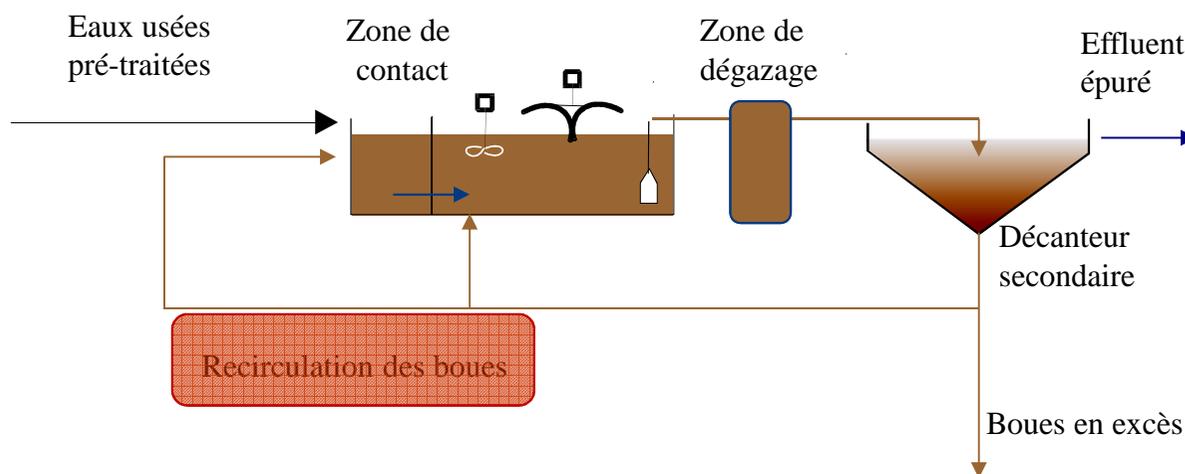
Concentration en MS = 5 g/l

Niveau des boues après 30 minutes de décantation = 200 ml

$$IB = \frac{200 \text{ ml/l} \times 4}{5 \text{ g/l}} = 160 \text{ ml/g}$$

Filière boues activées

BASSIN D'AÉRATION + DÉCANTEUR SECONDAIRE





Filière boues activées

RECIRCULATION

But différent de la recirculation des LB (mouillage, décrochage) ou DB (dilution contre septicité)

Réintroduction des boues décantées dans le bassin d'aération (et la zone de contact)

Extraction périodique des boues : maintien d'une masse de boues constante dans la station

Débit de recirculation

150 % Q_{pts}

100 % Q_{ptp}

Idéal : pompes de recirculation à débit variable



Filière boues activées

PERFORMANCES

Charge	Cm kg DBO ₅ kg MVS ⁻¹ j ⁻¹	MES g L ⁻¹	MVS (%)	MVS g L ⁻¹	Cv kg DBO ₅ m ⁻³ j ⁻¹	Rdt DBO ₅ (%)
Forte charge	1	2,5	80	2,0	2,00	70 - 80
Moyenne charge	0.5	3,5	75	2,5	1,25	80 - 90
Très faible charge	< 0,1	4,0	70	2,8	< 0,28	90 + Nitrif



Plan de l'exposé

Introduction

Alimentation

Pré-traitements

Décantation primaire

Principes généraux des filières de traitement biologique aérobie

Fonctions et caractéristiques des procédés :

- Lits bactériens
- Disques biologiques
- Biofiltres
- Procédés physico-chimiques

Boues activées

- Description de la filière
- Traitement de l'azote
- Traitement du phosphore
- SBR
- Bioréacteurs à membranes immergées
- MBBR



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Conséquences des rejets d'azote ammoniacal en rivière

Toxicité vis-à-vis du poisson

Demande en oxygène

Gêne pour la préparation d'eau potable

⇒ Déclassement des cours d'eau de bonne qualité



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

L'azote dans les eaux résiduaires urbaines (ERU)

Origine

déjections humaines (urine)

cuisine

produits de lavage

Concentrations :

20 à 80 mg L⁻¹ (selon % ECP)

Charge spécifique :

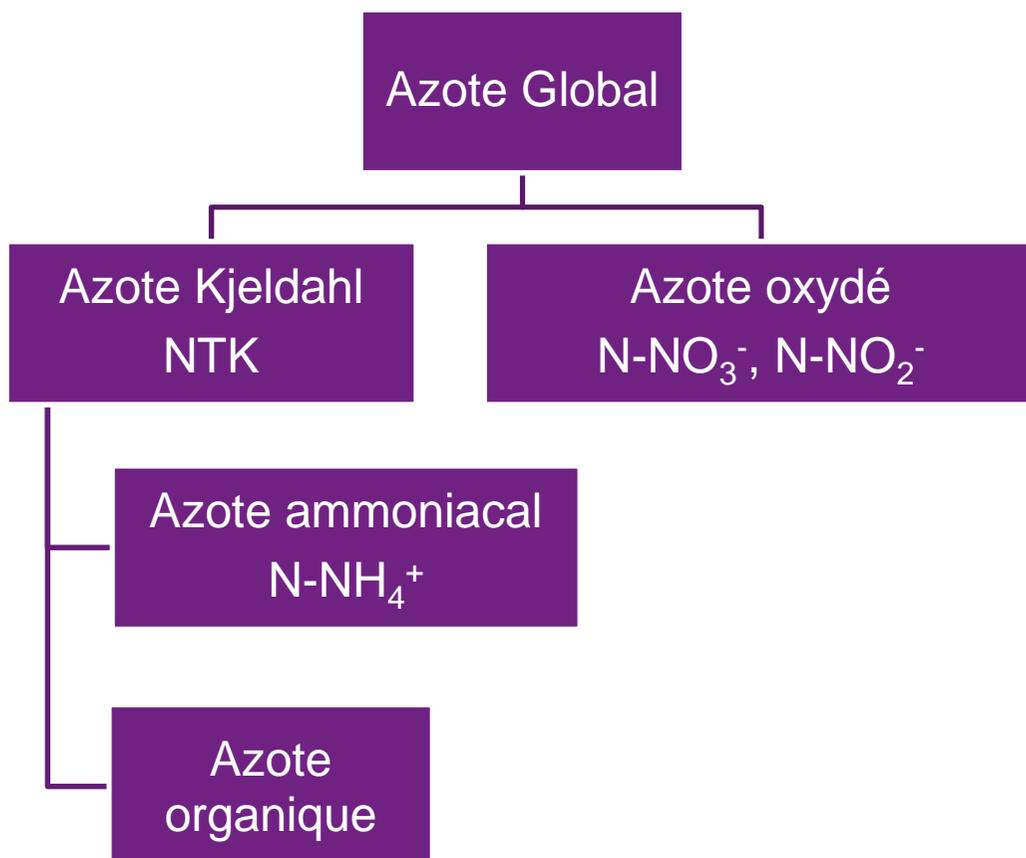
8 à 15 gN hab⁻¹ j⁻¹ selon la taille de l'agglomération

$EH_{60} = 15 \text{ gN hab}^{-1} \text{ j}^{-1}$

Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Formes de l'azote



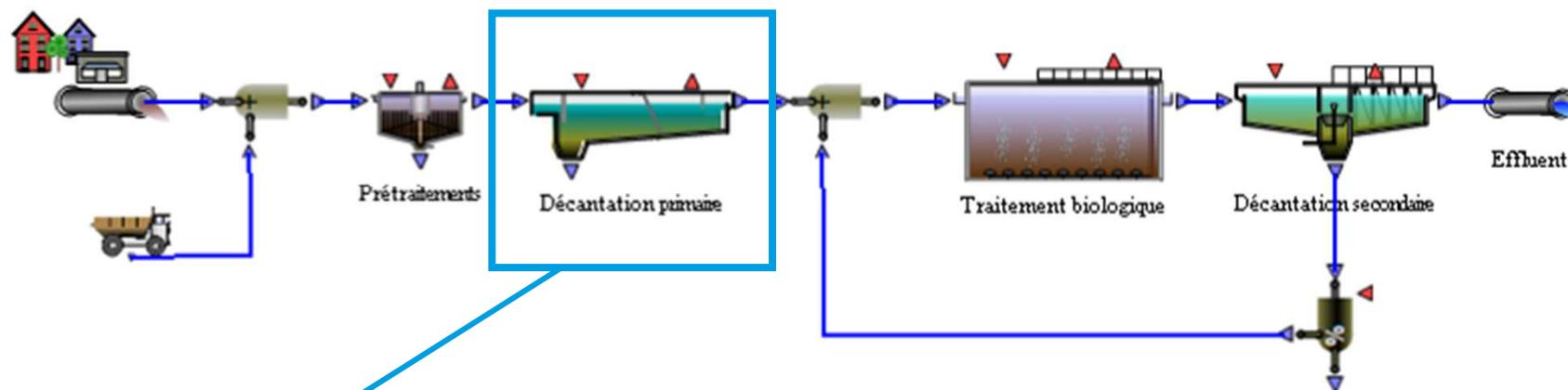
Suivi de l'évolution du traitement :
base N

1 mg d'azote ammoniacal $N-NH_4^+$ =
1,29 mg NH_4^+

1 mg d'azote nitreux $N-NO_2^-$ =
3,29 mg NO_2^-

1 mg d'azote nitrique $N-NO_3^-$ =
4,43 mg NO_3^-

Mécanismes de traitement en boues activées

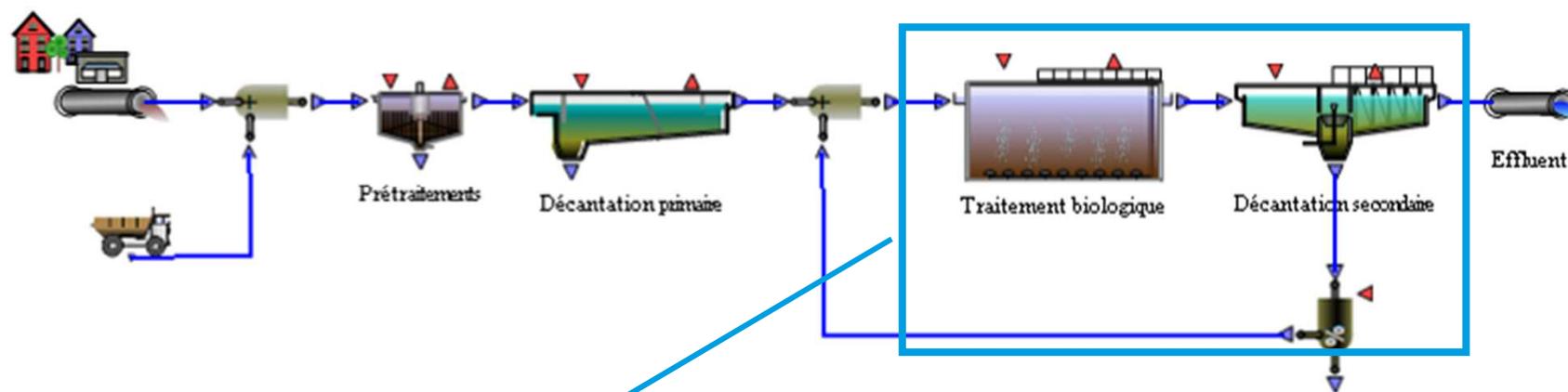


Décantation primaire :

5-10 % de NGL, en fonction

- de la longueur, de la pente du réseau
- de la pluviométrie
- du temps de séjour des boues primaires

Mécanismes de traitement en boues activées



Traitement biologique :
 $\cong 70 \%$ de NGL

Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Mécanismes contribuant au traitement de l'azote

- Rendement : 5 à 10%
- Fonction :
 - de la longueur, de la pente du réseau
 - de la pluviométrie
 - du temps de séjour des boues primaires

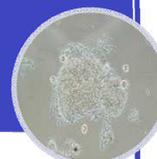
Décantation
primaire



- Rendement d'élimination de N de l'ordre de 25%

- Intégration d'azote dans les bactéries formées
- Séquestration d'azote organique particulaire

