# La dénitrification biologique

## La problématique « carbone »

Réunion du GIS BioSTEP – 10 mars 2014

Direction Développement Prospective - V. Rocher

SIAAP
Service public de l'assainissement francilien
www.siaap.fr

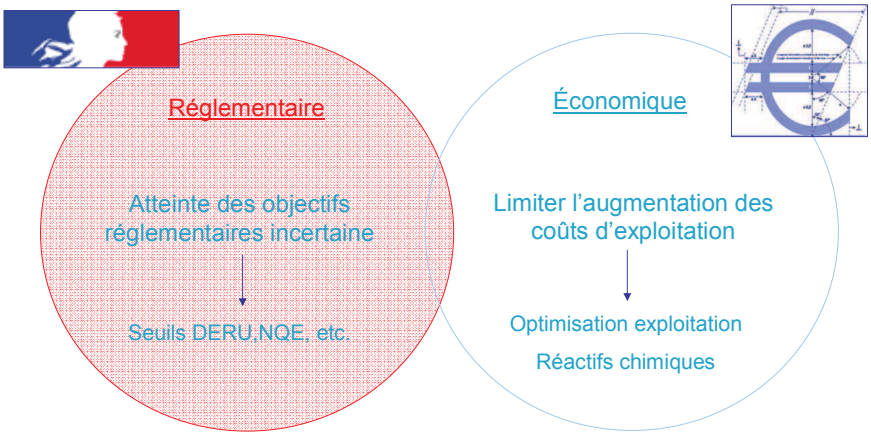
## Points abordés

- Quelques rappels sur le SIAAP
- Présentation de la Direction Développement Prospective
- Etudes menées sur la dénitrification biologique

GIS BioSTEP – Mars 2014 2

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Contexte général des études « dénitrification »

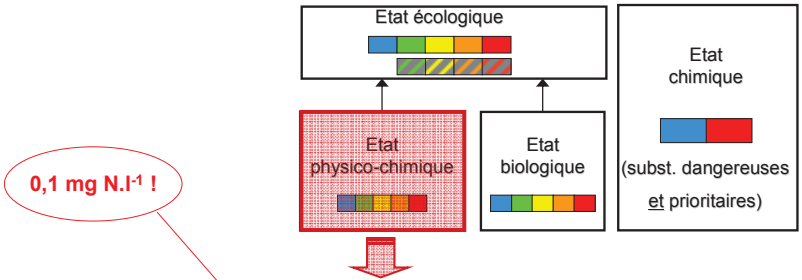



**Dénitrification biologique au cœur de ces deux sphères**

GIS BioSTEP – Mars 2014 21

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Rappel du cadre réglementaire : la Directive Cadre Européenne
  - Atteinte du Bon état des masses d'eau d'ici 2015 (2021)
  - Fixe des Normes de Qualité Environnementale

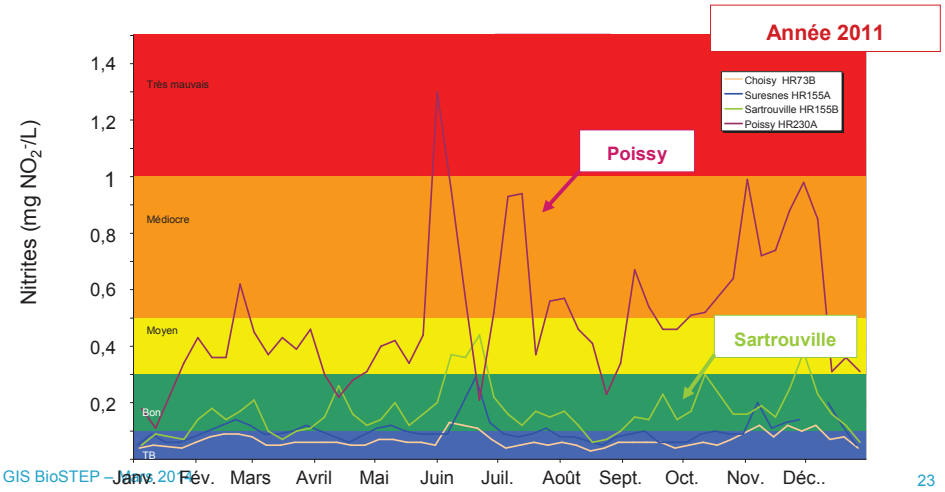


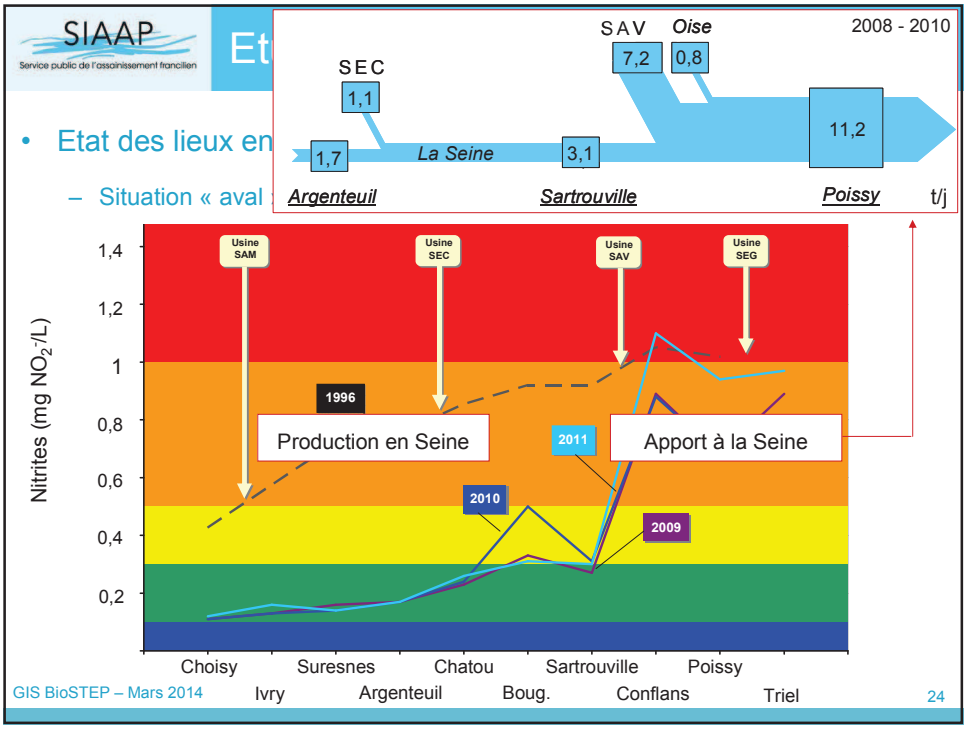

| | Limites des classes d'état | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Paramètre** | **très bon** | **bon** | moyen | médiocre | mauvais |
| $NO_2^-$ (mg $NO_2^-$ $l^{-1}$) | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 1 | |

GIS BioSTEP – Mars 2014 *Arrêté 25 janvier 2010* 22

## Etudes sur la dénitrification biologique

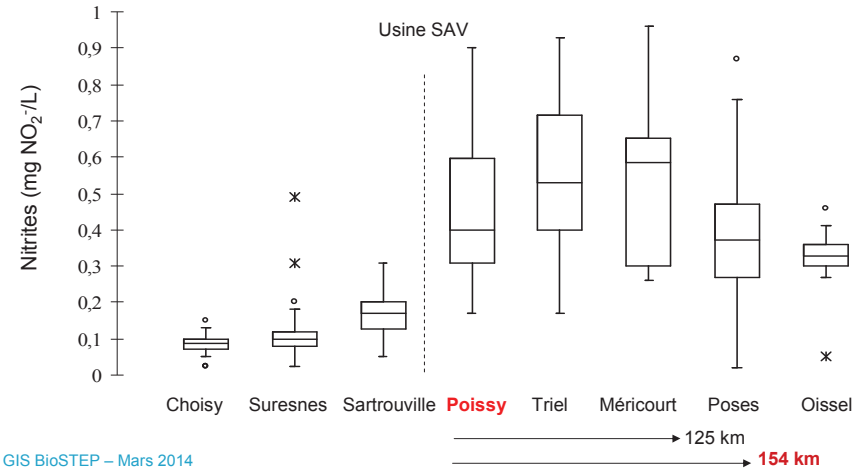
- Etat des lieux environnemental : la situation actuelle
  - Augmentation des concentrations à l'aval de l'agglomération



## Etudes sur la dénitrification biologique

- Etat des lieux environnemental : une problématique régionale
  - Etat problématique 150 km après Poissy …




GIS BioSTEP – Mars 2014 25

## Etudes sur la dénitrification biologique

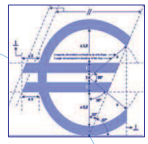
- Contexte général des études « dénitrification »

Réglementaire

Atteinte des objectifs réglementaires incertaine

Seuils DERU,NQE, etc.