Assimilation



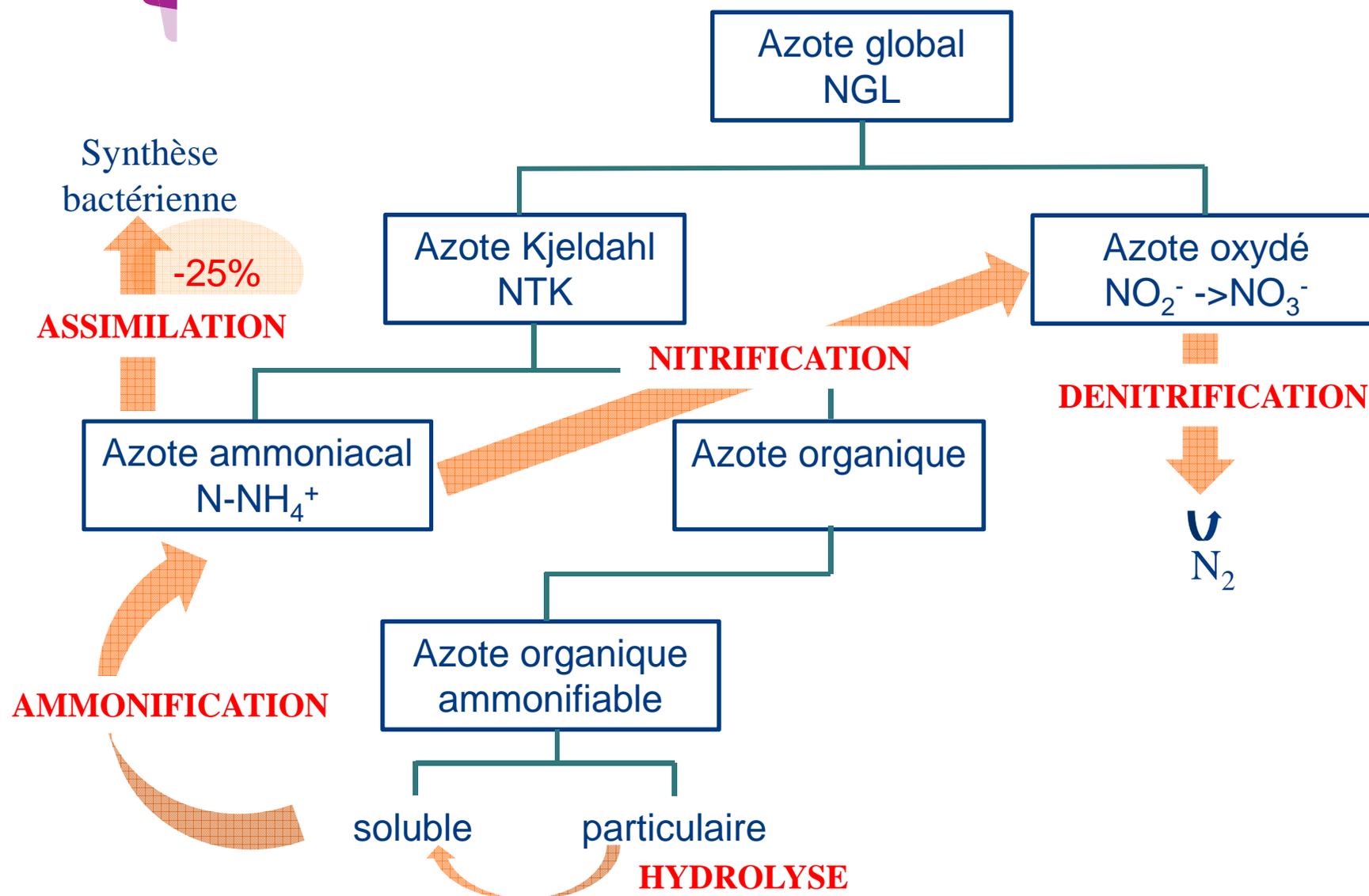
- N organique soluble en sortie de station < 2 mg L⁻¹

- Fonction :
 - de la concentration d'azote organique
 - de la concentration en MVS (enzymes)
 - de la température
 - du temps de séjour

Ammonification
Nitrification
Dénitrification



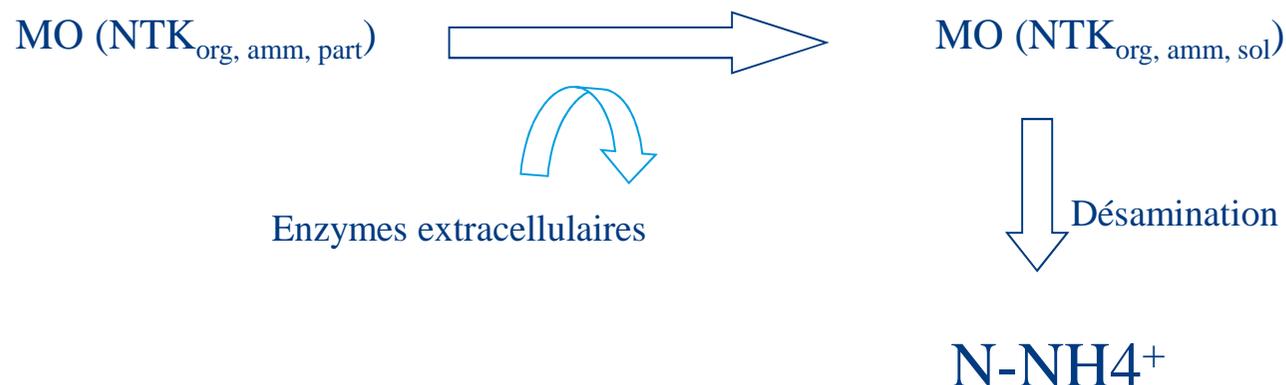
Traitement biologique de l'azote



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE - HYDROLYSE/AMMONIFICATION

Processus enzymatique



Influence

- de la concentration en azote organique
- de la concentration en MVS (production d'enzymes)
- de la température
- du temps de séjour hydraulique



N organique soluble en sortie de station < 2 mg/L



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE - ASSIMILATION

Assimilation = synthèse bactérienne des hétérotrophes



Intégration d'azote dans les bactéries formées (5 % de la DBO₅ éliminée)

Séquestration d'azote organique particulaire

Rendement d'élimination de N de l'ordre de 25%

Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE - ASSIMILATION

Effluent : $\text{DBO}_5 = 330 \text{ mg/L}$ et $\text{NTK} = 77 \text{ mg/L}$

Rendement d'élimination de la $\text{DBO}_5 = 95 \%$

$\text{N assimilé} = 330 \times 0,95 \times 5 / 100 = 15,7 \text{ mg/L}$

$\text{N particulaire réfractaire séquestré} = 0,02 \times 77 = 1,5 \text{ mg/L}$

$\text{N assimilé au sens large} = 15,7 + 1,5 = 17,2 \text{ mg/L}$

EXEMPLE –
DIMENSIONNE
MENT FNDAE

Rendement = 22 %



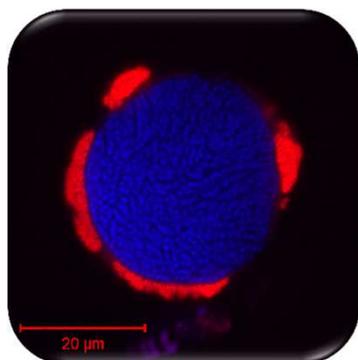
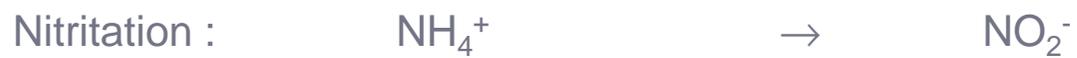
Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE - NITRIFICATION

Nitrification biologique



2 étapes :





Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE - NITRIFICATION

La nitrification de 1 kg d'azote ammoniacal

nécessite environ 4,2 kg d'oxygène dont 80 % sont inclus dans les nitrates formés

s'accompagne d'une diminution de l'alcalinité (compensable par 3,9 kg de chaux vive CaO),

produit 170 g de bactéries nitrifiantes



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE - NITRIFICATION

Conditions de la nitrification

Traitement du carbone très poussé

Présence d'azote ammoniacal

Présence d'oxygène dissous

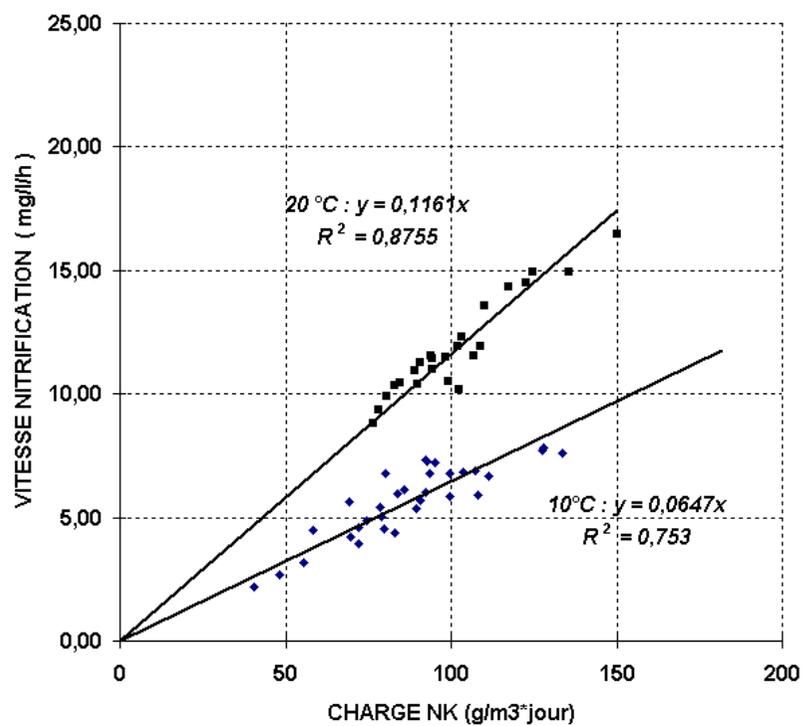
pH compris entre 6,5 et 8,5

Température supérieure à 6°C

Pas d'inhibiteur

Filière boues activées

VITESSE DE NITRIFICATION





Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE - DENITRIFICATION

Dénitrification biologique

Matières organiques + Bactéries (dénitrifiantes) + NO_3 + P \Rightarrow

nouvelles bactéries + N_2 + CO_2 + H_2O

La dénitrification de 1 kg d'azote nitrique

assure une dégradation de substrat carboné équivalente à celle obtenue avec 2,85 kg d'oxygène

restitue une quantité d'alcalinité égale à la moitié de la consommation nécessaire à la nitrification

Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE - DENITRIFICATION

Conditions de la dénitrification

Absence d'oxygène dissous

Présence de matière organique

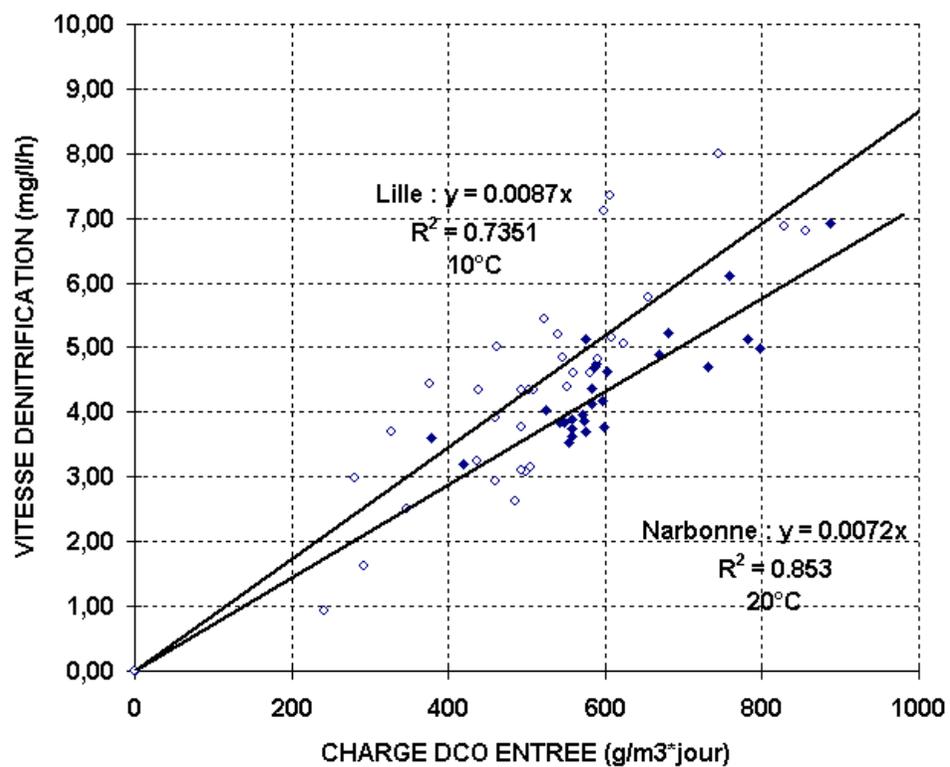
pH compris entre 6,5 et 8,5

Influence de la température : fonction de la charge



Filière boues activées

VITESSE DE DÉNITRIFICATION





Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Automatisation de l'aération

Objectifs visés

$\text{N-NH}_4^+ < 1 \text{ mg/L}$

$\text{N-NO}_3^- < 5 \text{ mg/L}$



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Automatisation sans capteur

Séquençage de l'aération

Programmation des réglages par horloge

Horloge incluse dans l'automate

Horloge mécanique ou programmable

8 à 12 cycles d'aération par jour

% d'aération par cycle fonction de la charge

Démarrage quasi-simultané des aérateurs

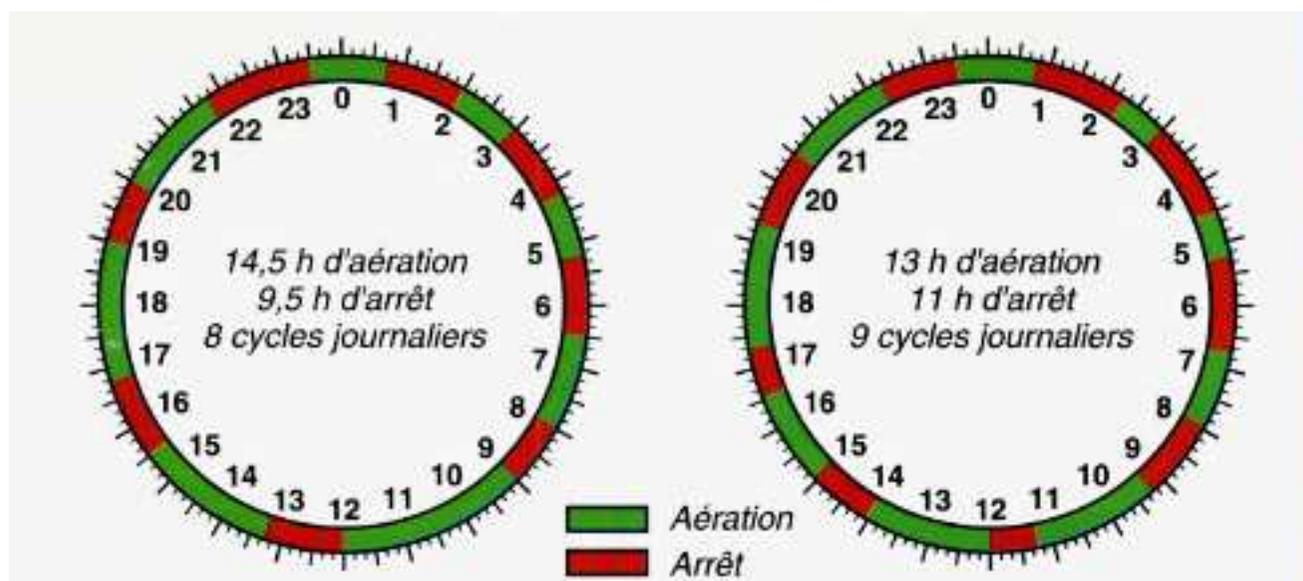


Suivi et optimisation du réglage

Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Horloges 24h





Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Suivi et optimisation des réglages

Après 15 jours ou plus

Mesure rapide N-NH_4^+ et N-NO_3^- en sortie

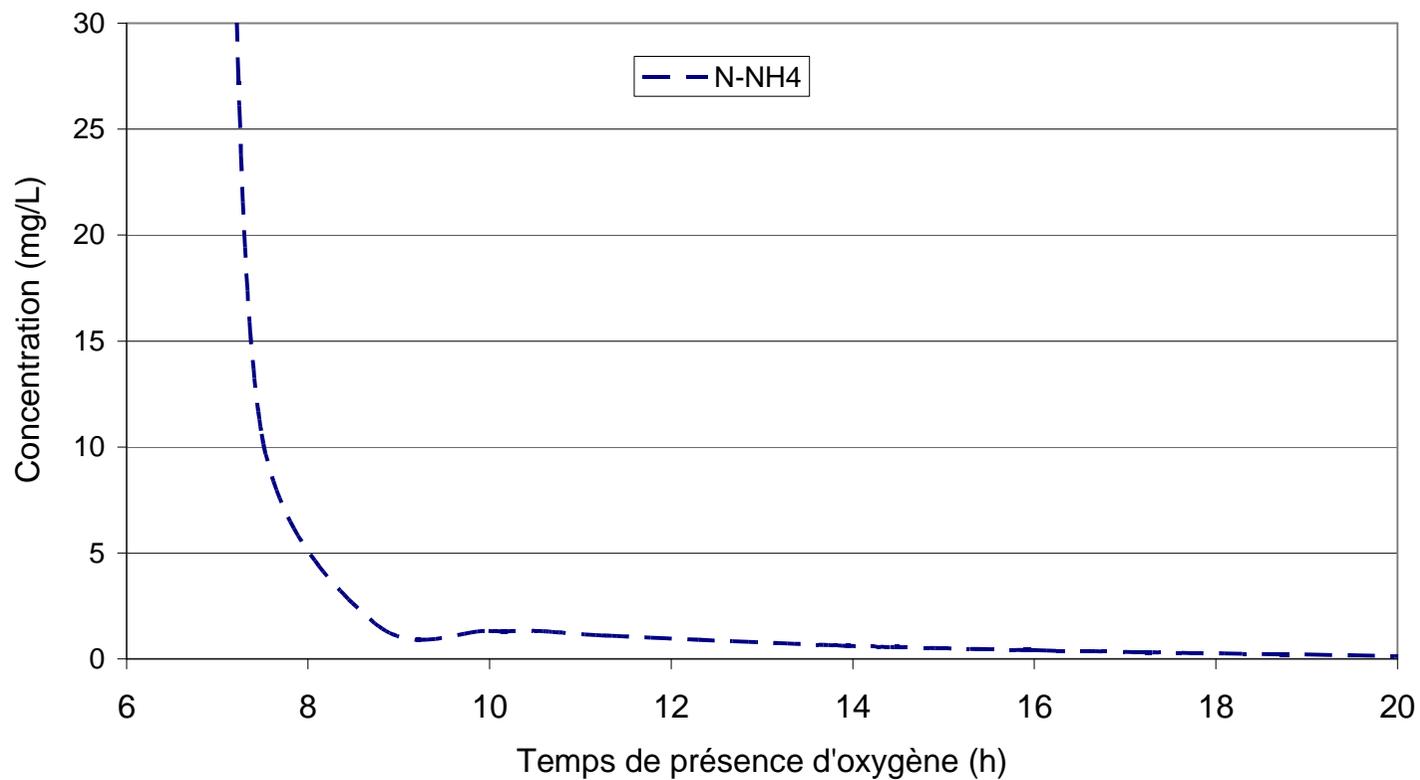
Enregistrement O_2 dissous

Vérification absence de stock de boues dans le décanteur secondaire

Objectif : $\text{N-NH}_4^+ < 1 \text{ mg L}^{-1}$ et $\text{N-NO}_3^- < 5 \text{ mg L}^{-1}$ en jouant sur la durée d'aération

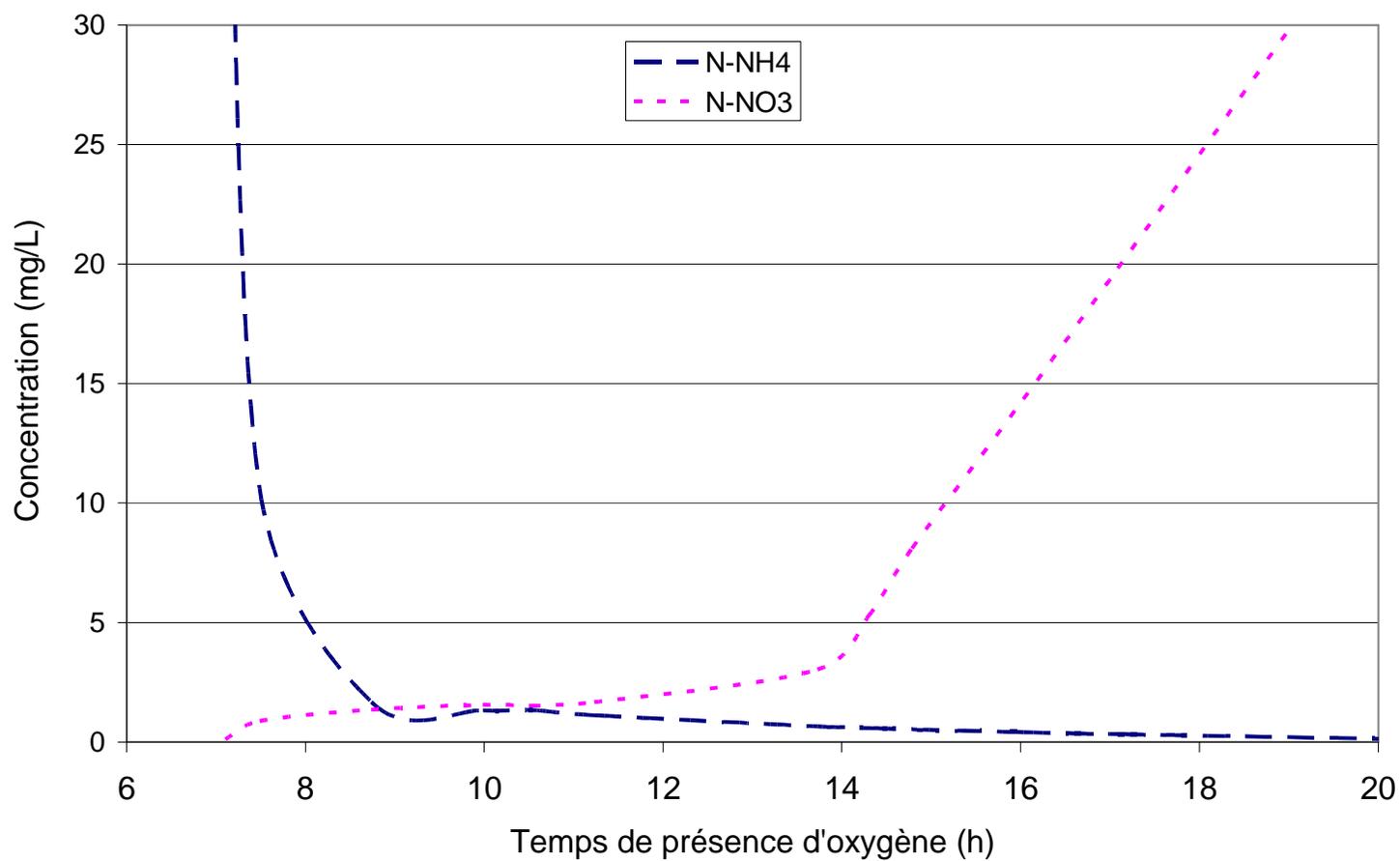
Filière boues activées

Impact de la durée de l'aération journalière sur les performances de traitement de l'azote