Économique



Limiter l'augmentation des coûts d'exploitation

Optimisation exploitation

Réactifs chimiques

**Dénitrification biologique au cœur de ces deux sphères**

GIS BioSTEP – Mars 2014 26

## Etudes sur la dénitrification biologique

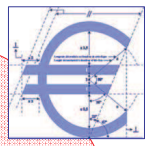
- Contexte général des études « dénitrification »

Réglementaire

Atteinte des objectifs réglementaires incertaine

↓

Seuils DERU,NQE, etc.



Économique

Limiter l'augmentation des coûts d'exploitation

↓

Optimisation exploitation

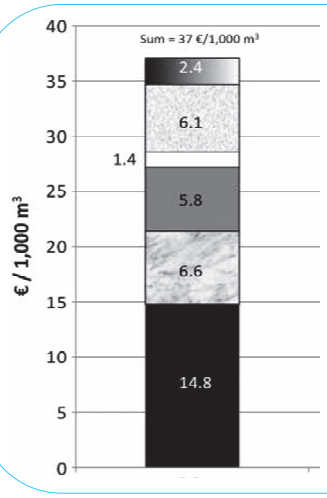
Réactifs chimiques

**Dénitrification biologique au cœur de ces deux sphères**

GIS BioSTEP – Mars 2014 27

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Le coût imputable à l'ajout de carbone exogène




*Répartition des coûts d'exploitation (énergie / réactifs) des unités de biofiltration (C/N/DN)*

- Sludge incineration (ash disposal)
- Sludge incineration (fuel consumption)
- Biological sludge dewatering (cationic polymer)
- Biofilter aeration (electricity)
- Water pumping (electricity)
- Reagents (methanol)

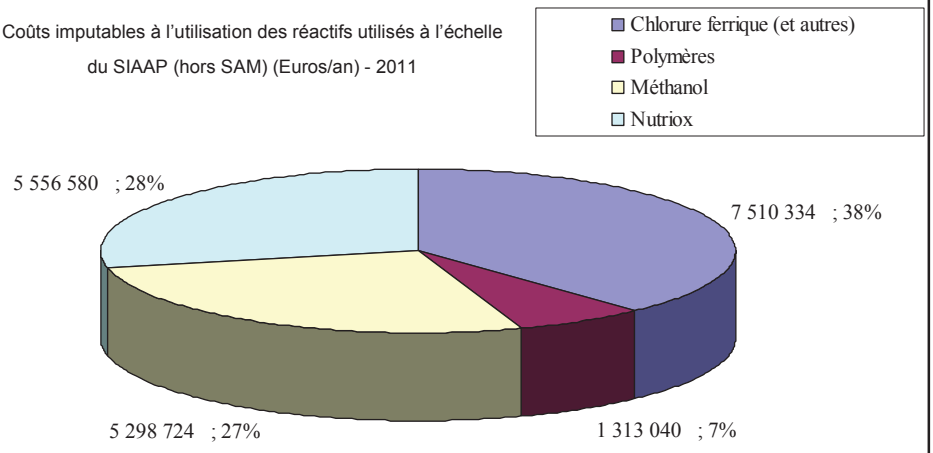
*Water Science and Technology, 2012*

GIS BioSTEP – Mars 2014 28

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Le coût imputable à l'ajout de carbone exogène

Coûts imputables à l'utilisation des réactifs utilisés à l'échelle du SIAAP (hors SAM) (Euros/an) - 2011




GIS BioSTEP – Mars 2014 29

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Stratégie générale

**Axe 1. Diminution des consommations**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée par quantité de nitrate éliminée sur les usines

**Axe 2. Recherche de substituts**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée (voire suppression) en employant d'autres sources de carbone

Deux catégories de substituts potentiels : produits purs / sous-produits d'autres process industriels

**Levier 1**

Optimisation des filières de traitement biologique

**Répartition optimale du traitement du nitrate entre les ≠ réacteurs biologiques** (pré-DN sur biofiltres, post-DN sur biofiltres pré-DN dans les bassins à boues activées)

**Levier 2**

Optimisation du fonctionnement des biofiltres post-DN

Amélioration des connaissances sur le fonctionnement des post-DN

Développement d'une métrologie adaptée

Amélioration des boucles de contrôle-commande.

GIS BioSTEP – Mars 2014 30

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Stratégie générale

**Axe 1. Diminution des consommations**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée par quantité de nitrate éliminée sur les usines

**Axe 2. Recherche de substituts**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée (voire suppression) en employant d'autres sources de carbone

Deux catégories de substituts potentiels : produits purs / sous-produits d'autres process industriels

**Levier 1**

Optimisation des filières de traitement biologique

**Répartition optimale du traitement du nitrate entre les ≠ réacteurs biologiques**
(pré-DN sur biofiltres, post-DN sur biofiltres pré-DN dans les bassins à boues activées)

**Levier 2**

Optimisation du fonctionnement des biofiltres post-DN

Amélioration des connaissances sur le fonctionnement des post-DN

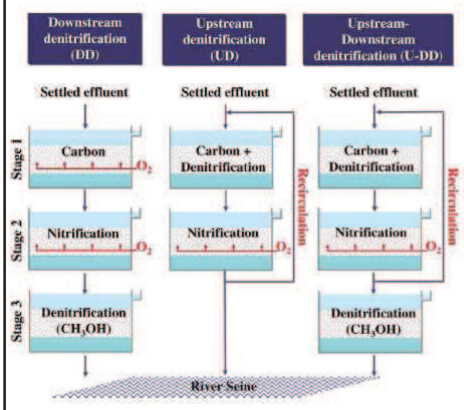
Développement d'une métrologie adaptée

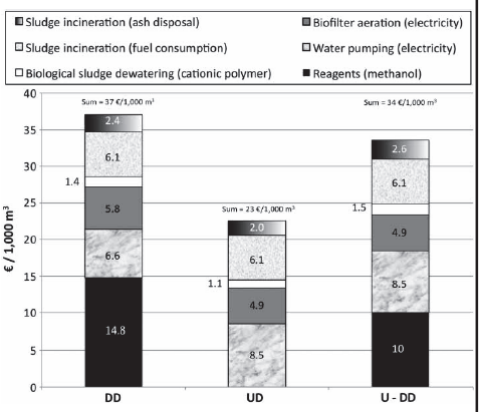
Amélioration des boucles de contrôle-commande.

GIS BioSTEP – Mars 2014 31

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **FILIERES**
  - Exemple : optimisation des filières « Biofiltres »




GIS BioSTEP – Mars 2014 *Water Science and Technology, 2012*

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **FILIERES**
  - Exemple : optimisation des filières « Biofiltres »

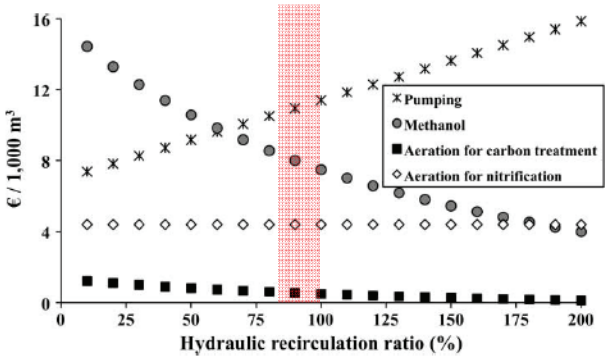



**Figure 3** | Evolution of the costs of methanol addition, of aeration for carbon treatment, of aeration for nitrification and of pumping *versus* the recirculation ratio being applied in the case of a process including an upstream denitrification step (U-DD).

GIS BioSTEP – Ma

*Water Science and Technology, 2012*

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **FILIERES**
  - Exemple : optimisation des filières « Biofiltres »

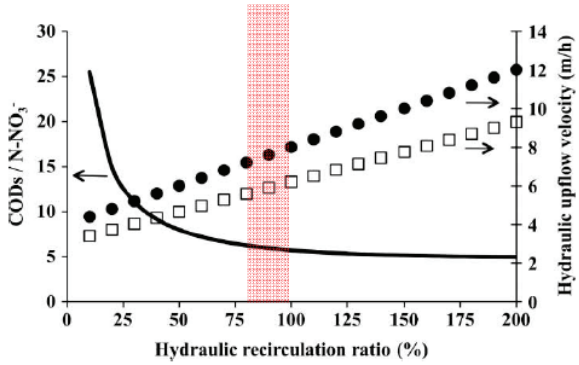



**Figure 5** | Evolution of the available amounts of carbonaceous substrate for upstream denitrification (solid line) and evolution of the effluent flow velocities through the first (black circle) and second (white square) biofilter stages *versus* the hydraulic recirculation ratio.