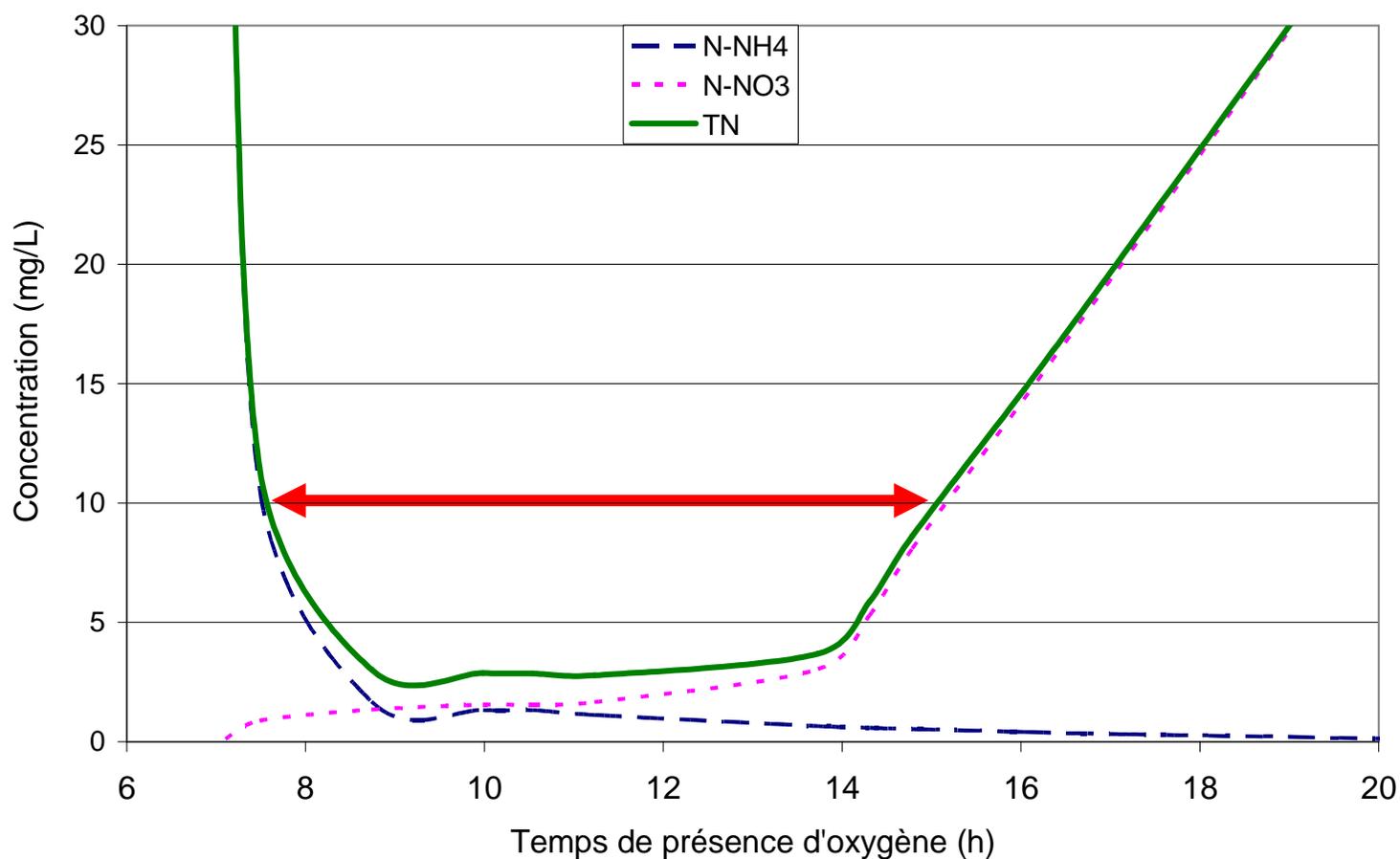
Filière boues activées

Impact de la durée de l'aération journalière sur les performances de traitement de l'azote



Filière boues activées

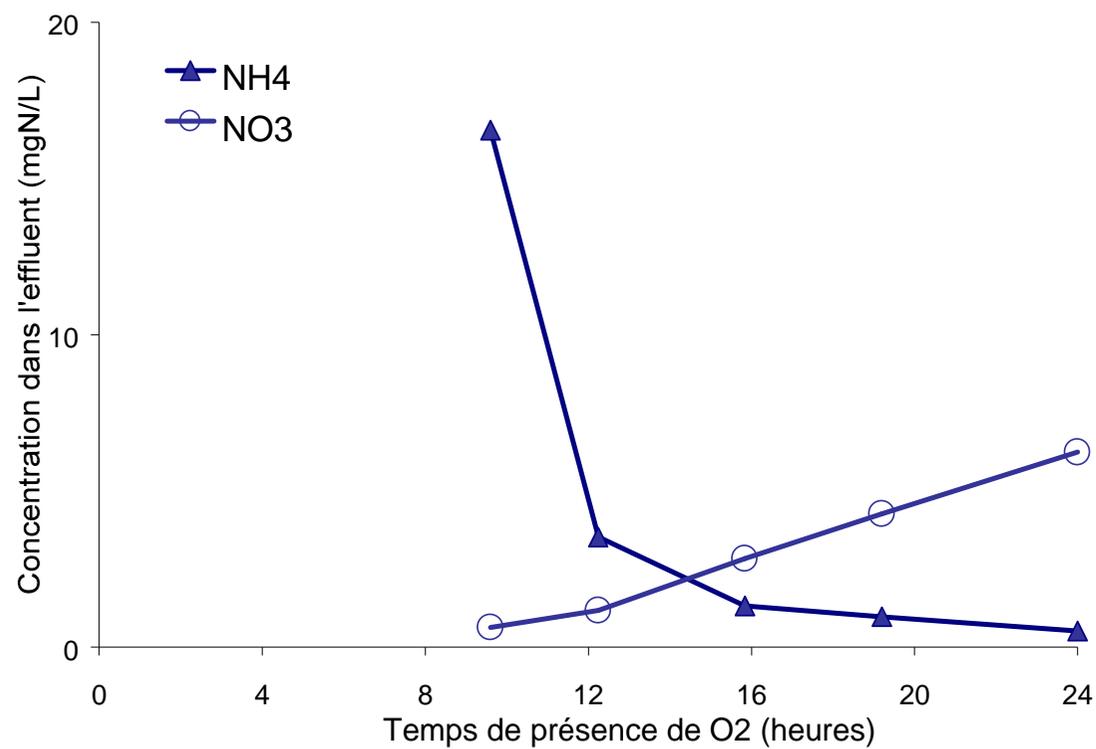
Impact de la durée de l'aération journalière sur les performances de traitement de l'azote



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Optimisation de la durée journalière d'aération



Source : Thèse Fabienne Lagarde (Cemagref)

$\theta = 60j$, $T = 14^{\circ}C$, Temps sec



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Suivi et optimisation des réglages (suite)

Contrôler la durée journalière de présence d'O₂

Pratiquer une légère sur-aération

Pratiquer les extractions de boues régulièrement



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Automatisation à l'aide de capteurs

Mise en marche et arrêt de l'aération fonction de signaux transmis par des capteurs (seuils)

Electrode à oxygène

Electrode de platine

Sondes à nitrates et/ou ammonium

Temporisations associées aux seuils



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Temporisation

T1 : mise en route = durée minimum de marche

T2 : mise en route = durée maximum de marche

T3 : arrêt = durée minimum d'arrêt

T4 : arrêt = durée maximum d'arrêt

T2 + T3 = Durée maximum de marche

$n = 24 / (T2 + T3)$

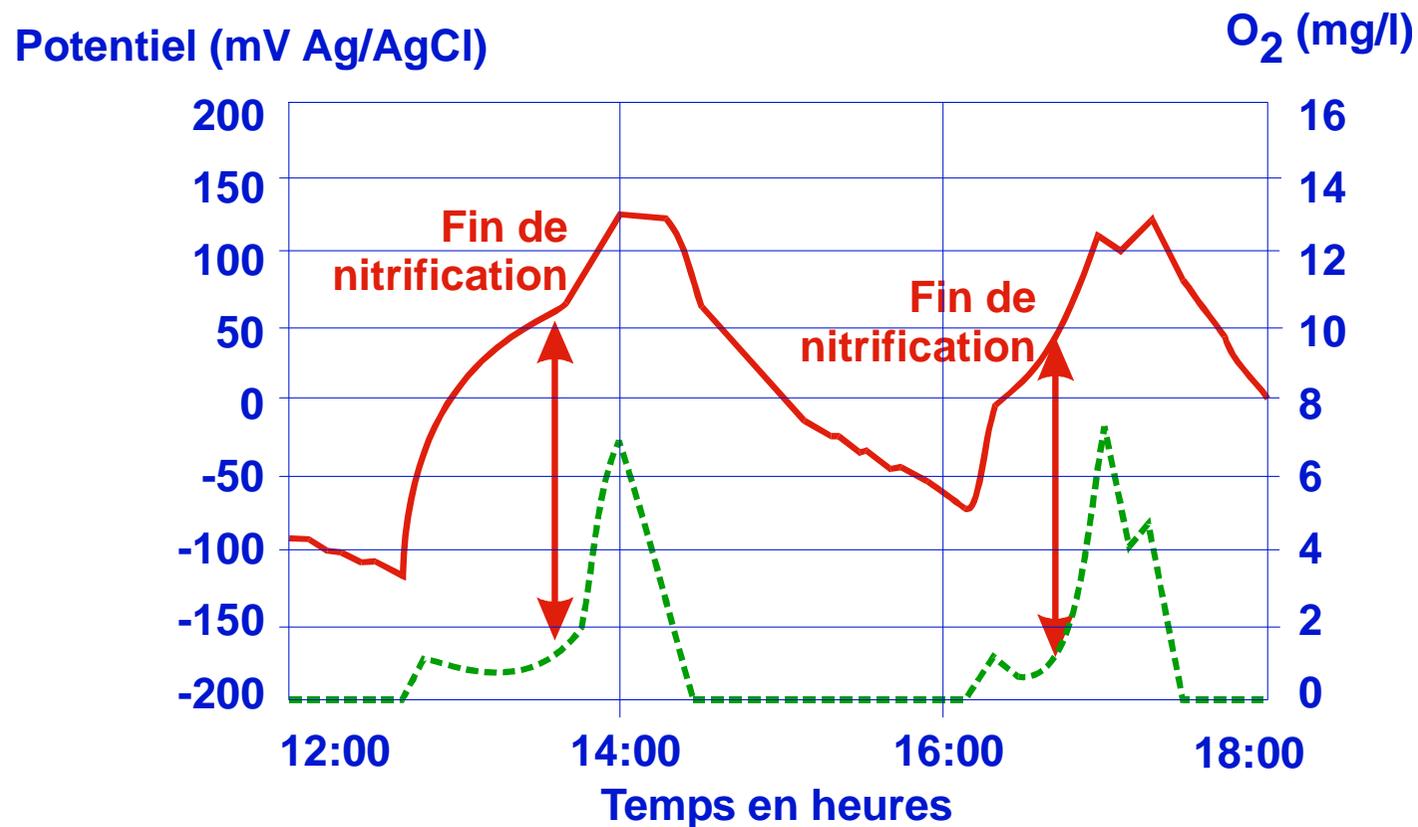
T1 + T4 = Durée minimum de marche

$n = 24 / (T1 + T4)$

Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

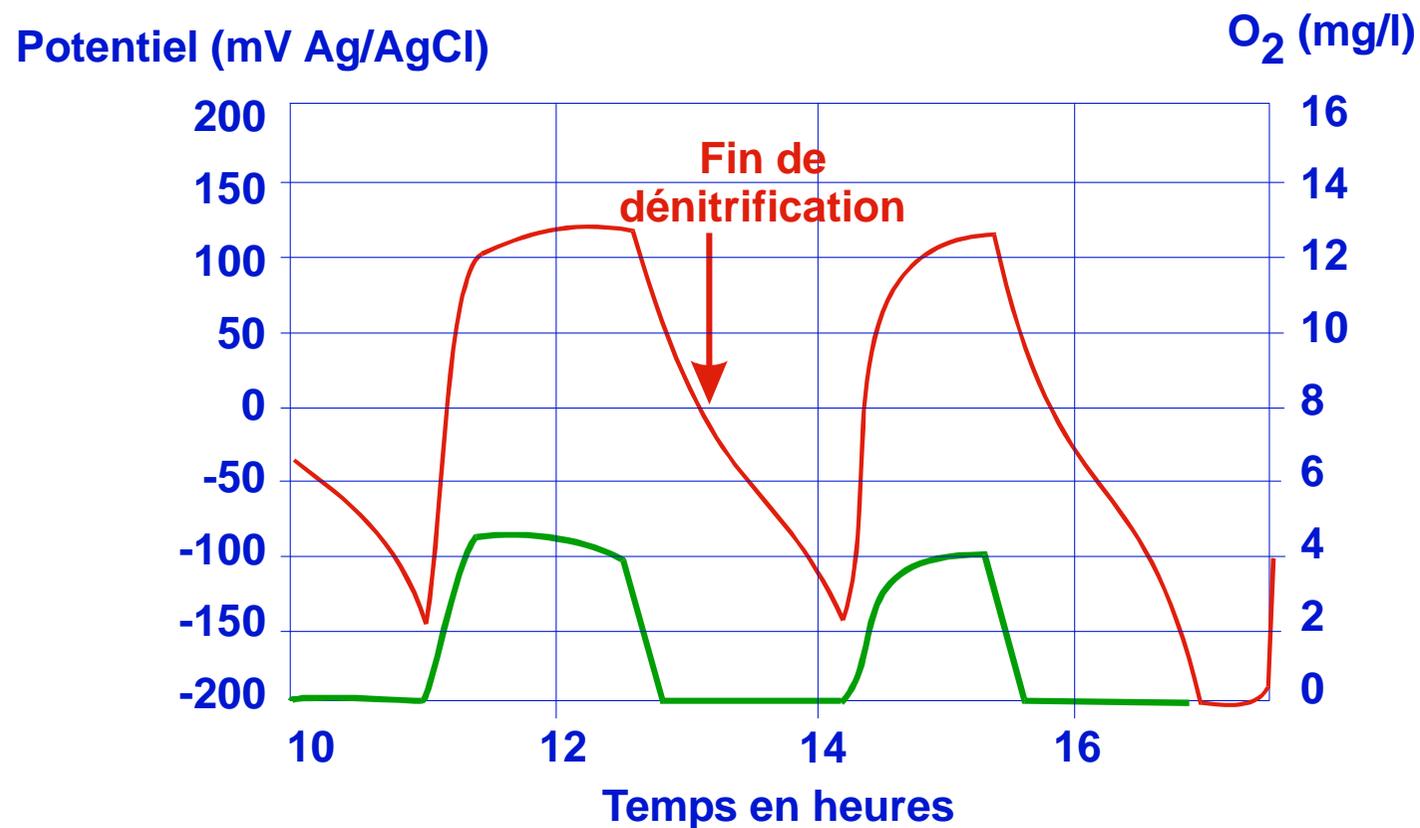
Evolution de l'oxygène dissous et du potentiel redox à 20°C



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

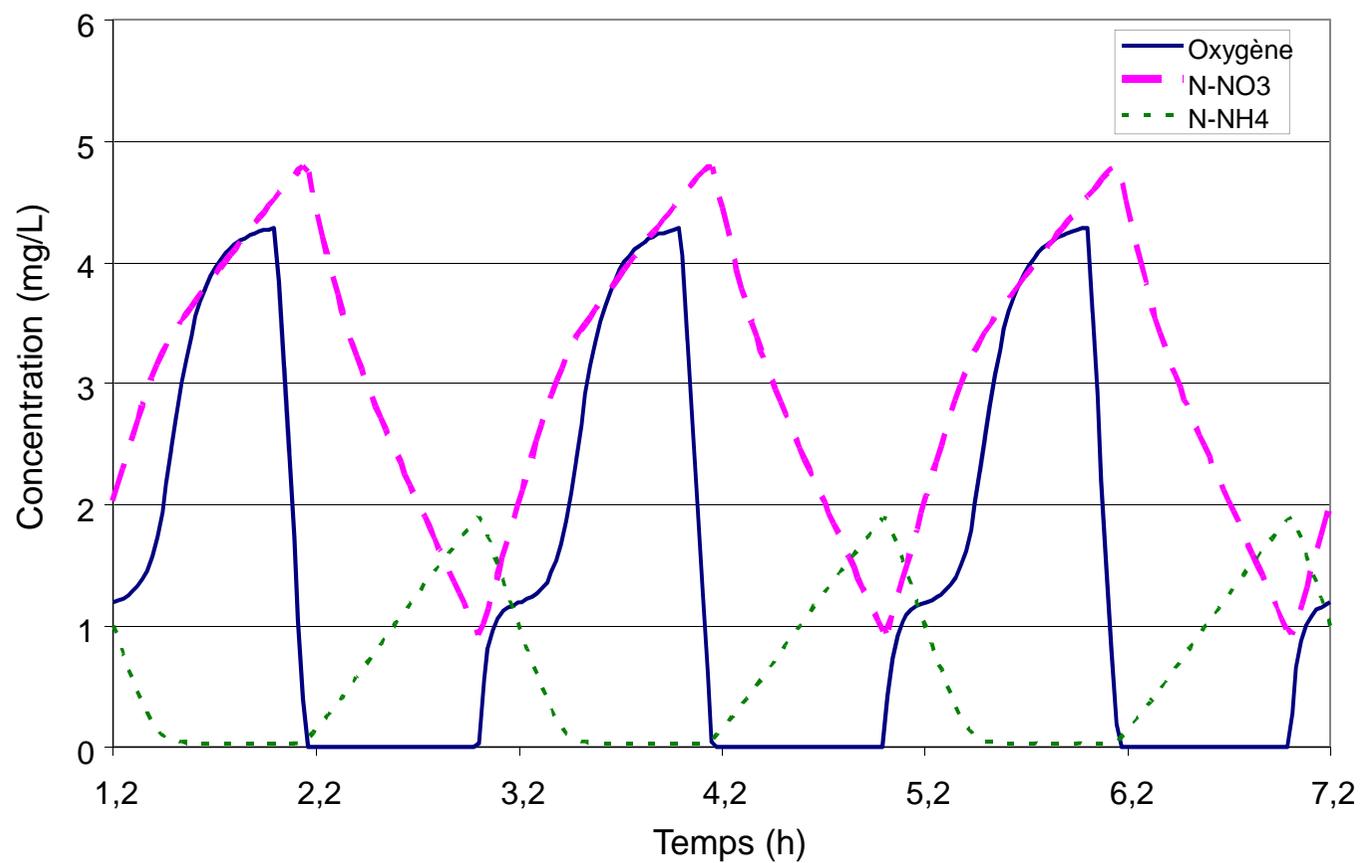
Evolution de l'oxygène dissous et du potentiel redox à 20°C



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Evolution des formes de l'azote





Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Fiabilisation du traitement

Estimation de la concentration de MES en aération et du niveau du voile de boues

Capteurs optiques

Mesure de la qualité de l'eau épurée

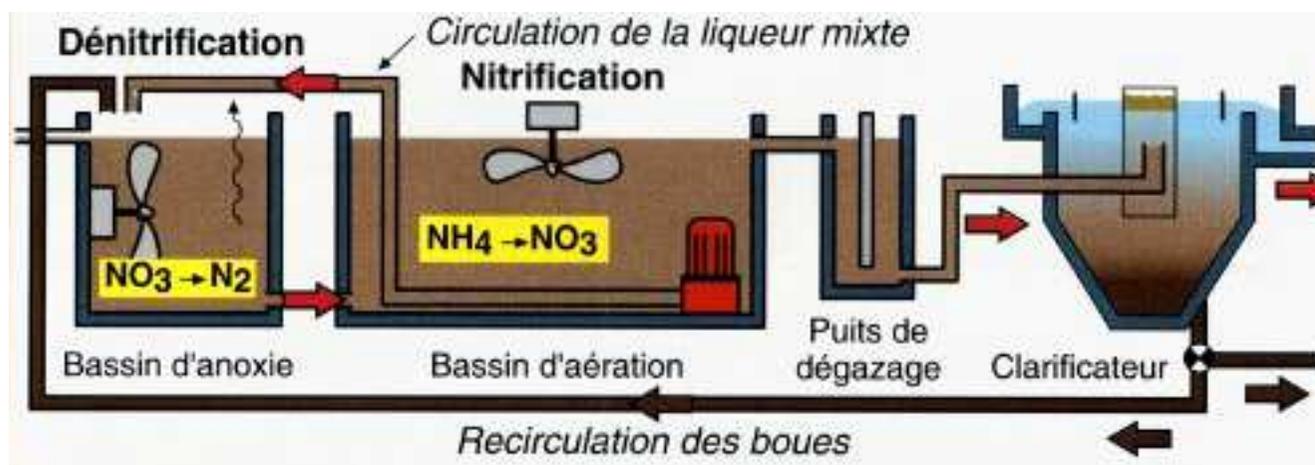
Analyseurs en ligne NH_4 , NO_3 , PO_4

Turbidimètre en sortie

Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Cas particulier des boues activées à bassin d'anoxie en tête



Source : Manuel du conducteur de stations d'épuration.
Doc ARSATESE, AESN, CNFPT



Filière boues activées

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Efficacité du bassin d'anoxie

Maintien de conditions anoxiques

Charge de matière organique apportée

Apport de nitrates



Filière boues activées

AVANTAGES

Procédé adapté à une large gamme de taille (> 1000 EH)

Très bonne qualité de l'eau épurée

Possibilité d'une nitrification et d'une dénitrification très poussées et bien maîtrisées

Possibilité d'un traitement du phosphore relativement poussé

Bien adaptés aux variations de charge organique

LIMITES

Débit acceptable fonction de la décantabilité des boues

Besoin en personnel qualifié

Temps d'exploitation important

Boues activées très faible charge

TRAITEMENT DE L'AZOTE

Performances : concentrations (mg L^{-1}) ou rendements (%) limites

DCO	DBO ₅	MES	NTK	N-NH ₄	N-NO ₃	NGL	P-PO ₄	P
45 - 60*	10 à 12	15 à 20	5	1 à 2	5	10	/	20 - 40%

**Fonction de la dilution des eaux brutes*

Boues activées très faible charge

TRAITEMENT DE L'AZOTE

1 document technique FNDAE (fndae.fr)



N° 25 (2002)



Plan de l'exposé

Introduction

Alimentation

Pré-traitements

Décantation primaire

Principes généraux des filières de traitement biologique aérobie

Fonctions et caractéristiques des procédés :

- Lits bactériens
- Disques biologiques
- Biofiltres
- Procédés physico-chimiques

Boues activées

- Description de la filière
- Traitement de l'azote
- Traitement du phosphore

Autres Procédés:

- SBR
- Bioréacteurs à membranes immergées
- MBBR



Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Effets des rejets de phosphates dans le milieu aquatique :

Enrichissement du milieu en sels nutritifs

⇒ Développement excessif de végétation dans lacs, plans d'eau, cours d'eau à régime lent en été, milieu marin côtier

Eutrophisation



Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Origine du phosphore

Métabolisme : 1 à 2 g de P par jour

Produits lessiviels et de nettoyage :

2,5 à 3 g de P / EH₆₀ par jour (en diminution)

P_T : 10 à 15 mg de P par L (orthophosphates = 60 à 85% de P)

EH₆₀ P = 4 g de P total (Arrêté du 6/11/96) Surestimé

EH₆₀ P = 2,1 g de P total (Etude récente ONEMA)



Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Mécanismes contribuant au traitement du phosphore

- Rendement 5 à 10%
- Piégeage du phosphore particulaire

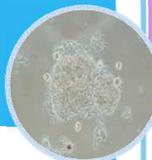
Décantation primaire



- Rendement d'élimination de P de l'ordre de 20 à 40 %

- Intégration de phosphore dans les bactéries formées

Assimilation



- Rendement d'élimination de P de l'ordre de 60 à 70 %

- Fonction :
 - ratio DCO / P de l'eau brute
 - proportion de DCO rapidement assimilable
 - conception et conduite de l'installation

Déphosphatation biologique accrue



- Concentration en sortie < 1,3 mg L⁻¹ de P_t
- Simultanée ou + biologique accrue

Déphosphatation physico-chimique





Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Traitement biologique

Estimation du rendement d'assimilation

DBO5/N/P de 100/5/1

300 mg L-1 de DBO5

Assimilation de 3 mg L-1 de P

+~1 mg/l P particulaire piégé dans la boue)