GIS BioSTEP – Mars 2014

*Water Science and Technology, 2012*

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **FILIERES**
  - Exemple : optimisation des filières « Biofiltres »

Tests à l'échelle industrielle
(Seine Centre – 2010)

GIS BioSTEP – Mars 2014 35

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Stratégie générale

**Axe 1. Diminution des consommations**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée par quantité de nitrate éliminée sur les usines

**Axe 2. Recherche de substituts**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée (voire suppression) en employant d'autres sources de carbone

Deux catégories de substituts potentiels : produits purs / sous-produits d'autres process industriels

**Levier 1**

Optimisation des filières de traitement biologique

**Répartition optimale du traitement du nitrate entre les ≠ réacteurs biologiques** (pré-DN sur biofiltres, post-DN sur biofiltres pré-DN dans les bassins à boues activées)

**Levier 2**

Optimisation du fonctionnement des biofiltres post-DN

Amélioration des connaissances sur le fonctionnement des post-DN

Développement d'une métrologie adaptée

Amélioration des boucles de contrôle-commande.

GIS BioSTEP – Mars 2014 36

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Stratégie générale

**Axe 1. Diminution des consommations**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée par quantité de nitrate éliminée sur les usines

**Axe 2. Recherche de substituts**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée (voire suppression) en employant d'autres sources de carbone

Deux catégories de substituts potentiels : produits purs / sous-produits d'autres process industriels

**Levier 1**

Optimisation des filières de traitement biologique

**Répartition optimale du traitement du nitrate entre les ≠ réacteurs biologiques**
(pré-DN sur biofiltres, post-DN sur biofiltres pré-DN dans les bassins à boues activées)

**Levier 2**

Optimisation du fonctionnement des biofiltres post-DN

Amélioration des connaissances sur le fonctionnement des post-DN

Développement d'une métrologie adaptée

Amélioration des boucles de contrôle-commande.

GIS BioSTEP – Mars 2014 37

## Etudes sur la dénitrification biologique

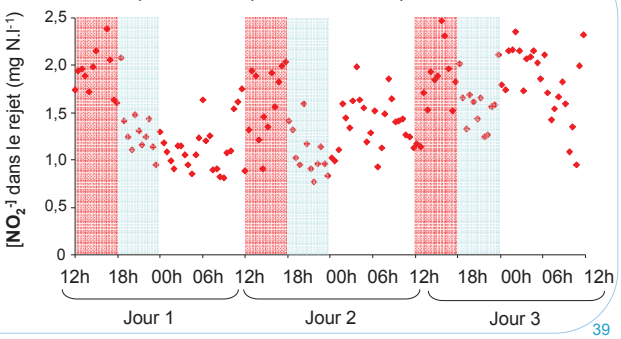
- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **UNITES**
  - → Développement d'un dispositif de mesure en continu
  - → Etude de l'influence des leviers d'exploitation
    - Charge appliquée / Apport en carbone (nature / régulation) / Apport en phosphore

GIS BioSTEP – Mars 2014 38

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **UNITES**
  - → Développement d'un dispositif de mesure en continu
  - → Etude de l'influence des leviers d'exploitation
    - Charge appliquée / Apport en carbone (nature / régulation) / Apport en phosphore

*Exemple de chronique de mesure acquise sur le site SEC*




GIS BioSTEP – Mars 2014 39

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **UNITES**
  - → Développement d'un dispositif de mesure en continu
  - → Etude de l'influence des leviers d'exploitation
    - Charge appliquée / Apport en carbone (nature / régulation) / Apport en phosphore

GIS BioSTEP – Mars 2014 40

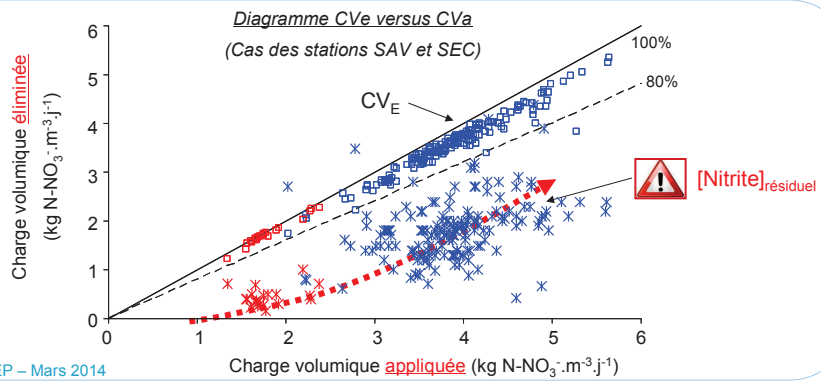
## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **UNITES**

→ Développement d'un dispositif de mesure en continu

→ Etude de l'influence des leviers d'exploitation

Charge appliquée / Apport en carbone (nature / régulation) / Apport en phosphore




GIS BioSTEP – Mars 2014 41

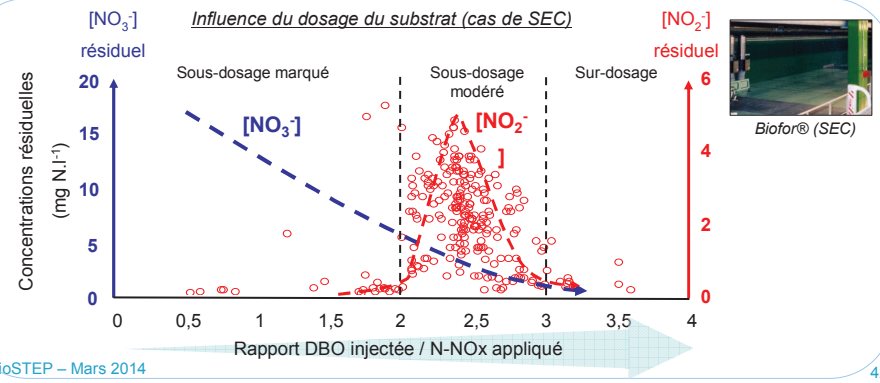
## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **UNITES**

→ Développement d'un dispositif de mesure en continu

→ Etude de l'influence des leviers d'exploitation

Charge appliquée / Apport en carbone (nature / régulation) / Apport en phosphore




GIS BioSTEP – Mars 2014 42

## Etudes sur la dénitrification biologique

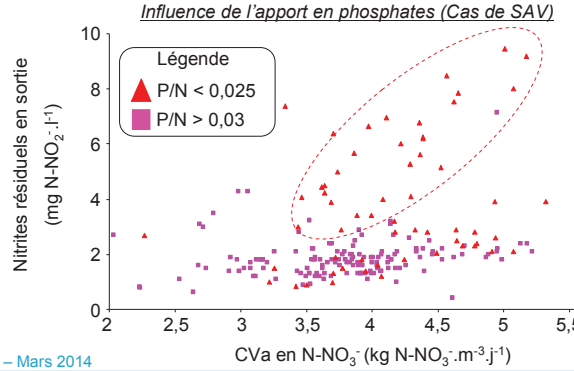
- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **UNITES**

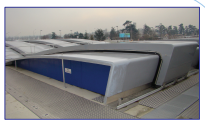
→ Développement d'un dispositif de mesure en continu

→ Etude de l'influence des leviers d'exploitation

Charge appliquée / Apport en carbone (nature / régulation) / Apport en phosphore

*Influence de l'apport en phosphates (Cas de SAV)*



*Biofor® (SAV)*

GIS BioSTEP – Mars 2014 43

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 1 : Diminution des consommations par une optimisation des **UNITES**

→ Développement d'un dispositif de mesure en continu

→ Etude de l'influence des leviers d'exploitation

Charge appliquée / Apport en carbone (nature / régulation) / Apport en phosphore

Synthèse technique

Modélisation du fonctionnement de la Post-DN

MOCOPÉE

UNIVERSITÉ LAVAL SIAAP

GIS BioSTEP – Mars 2014 44

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Stratégie générale

**Axe 1. Diminution des consommations**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée par quantité de nitrate éliminée sur les usines

**Axe 2. Recherche de substituts**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée (voire suppression) en employant d'autres sources de carbone

Deux catégories de substituts potentiels : produits purs / sous-produits d'autres process industriels

**Levier 1**

Optimisation des filières de traitement biologique

**Répartition optimale du traitement du nitrate entre les ≠ réacteurs biologiques**
(pré-DN sur biofiltres, post-DN sur biofiltres pré-DN dans les bassins à boues activées)

**Levier 2**

Optimisation du fonctionnement des biofiltres post-DN

Amélioration des connaissances sur le fonctionnement des post-DN

Développement d'une métrologie adaptée

Amélioration des boucles de contrôle-commande.