~ 4 mg/l

Concentration dans l'eau brute entre 10 et 15 mg/l

Rendement d'élimination de P \Rightarrow 20 à 40 %

0.8 et 1 kg de MES par kg de DBO éliminée

P ~ 1.5% des MES



Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Filières de déphosphatation

Traitements physico-chimiques

Combinaison d'un traitement biologique conventionnel et d'un traitement physico-chimique

Sur-élimination biologique des phosphates

Combinaison d'une sur-élimination biologique et d'un traitement physico-chimique



Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Précipitation physico-chimique

Traitement des eaux excédentaires (pluies) avant rejet

Déphosphatation primaire (avant traitement)

Déphosphatation simultanée (durant traitement)

Déphosphatation tertiaire (après traitement)



Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Précipitation physico-chimique primaire

Addition de sels métalliques puis de polymères

Coagulation-floculation → piégeage DCO, DBO₅, MES

Précipitation MePO₄ et Me(OH)_n

Phosphore particulaire retenu au niveau des floccs formés

Rendement de déphosphatation : 70 à > 90% selon dosage

Séparation des boues par décantation



Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Principaux réactifs utilisés

Sulfate d'aluminium [$\text{Al}_2\text{SO}_4, 18 \text{H}_2\text{O}$]

Aluminate de sodium [$\text{Na}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3$]

Chlorure ferrique [FeCl_3]

Chlorosulfate ferrique [FeClSO_4]

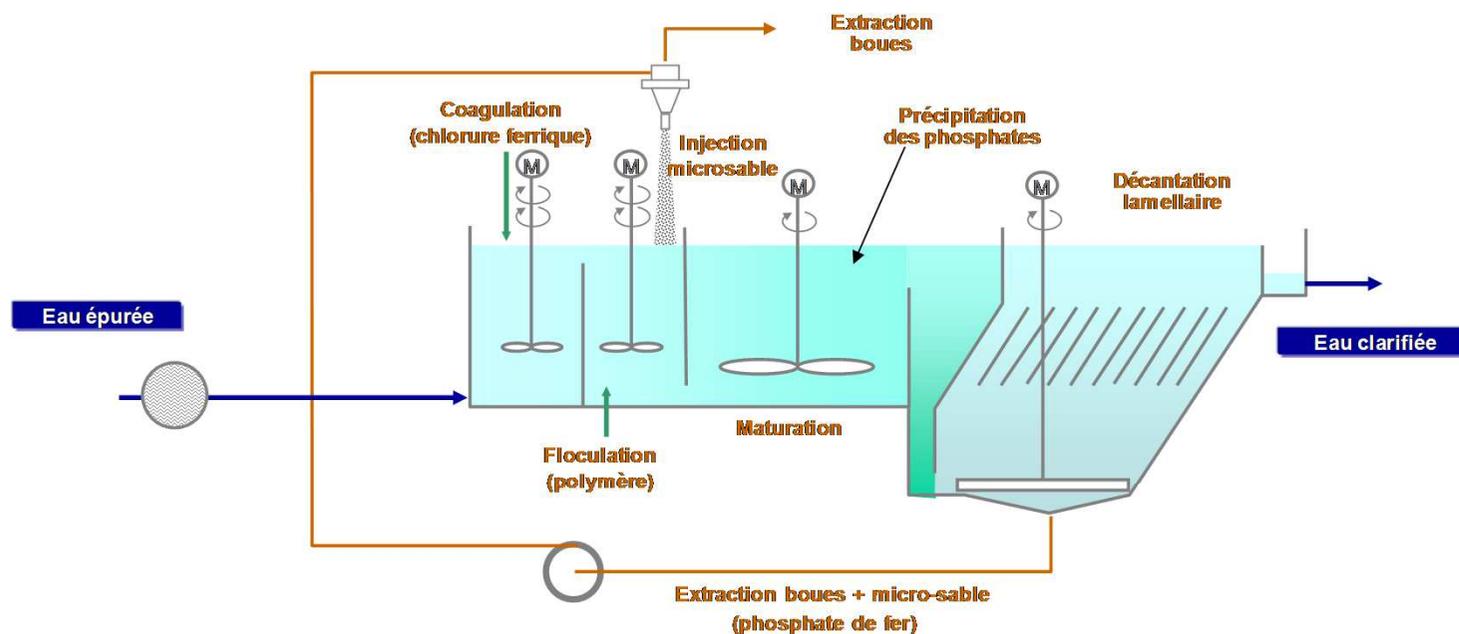
Sulfate ferreux [$\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$]

Polymères d'aluminium [$\text{Al}_n (\text{OH})_a (\text{Cl})_b (\text{SO}_4)_c$]

Coagulants mixtes [$\text{Al}^{3+} / \text{Fe}^{3+}$]

Filière boues activées

DÉPHOSPHATATION PRIMAIRE- CLARIFLOCCULATION



6 tamis 6 mm

- 6 décanteurs lamellaires Actiflo
- Surface unitaire 174 m²
- Conditionnement chimique : Chlorure ferrique, Polymère

Source : SIAAP





Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Déphosphatation primaire – Introduction Al, Fe : amont de DI

Avantages

Pas de transformations importantes sur le filière eau si décanteur primaire existant (cultures fixées)

Abattement DBO élevé (jusqu'à 70 %)

Limites

Production importante de boues primaires

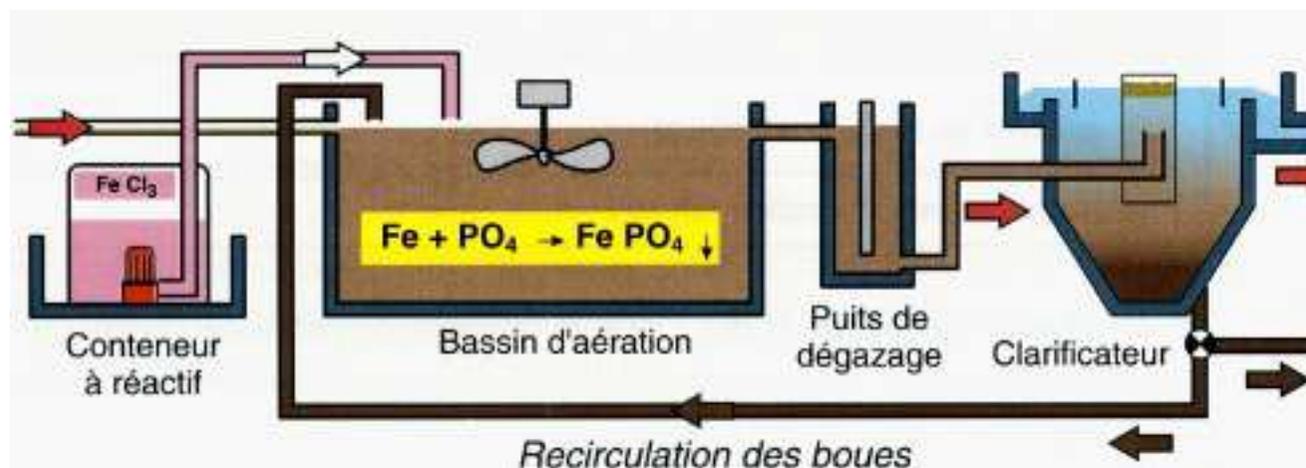
MES et colloïdes retenus \Rightarrow consommation réactifs + boues légères sur l'étage biologique aval

Risque de carence en P si traitement primaire trop poussé

Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Déphosphatation simultanée - Introduction Al, Fe dans le bassin d'aération





Filière boues activées

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Déphosphatation simultanée - Introduction Al, Fe dans bassin d'aération

Avantages

Pas d'investissements importants sur la filière eau

Inertie

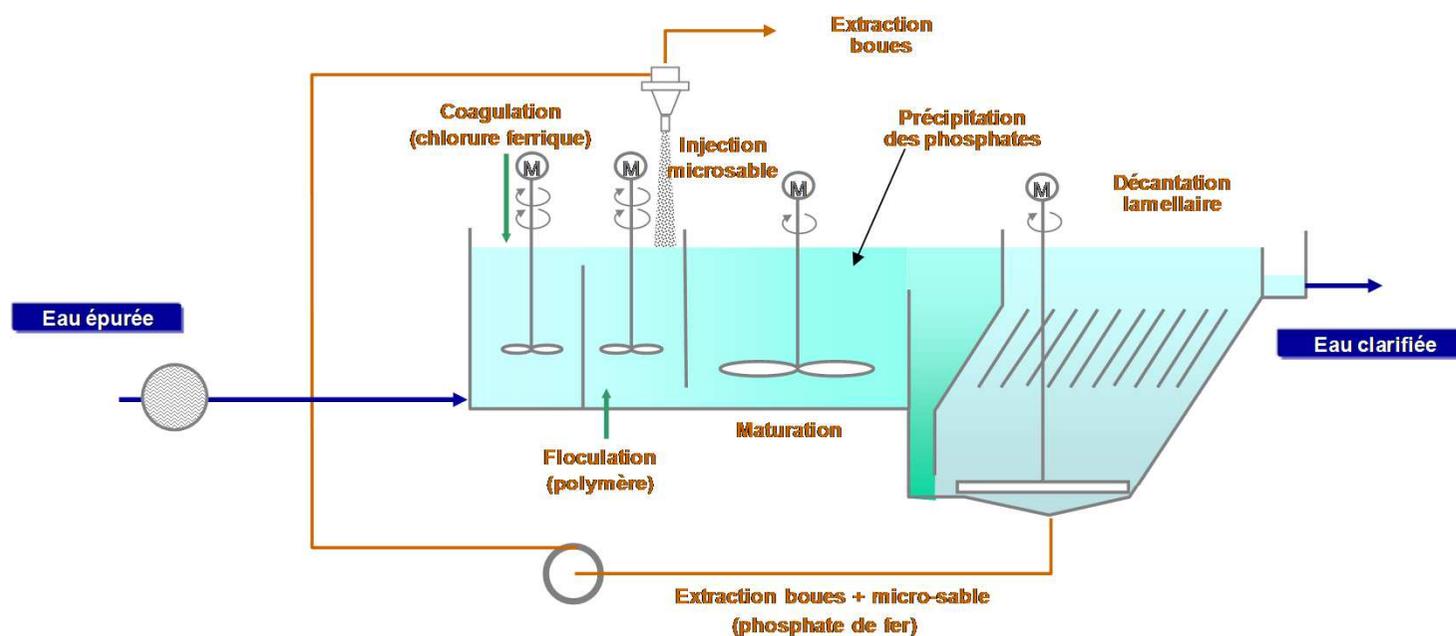
Améliore la décantabilité des boues

Limites

Efficacité très dépendante de l'aptitude du décanteur à retenir les MES fines

Filière boues activées

DÉPHOSPHATATION TERTIAIRE - CLARIFLOCCULATION



6 tamis 6 mm

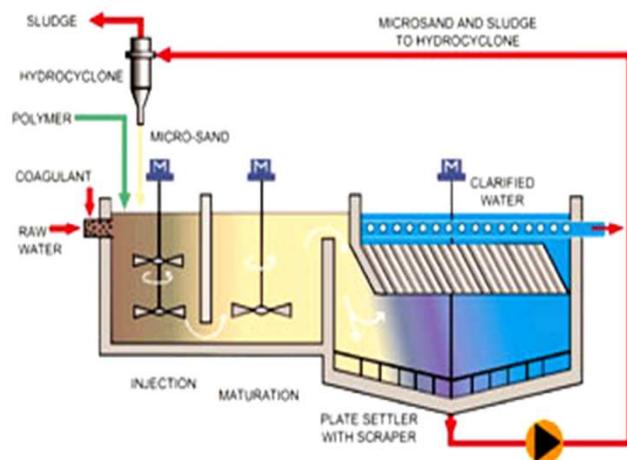
- 6 décanteurs lamellaires Actiflo
- Surface unitaire 174 m²
- Conditionnement chimique : Chlorure ferrique, Polymère

Source : SIAAP

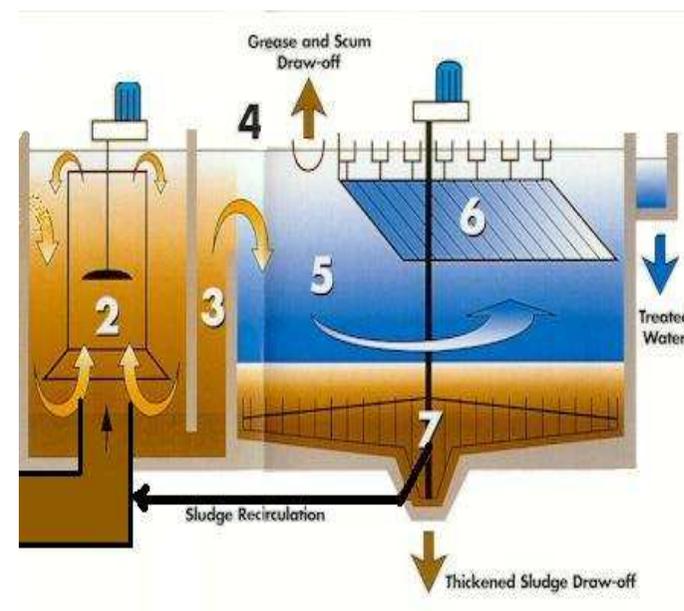


Filière boues activées

DÉPHOSPHATATION TERTIAIRE - CLARIFLOCCULATION



Actiflo (OTV)



Densadeg (Degrémont)

Filière boues activées

CLARIFLOCULATEURS

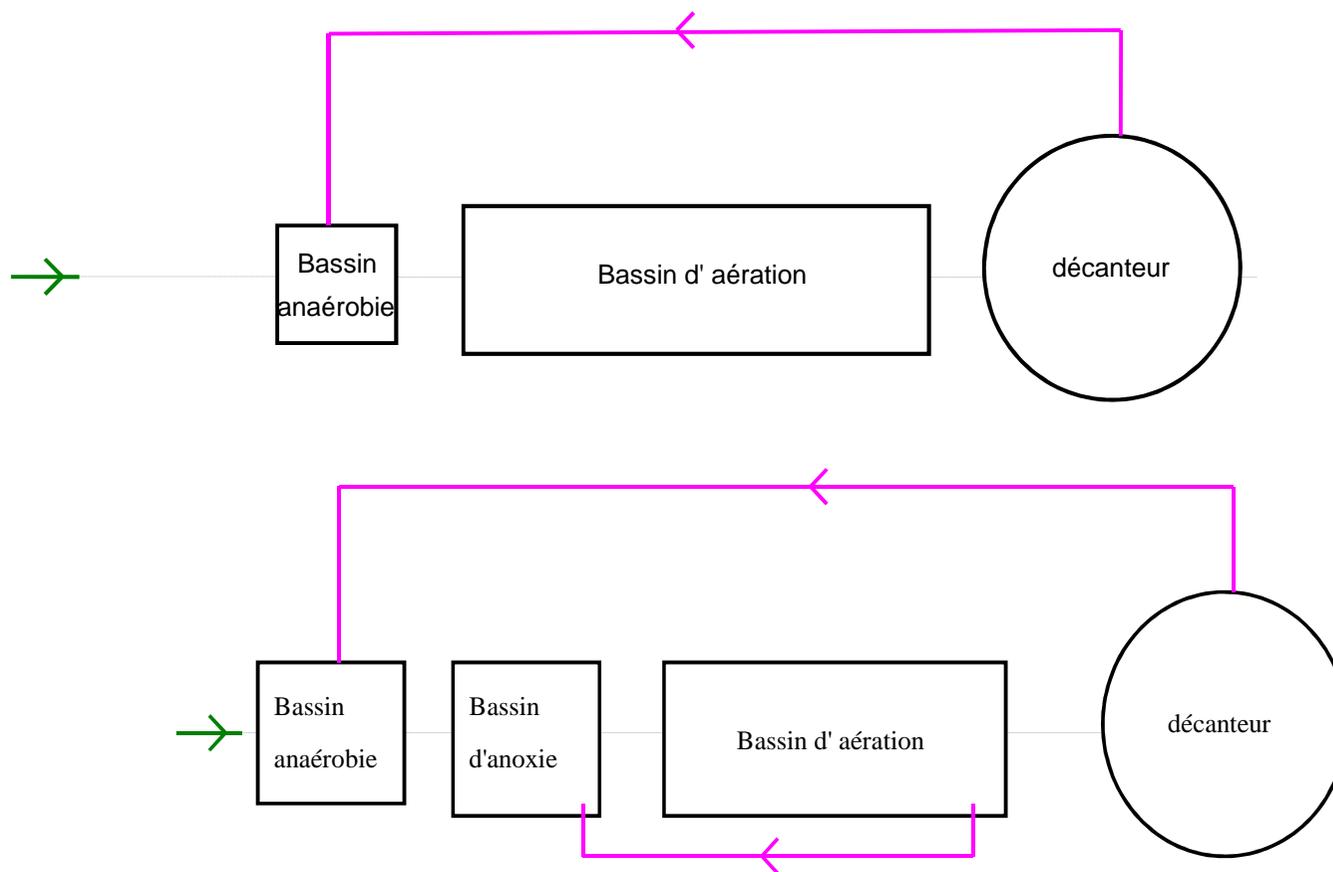
1 document technique FNDAE (fndae.fr)



N° 35 (2007)

Traitement du phosphore

DÉPHOSPHATATION BIOLOGIQUE ACCRUE – FILIÈRE TRAITEMENT BIOLOGIQUE DE N ET P





Traitement du phosphore

Déphosphatation biologique accrue – Efficacité fonction de :

- ratio DCO / P de l'eau brute
- proportion de DCO rapidement assimilable
- conception et conduite de l'installation



Traitement du phosphore

Déphosphatation biologique accrue – Efficacité
Rendements moyens (sur quelques mois)

Ribeauvillé [DCO / P, (DBO / P) = 38, (22)] \Rightarrow 89 %

Benfeld [DCO / P, (DBO / P) = 55, (32)] \Rightarrow 72 %

Blois [DCO / P, (DBO / P) = 54, (20)] 56 %



Traitement du phosphore

Déphosphatation biologique accrue – Efficacité

Rendement moyen attendu en station urbaines ⇒ 60 à 70 %

Eaux parasites ⇒ > 50%

Recours à une précipitation physico chimique complémentaire limitée
pour dépasser ces performances



Traitement du phosphore

DÉPHOSPHATATION BIOLOGIQUE ACCRUE

Avantages

Limitation de la consommation des réactifs et de la production de boues
Améliore la décantabilité des boues

Inconvénients

Ouvrage supplémentaire brassé (bassin anaérobie)
Efficacité variable et fonction de la qualité de l'ERU
Nécessité de bien maîtriser la dénitrification
Contraintes sur la filière boues (conception, exploitation)

Traitement du phosphore

1 document technique FNDAE (fndae.fr)



N° 29 (2004)



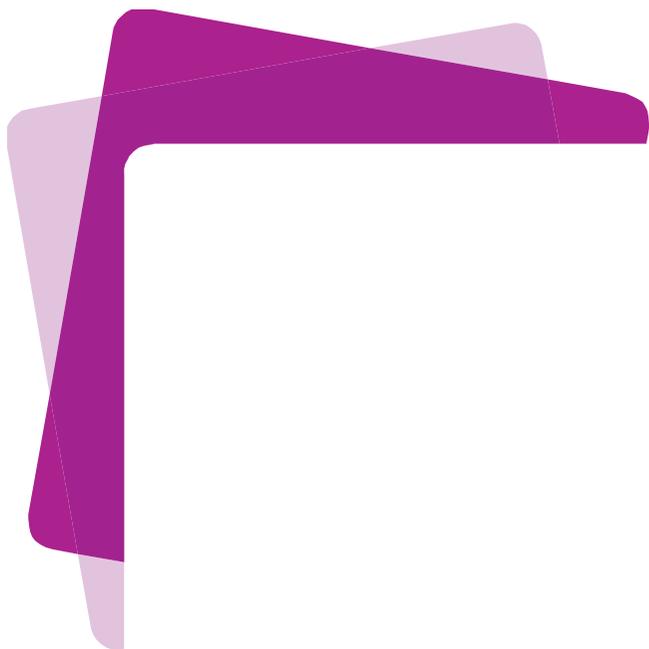
Boues activées très faible charge

TRAITEMENT DU PHOSPHORE

Performances : concentrations (mg L^{-1}) ou rendements (%) limites

DCO	DBO ₅	MES	NTK	N-NH ₄	N-NO ₃	NGL	P-PO ₄	P
45 - 60*	10 à 12	15 à 20	5	1 à 2	5	10	/	20 - 40%
Déphosphatation physico-chimique simultanée							< 0,3	< 1,3
Déphosphatation biologique								60 – 70 %
Déphosphatation biologique + physico-chimique simultanée							< 0,3	< 1,3

*Fonction de la dilution des eaux brutes



Merci

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



www.irstea.fr



Plan de l'exposé

Introduction

Alimentation

Pré-traitements

Décantation primaire

Principes généraux des filières de traitement biologique aérobie

Fonctions et caractéristiques des procédés :

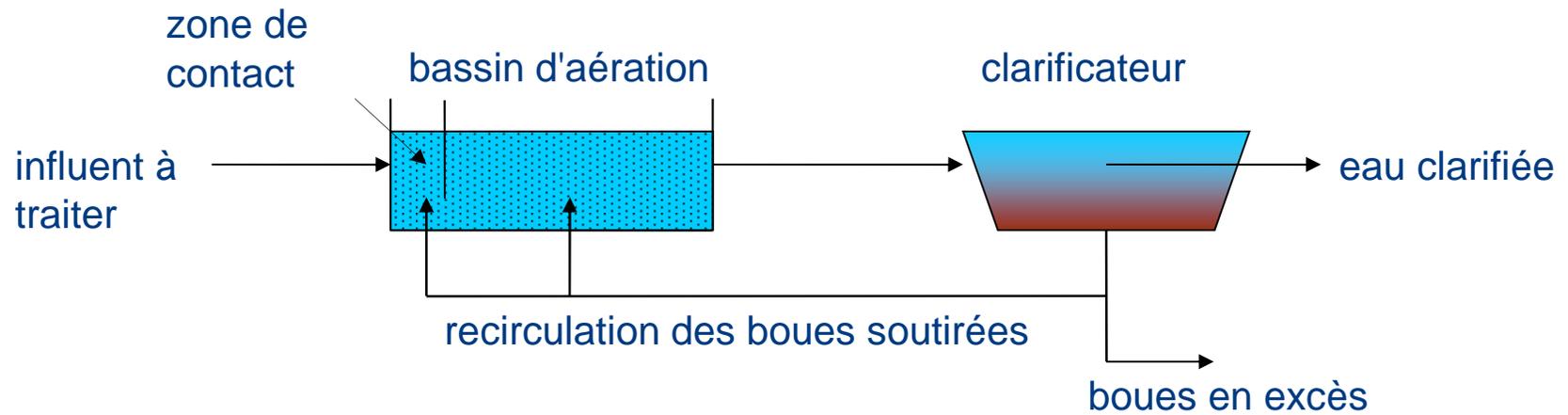
- Lits bactériens
- Disques biologiques
- Biofiltres
- Procédés physico-chimiques