GIS BioSTEP – Mars 2014 45

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Stratégie générale

**Axe 1. Diminution des consommations**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée par quantité de nitrate éliminée sur les usines

**Axe 2. Recherche de substituts**

Diminution de la quantité de méthanol utilisée (voire suppression) en employant d'autres sources de carbone

Deux catégories de substituts potentiels : produits purs / sous-produits d'autres process industriels

**Levier 1**

Optimisation des filières de traitement biologique

**Répartition optimale du traitement du nitrate entre les ≠ réacteurs biologiques**
(pré-DN sur biofiltres, post-DN sur biofiltres pré-DN dans les bassins à boues activées)

**Levier 2**

Optimisation du fonctionnement des biofiltres post-DN

Amélioration des connaissances sur le fonctionnement des post-DN

Développement d'une métrologie adaptée

Amélioration des boucles de contrôle-commande.

GIS BioSTEP – Mars 2014 46

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 2 : Recherche de substituts – Démarche d'évaluation des produits
  - Critères de niveau 1
    - Critères épuratoires : évaluation de l'efficacité du substrat
      - Cinétiques de disparition nitrates / accumulation des nitrites
      - Compatibilité avec le dimensionnement des ouvrages
    - Critères de dangerosité : évaluation des risques industriels associés
      - Caractère explosif / inflammable
  - Critères de niveau 2
    - Mise en œuvre technique sur site
    - Approvisionnement en substrat
    - Aspects sanitaires et environnementaux

GIS BioSTEP – Mars 2014 47

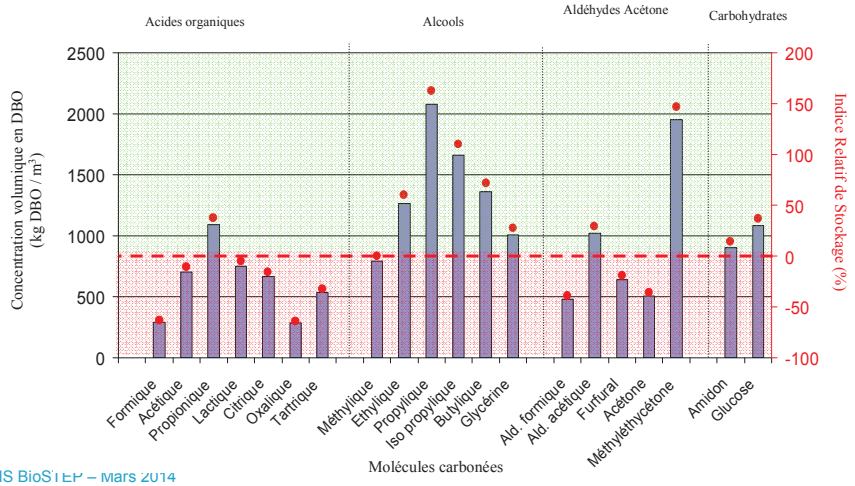
## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 2 : Recherche de substituts – Démarche d'évaluation des produits
  - Critères de niveau 1
    - Critères épuratoires : évaluation de l'efficacité du substrat
      - Cinétiques de disparition nitrates / accumulation des nitrites
      - Compatibilité avec le dimensionnement des ouvrages
    - Critères de dangerosité : évaluation des risques industriels associés
      - Caractère explosif / inflammable
  - Critères de niveau 2
    - **Mise en œuvre technique sur site**
    - Approvisionnement en substrat
    - Aspects sanitaires et environnementaux

GIS BioSTEP – Mars 2014 48

## Mise en œuvre technique sur site

- Contraintes de stockage et d'injection
  - Volume de stockage et autonomie

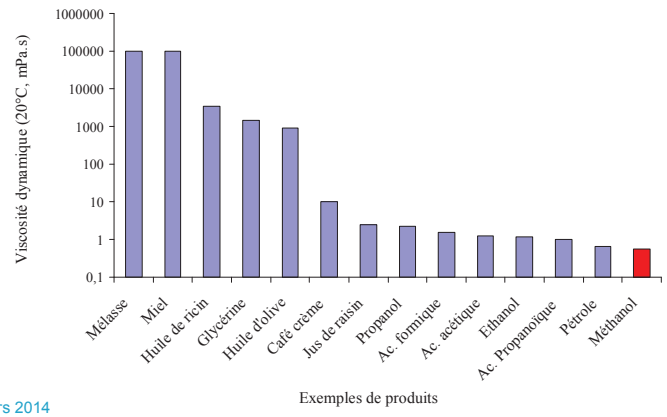





## Mise en œuvre technique sur site

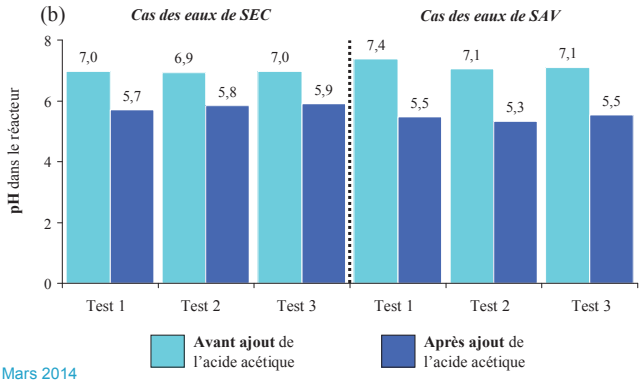
- Contraintes de stockage et d'injection
  - Système d'alimentation en substrat

Viscosité / corrosivité / aptitude à la cristallisation



## Mise en œuvre technique sur site

- Contraintes d'exploitation / process
  - Stabilité de la source de carbone proposée
  - Modification du pH du milieu réactionnel




GIS BioSTEP – Mars 2014 51

## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 2 : Recherche de substituts – Démarche d'évaluation des produits
  - Critères de niveau 1
    - Critères épuratoires : évaluation de l'efficacité du substrat
      - Cinétiques de disparition nitrates / accumulation des nitrites
      - Compatibilité avec le dimensionnement des ouvrages
    - Critères de dangerosité : évaluation des risques industriels associés
      - Caractère explosif / inflammable
  - Critères de niveau 2
    - Mise en œuvre technique sur site
    - **Approvisionnement en substrat**
    - Aspects sanitaires et environnementaux

GIS BioSTEP – Mars 2014 52

## Approvisionnement en substrat

- Capacité d'approvisionnement
  - Quantités disponibles
  - Régularité- pérennité des filières de production
  - Localisation des filières de production
- Evaluation du coût
  - Coût actuel
  - Historique et projections



## Etudes sur la dénitrification biologique

- Axe 2 : Recherche de substituts – Démarche d'évaluation des produits
  - Critères de niveau 1
    - Critères épuratoires : évaluation de l'efficacité du substrat
      - Cinétiques de disparition nitrates / accumulation des nitrites
      - Compatibilité avec le dimensionnement des ouvrages
    - Critères de dangerosité : évaluation des risques industriels associés
      - Caractère explosif / inflammable
  - Critères de niveau 2
    - Mise en œuvre technique sur site
    - Approvisionnement en substrat
    - **Aspects sanitaires et environnementaux**

## Aspects sanitaires et environnementaux

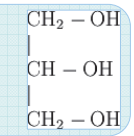
- Contraintes pour le personnel d'exploitation et les riverains
  - Odeurs
  - Gaz volatils irritants
  - Etc.
- Maintien d'une qualité de rejet
  - Présence d'impuretés
  - Polluants parasites



## Exemple du glycérol

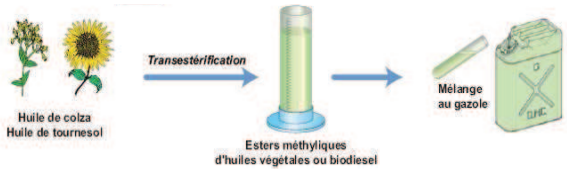
- Le glycérol un candidat idéal au remplacement du méthanol ?
  - Structure moléculaire proche de celle du méthanol
    - Tri-alcool (1, 2, 3 propantriol)
    - Propriétés physico-chimiques
      - Polaire / Non toxique / Non explosif / Visqueux

*Formule semi développée*



  - Sous-produit de la production des biocarburants pour moteur diesel

*Process de fabrication des Esters Méthyliques d'Huiles Végétales (EMHV)*



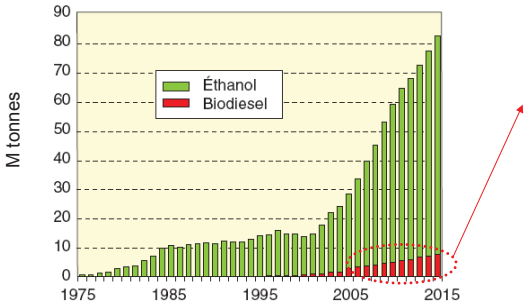


1 tonne d'huile + 100 kg de méthanol → 1 tonne de Diester + 100 kg de glycérine

## Exemple du glycérol

- Le glycérol un candidat idéal au remplacement du méthanol ?
  - Quantités disponibles importantes et en croissance …

Production mondiale de biocarburants




Le biodiesel : majoritaire en Europe

Pays producteurs : Allemagne, France, Italie

Production en plein essor

Production Diester Industrie (France)

2005 : 400 000 T / 2009 : 1 800 000 T

A l'horizon 2010, production mondiale de glycérol ≈ 1 MT/an

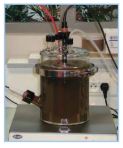
(Diester Industrie ≈ 200 000 T/an)



## Exemple du glycérol

Le glycérol est-elle une source de carbone utilisable pour la dénitrification aval ?

Essais en laboratoire



Capacité de la biomasse épuratrice à dénitrifier les effluents en présence de glycérol

(cinétiques de dénitrification / production de nitrites)

Essais industriels

Vérification des performances épuratoires

Identification d'éventuels problèmes d'exploitation

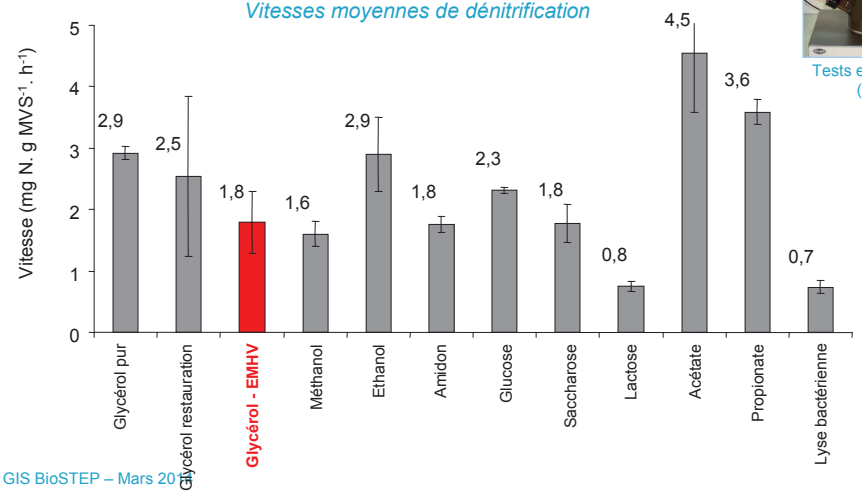
(alimentation / pollution parasite, etc.)

## Exemple du glycérol

- Inter-comparaison des cinétiques de dénitrification

Tests en réacteurs (SBR)

*Vitesses moyennes de dénitrification*



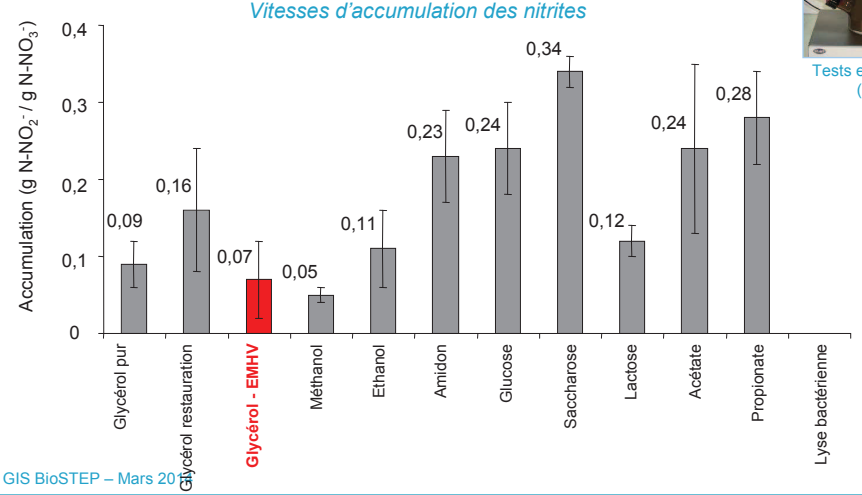



## Exemple du glycérol

- Inter-comparaison des cinétiques de dénitrification

Tests en réacteurs (SBR)

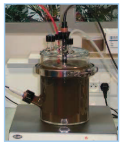
*Vitesses d'accumulation des nitrites*



## Exemple du glycérol

Le glycérol est-elle une source de carbone utilisable pour la dénitrification aval ?

Essais en laboratoire



OK !

Essais industriels

Vérification des performances épuratoires

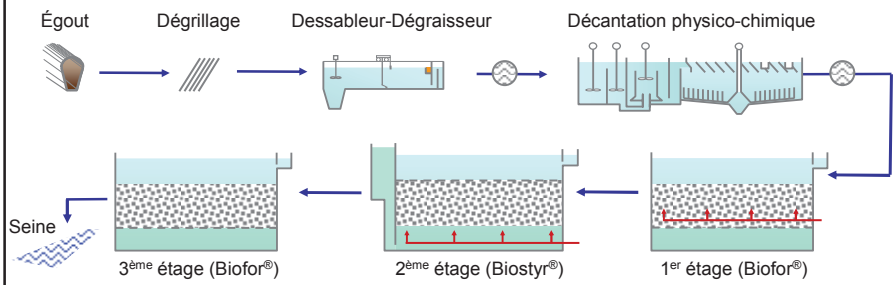
Identification d'éventuels problèmes d'exploitation

(alimentation / pollution parasite, etc.)



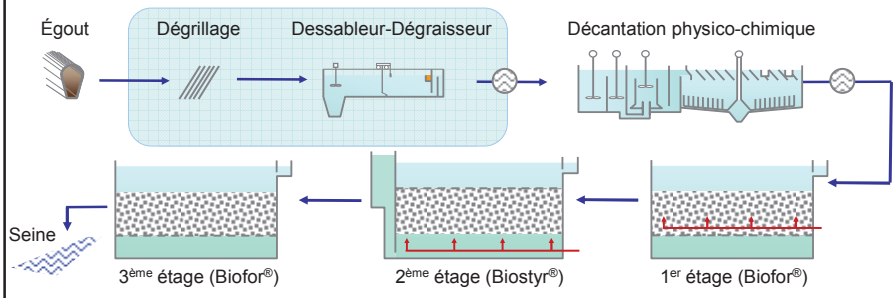
## Exemple du glycérol

- Présentation du site pilote : Seine Centre



## Exemple du glycérol

- Présentation du site pilote : Seine Centre




**Pré-traitement**

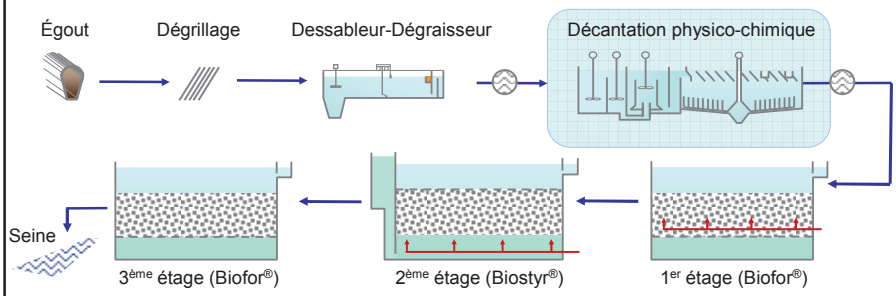
- Dégrillage (mailles 40 puis 15 mm)
- Dessablage-deshuilage (6 bassins de 950 m²)

⇒ Élimination des gros déchets flottants, des graviers et d'une partie des graisses

GIS BioSTEP – Mars 2014 63

## Exemple du glycérol

- Présentation du site pilote : Seine Centre




**Traitement physico-chimique**

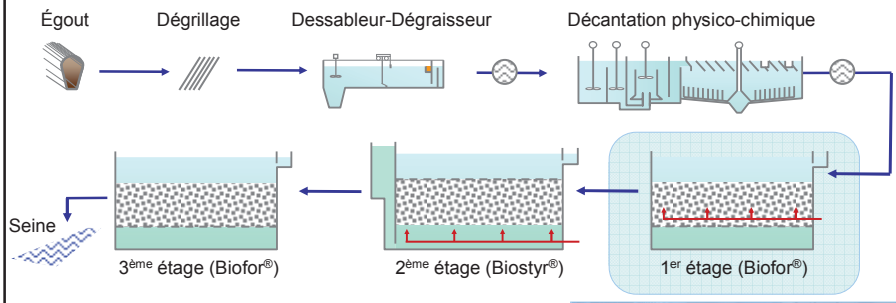
- Décantation lamellaire (9 décanteurs Densadeg®)
- Ajout de réactifs chimiques coagulant –floculant (chlorure ferrique – polymère anionique)