Boues activées

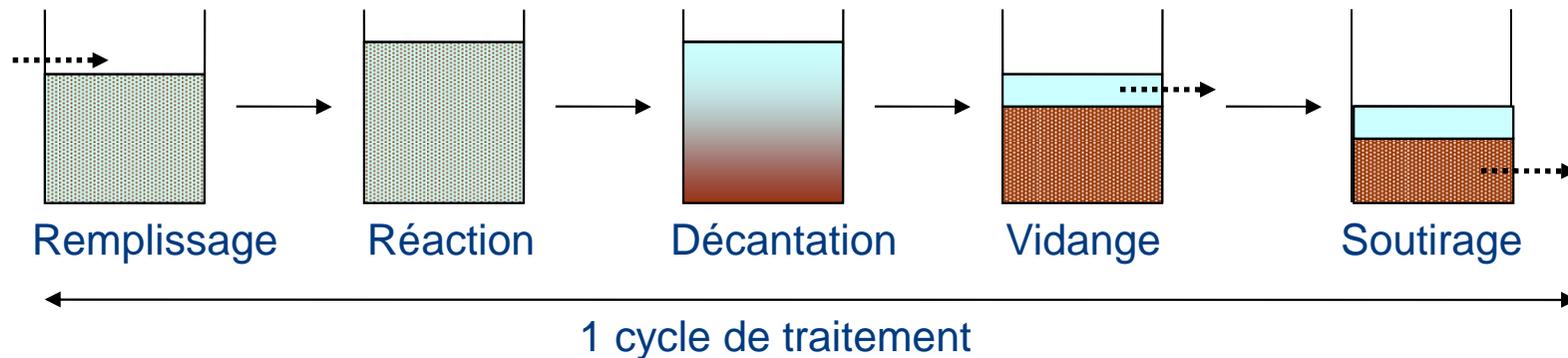
- Description de la filière
- Traitement de l'azote
- Traitement du phosphore
- SBR
- Bioréacteurs à membranes immergées
- MBBR

Boues activées à fonctionnement séquentiel - SBR

Fonctionnement continu : procédé classique

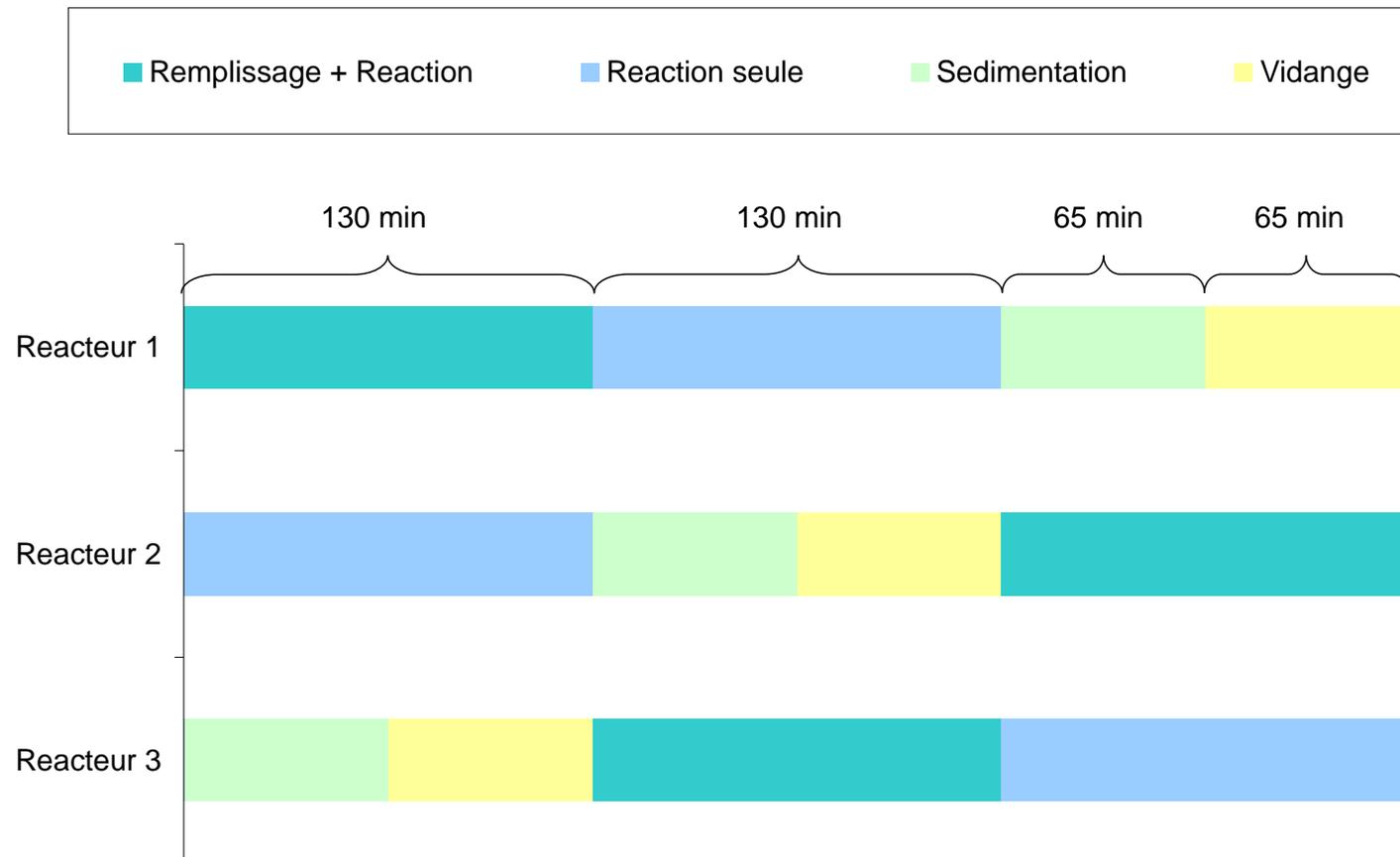


Fonctionnement séquentiel : procédé SBR



Boues activées à fonctionnement séquentiel SBR

Les différentes phases de fonctionnement



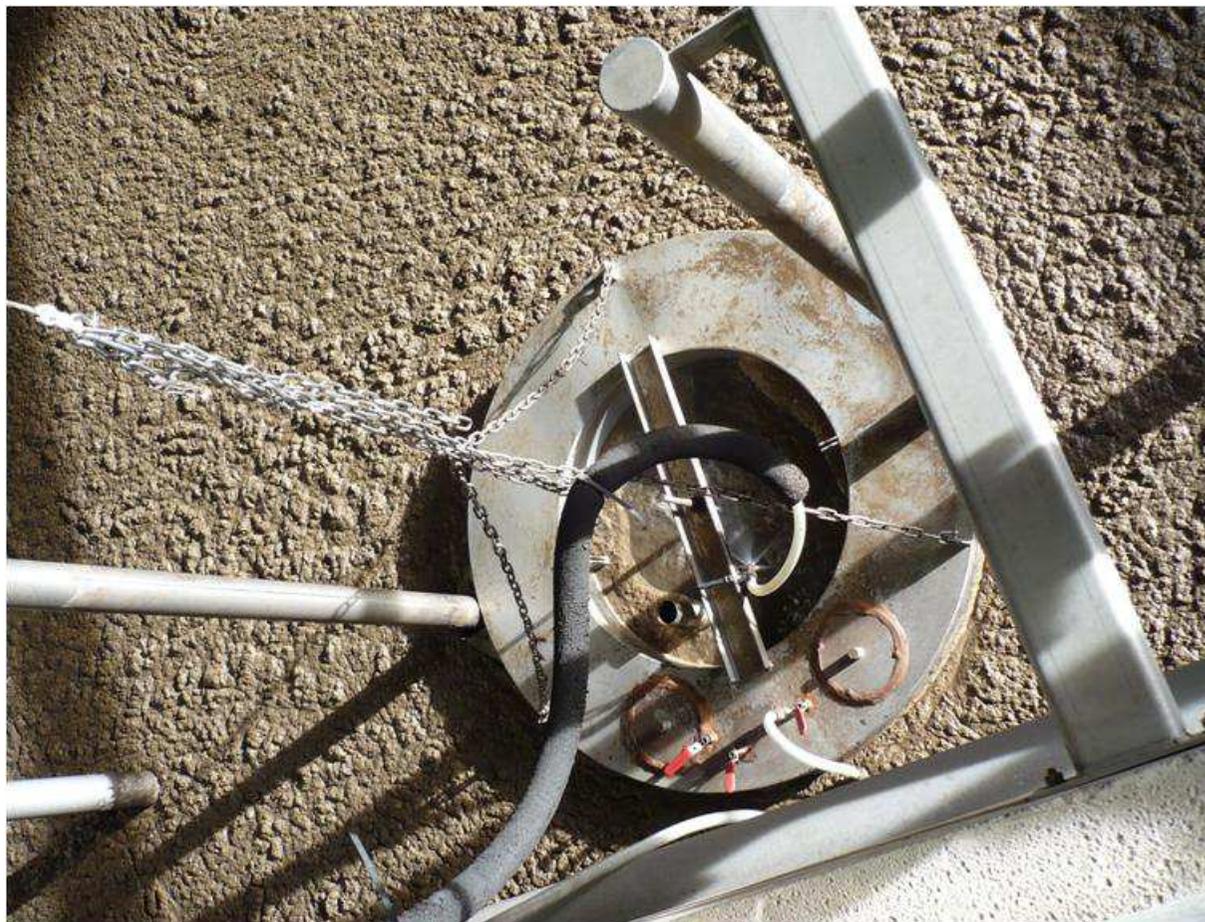
Boues activées à fonctionnement séquentiel SBR



Boues activées à fonctionnement séquentiel SBR



Boues activées à fonctionnement séquentiel SBR



Boues activées à fonctionnement séquentiel SBR





Boues activées à fonctionnement séquentiel SBR

Avantages (à valider)

Procédé compact (pas de décanteur)

Pas de recirculation des boues (W)

Modularité

A priori favorable à la décantabilité des boues

Limites (à valider)

Procédé automatisé et en cours de validation sur sites

Besoin en personnel qualifié (automatisation)

Possibilité d'une nitrification et d'une dénitrification très poussées à valider (cycles courts)



Plan de l'exposé

Introduction

Alimentation

Pré-traitements

Décantation primaire

Principes généraux des filières de traitement biologique aérobie

Fonctions et caractéristiques des procédés :

- Lits bactériens
- Disques biologiques
- Biofiltres
- Procédés physico-chimiques

Boues activées

- Description de la filière
- Traitement de l'azote
- Traitement du phosphore
- SBR
- Bioréacteurs à membranes immergées
- MBBR



BRM un procédé en développement

Forte croissance du développement des Bioréacteurs à membranes immergées (BRM) ces dernières années en Europe et dans le monde

BRM en effluents urbains

+ 20% / an

Réduction progressive coût des membranes

Durée de vie membranes: 5 à 7 ans voire plus

Efforts de recherche important à l'échelle internationale

Des procédés appliqués à des tailles d'installations de plus en plus importantes



BRM à fibres creuses



Membranes dans le bassin
d'aération ou en cellules
séparées

Retrolavages fréquents

Faisceau de fibres dense (0.1μ)

Constructeur fibres dominant:
Zenon

BRM à membranes planes



- Membranes KUBOTA

Écartement des plaques : 8 mm

Surface plaque : 0.8 m²

Membranes en cellules séparées

Phases de relaxation

Rétrolavage très épisodique

Densité membranes plus faible / cellule

→ V cellules filtration plus important



- Débit filtration moyen:25L/h.m²



Sites en cours d'étude



Le Guilvinec
Aqua-RM



Guéthary
Biosep



Grasse
Ultrafor



BRM à très faible charge

Concentrations (mg/l) ou rendements (%) limites

DCO	DBO ₅	MES	NTK	N-NH ₄	N-NO ₃	NGL	P-PO ₄	P
10-30	2 - 3	< 2	2 - 4	1 à 2	5 - 8	10	/	20 - 40%
Déphosphatation physico-chimique simultanée							< 0,3	< 0,3
Déphosphatation biologique								60 – 70 %
Déphosphatation biologique + physico-chimique simultanée							< 0,3	< 0,3



Bioréacteurs à membranes immergées

AVANTAGES

Procédé compact

Excellente qualité de l'eau épurée

Possibilité d'une nitrification (voire d'une dénitrification) très poussées et bien maîtrisées

Possibilité d'un traitement du phosphore très poussé

Bien adaptés aux variations de charge organique

Gestion des boues plus souple qu'avec une boue activée conventionnelle

Désinfection



Bioréacteurs à membranes immergées

LIMITES

Procédé récent, très automatisé et en cours de mise au point sur sites

Procédé actuellement réservé à des tailles d'installations élevées (> 10.000EH)

Consommation énergétique importante

Débit admissible fonction du débit de filtration des membranes (bassin tampon recommandé)

Décolmatage des membranes par air (impact sur la dénitrification possible)

Impact de l'injection des sels métalliques sur le colmatage des membranes non connu

Besoin en personnel très qualifié (automatisation poussée)