⇒ Rétention des MES et du phosphore

GIS BioSTEP – Mars 2014 64

## Exemple du glycérol

- Présentation du site pilote : Seine Centre




**Epuration biologique : 1er étage**

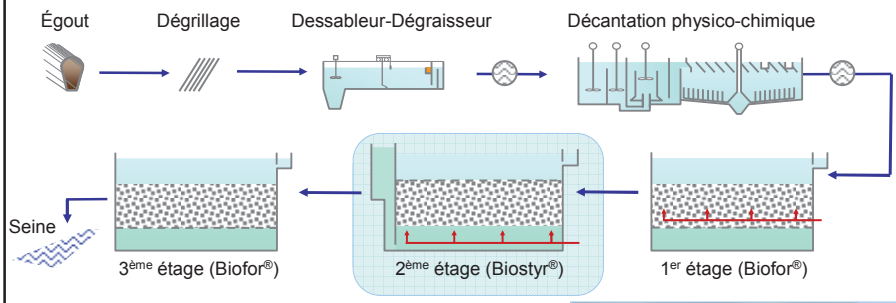
- 24 filtres biologiques de type Biofor® (biolite)
- Surface : 104 m² – hauteur matériau : 3 m
- Dispositif d'aération à la base du matériau filtrant

Élimination de la pollution carbonée



## Exemple du glycérol

- Présentation du site pilote : Seine Centre



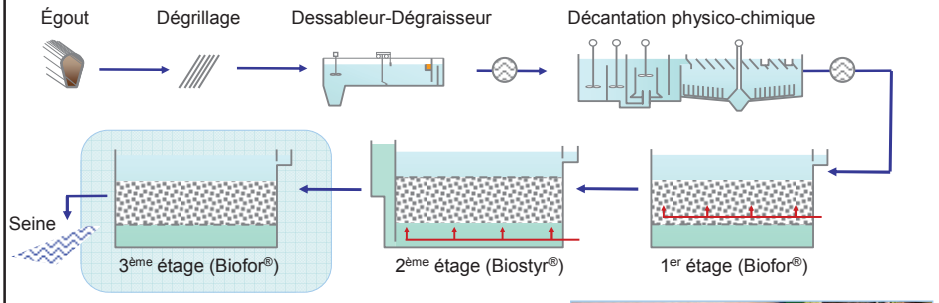

**Epuration biologique : 2ème étage**

- 29 filtres biologiques de type Biostyr® (biostyrène)
- Surface : 111 m² – hauteur matériau : 3 m
- Dispositif d'aération à la base du matériau filtrant

Nitrification : $NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$

## Exemple du glycérol

- Présentation du site pilote : Seine Centre




**Epuration biologique : 3ème étage**

- 12 filtres biologiques de type Biofor® (biolite)
- Surface : 104 m² – hauteur matériau : 3 m
- Dispositif d'aération à la base du matériau filtrant

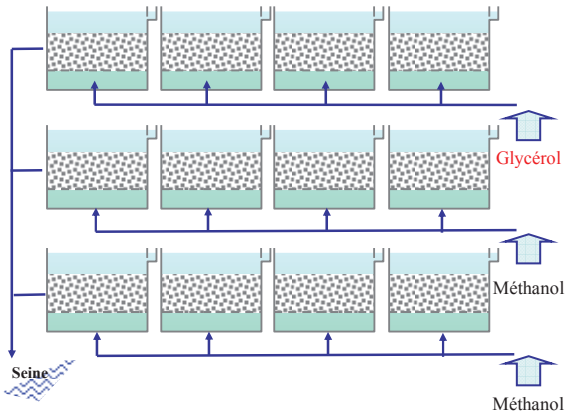
Dénitrification : $NO_3^- \rightarrow N_2$ (g)



## Exemple du glycérol

- Présentation du dispositif de suivi des essais

*Étape de dénitrification par biofiltration (Biofor®)*




File expérimentale glycérol
4 biofiltres
Volumes traités : 80 000 m³.j⁻¹

2 Files témoins méthanol
2 x 4 biofiltres
Volumes traités : 2 x 80 000 m³.j⁻¹

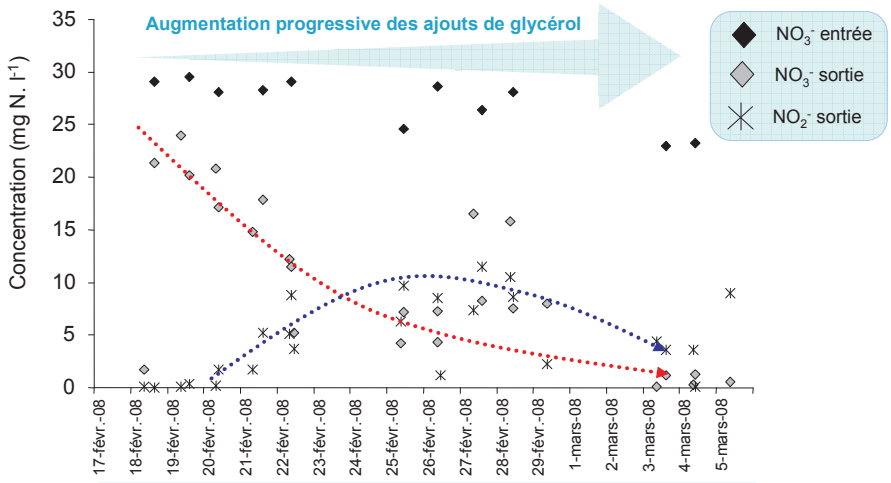
Suivi des performances épuratoires
(prélèvements automatiques / ponctuels / canne de prélèvement multi-points)

Suivi de l'encrassement des massifs
(pressions sous planchers / canne de mesure des pertes de charge)

Suivi de la qualité des boues biologiques
(observations microscopiques)

## Exemple du glycérol

- Suivi des concentrations en **azote**

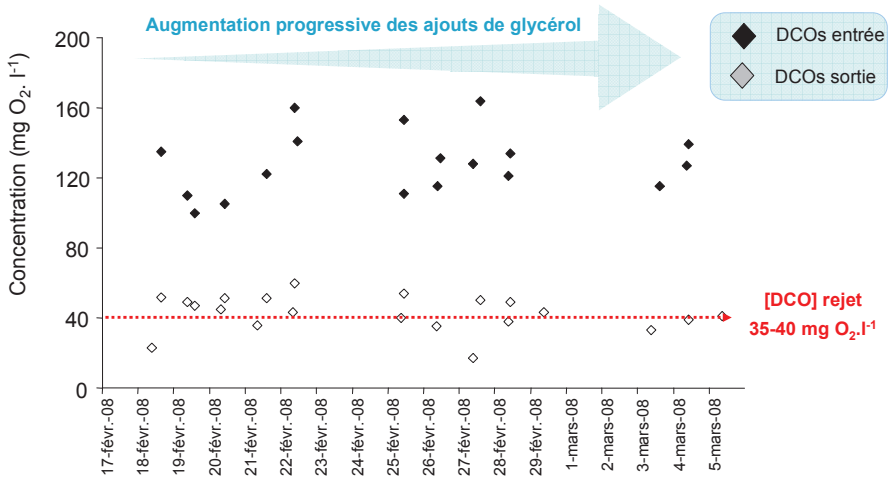



Période de montée en charge satisfaisante
Concentrations résiduelles en NOx faibles au bout de 15 jours



## Exemple du glycérol

- Suivi des concentrations en **carbone**

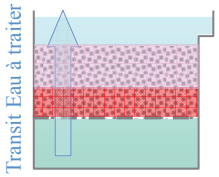



Concentrations résiduelles en DCO acceptables au bout de 15 jours

## Exemple du glycérol

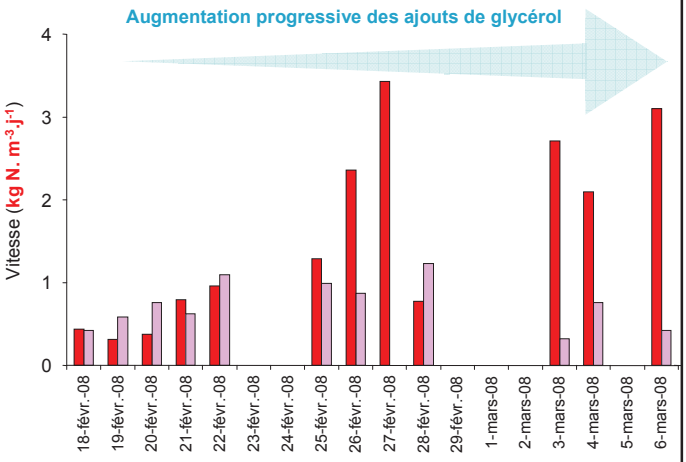
- Évaluation des vitesses de dénitrification au sein du massif filtrant

Zonage du massif




Bas du massif 0-1 m

Haut du massif 1-3 m



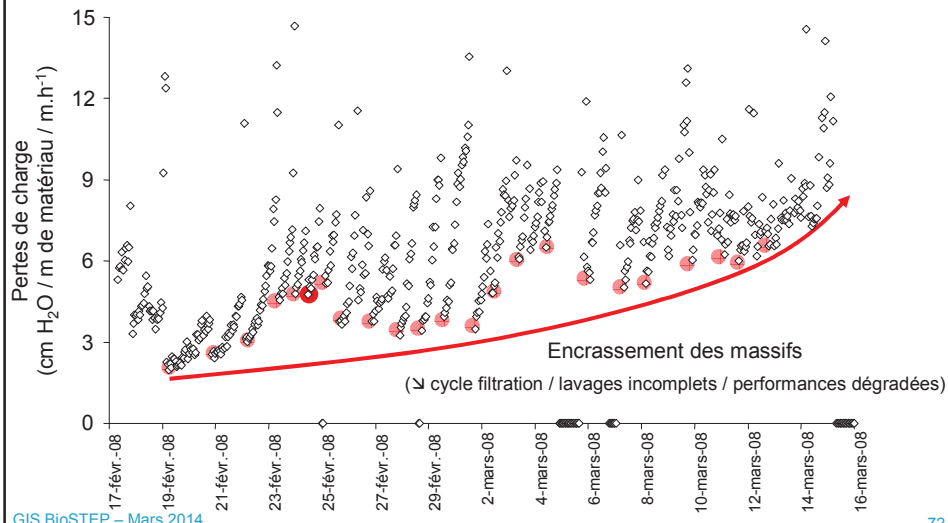

Augmentation forte des vitesses de dénitrification dans les couches basses du massif filtrant

Vitesse de **3-3,5 kg N.m$^3$.j$^{-1}$** (VH = 7-8 m.h$^{-1}$) – Performances similaires à celles obtenues avec le $CH_3OH$



## Exemple du glycérol

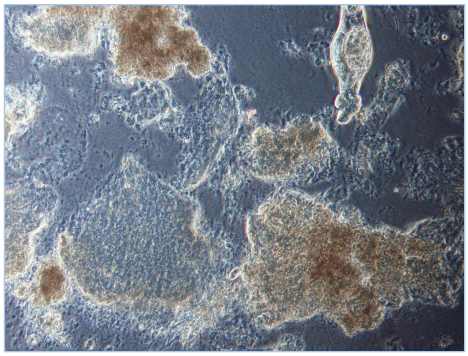
- Encrassement des massifs : suivi des pertes de charge



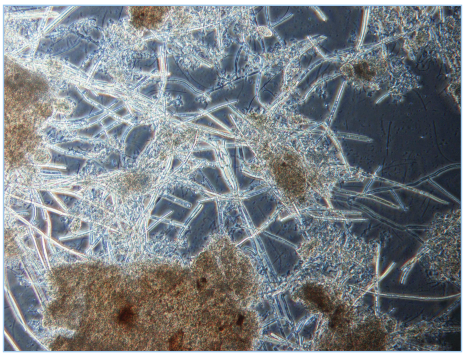
## Exemple du glycérol

- Encrassement des massifs : suivi de la qualité des eaux de lavage

*Eaux de lavage prélevées sur un biofiltre alimenté en méthanol (x 100)*



*Eaux de lavage prélevées sur un biofiltre alimenté en glycérol (x 100)*

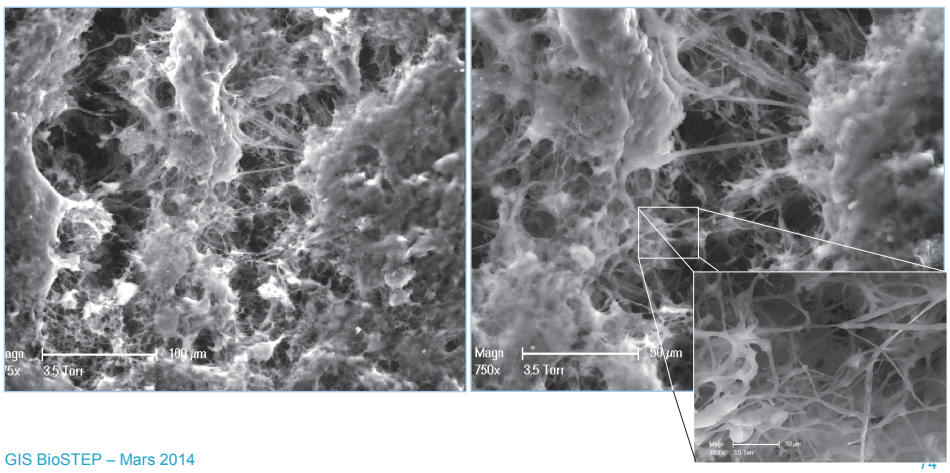


GIS BioSTEP – Mars 2014 73

## Exemple du glycérol

- Encrassement des massifs : suivi de la qualité des eaux de lavage

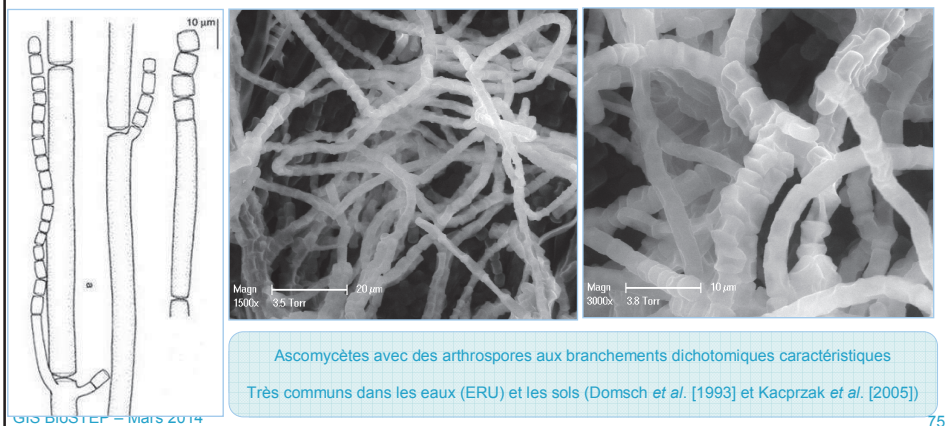
*Eaux de lavage prélevées sur un biofiltre alimenté en glycérol (Microscopie électronique à balayage environnemental)*




GIS BioSTEP – Mars 2014

## Exemple du glycérol

- Encrassement des massifs : identification de l'organisme colonisateur
  - Ensemencement sur des EL sur milieu de culture (milieu gélosé Agar + Chloramphénicol)
  - Identification morphologique : *Geotrichum candidum et Mucor hiemalis*




Ascomycètes avec des arthrospores aux branchements dichotomiques caractéristiques

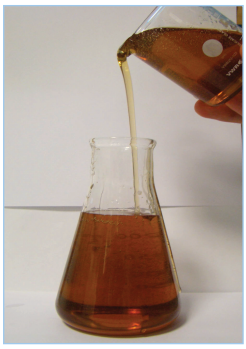
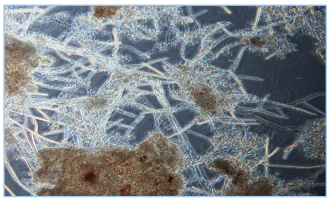
Très communs dans les eaux (ERU) et les sols (Domsch *et al.* [1993] et Kacprzak *et al.* [2005])

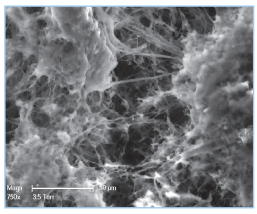


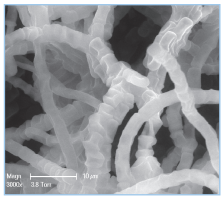
## Conclusions

- Performances épuratoires globalement satisfaisantes
- Encrassement des massifs par des champignons
  - Problèmes d'exploitation rédhibitoires
  - Colonisation inéluctable
    - Ubiquité de ces organismes (présence dans les ERU)
    - Inhibition du développement fongique pas réalisable
      - Action fongicide spécifique
      - Action fongicide = action bactéricide
      - Pas de rôle inhibiteur du méthanol
        - » Essais en laboratoire : mise en culture des champignons sur milieu contenant du glycérol en excès et des concentrations croissantes en méthanol (0 à 18 g $O_2.l^{-1}$) ⇒ développement fongique sur tous les milieux
        - » Essais industriels : alimentation de la file expérimentale avec un mélange glycérol / méthanol (*v/v* : 50/50) ⇒ développement fongique dans les massifs filtrants

## Merci pour votre attention







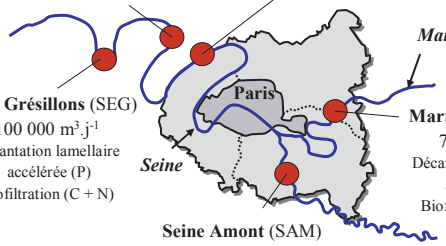
## Post-DN : CVa en azote (1/4)

Unités de dénitrification SAV

Unités de dénitrification SEC

**Seine Aval** (SAV)
1 700 000 m³.j⁻¹
Décantation simple
Boues activées (C) Biofiltration (N)

**Seine Centre** (SEC)
240 000 m³.j⁻¹
Décantation lamellaire accélérée (P)
Biofiltration (C + N)




**Seine Grésillons** (SEG)
100 000 m³.j⁻¹
Décantation lamellaire accélérée (P)
Biofiltration (C + N)

**Marne Aval** (MAV)
75 000 m³.j⁻¹
Décantation lamellaire accélérée (P)
Biofiltration (C + N)

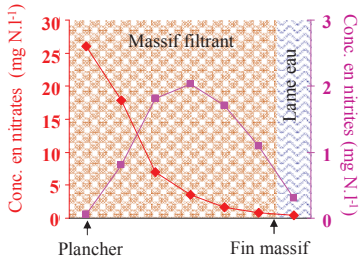
**Seine Amont** (SAM)
600 000 m³.j⁻¹
Décantation simple
Boues activées (C / N / P)

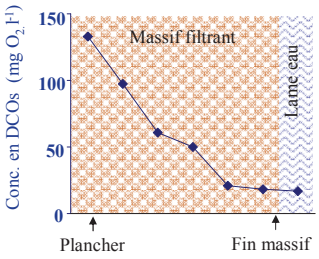
10 km

*EIN, 2011*

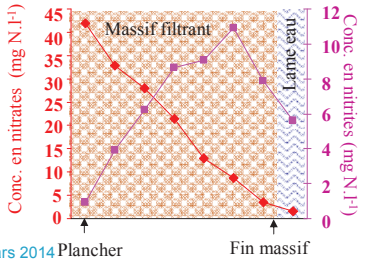
## Post-DN : CVa en azote (2/4)

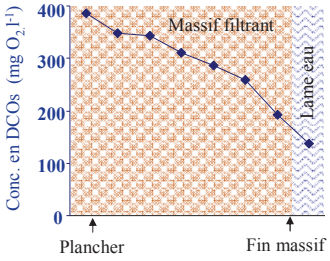
Conditions de **faible charge** (CVa = 1,5 kg $N\text{-}NO_3^-.m^{-3}.j^{-1}$ / $V_H$ = 7 $m.h^{-1}$ [Seine Centre])



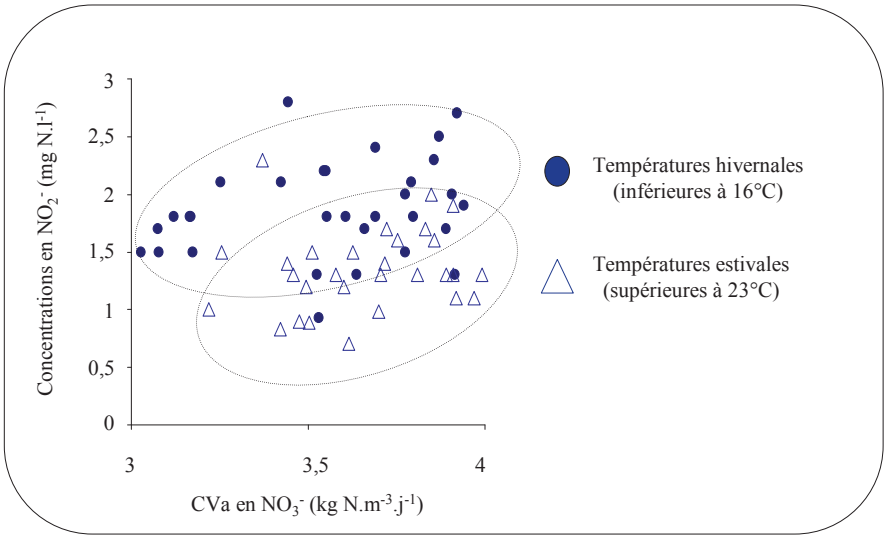

Conditions de **forte charge** (CVa = 3,7 kg $N\text{-}NO_3^-.m^{-3}.j^{-1}$ / $V_H$ = 11 $m.h^{-1}$ [Seine Aval])




GIS BioSTEP – Mars 2014 79

## Post-DN : CVa en azote (3/4)




GIS BioSTEP – Mars 2014 80

SIAAP
Service public de l'assainissement francilien

## Post-DN : CVa en azote (4/4)

LES AUTRES THÈMES
NITRITES

**Conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification des eaux usées**

***1. Importance de la charge azotée appliquée***

V. Rocher, C. Pelloni, A. Gonzalez et C. Briand
SIAAP - Direction du Développement et de la Prospective
S. Aubin, SIAAP - Usine Seine Centre

ABSTRACT
Conditions of appearance of nitrites during the denitrification of waste water
1. Importance of the applied nitrogenous load

This paper aims to provide information about the conditions for the occurrence of nitrites upon the wastewater downstream denitrification through bioflotation. More specifically, it addresses the issue of nitrogen load handling. The study has shown that nitrogen loading is a key factor to be taken into account to prevent the occurrence of residual nitrites. An excessive nitrogen loading will inevitably bring about the emergence of residual nitrites in the treated water, even though the operating conditions are optimized (optimized CN and BN). In the light of the outcomes, it appears that the maximum load beyond which a residual nitrite level is likely to be hardly kept under 2 mg $NO^{-}$ ranges from 2.5 to 2.8 kg $N\text{-}NO_2^-$ $m^{-3}$ $d^{-1}$. More precisely assuming that upper loading limit is an inelastic tool, since the occurrence of nitrites additionally depends on each factor as the water temperature.

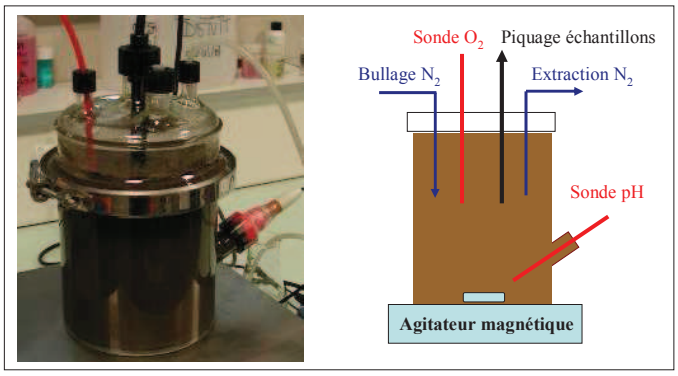
Cet article vise à apporter des informations sur les conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification aval des eaux usées par bioflotation. Plus précisément, il aborde la question de la gestion des charges appliquées en azote. Notre étude a montré que la charge appliquée en azote constituait un facteur de à prendre en compte pour éviter la présence de nitrites résiduels. L'application de charge azotée trop importante provoquera inévitablement l'apparition de nitrites résiduels dans les eaux traitées, et cela même dans des conditions de fonctionnement optimisées (C/N, P/N optimisés). Au regard des résultats obtenus, il semble que la charge limite au-dessus de laquelle il semble très difficile de maintenir un résiduel de nitrites inférieur à 1 mg $N\text{-}NO_2^-$ se situe entre 2,5 et 2,8 kg $N\text{-}NO_2^-$ $m^{-3}$ $d^{-1}$. La détermination plus précise de cette charge limite est délicate dans la mesure où l'apparition de nitrites est aussi dépendante d'autres facteurs tels que la température de l'eau.

L'article introductif de ce dossier (Rocher et al., 2011a) a souligné le caractère sensible de la problématique « nitrites » ; l'accroissement des volumes d'eaux usées post-dénitrifiées à l'échelle du bassin-versant parisien aquat conduit à une augmentation significative des concentrations en nitrites en Seine. Le contrôle de l'apparition des nitrites au cours de l'étape de post-dénitrification des eaux usées est donc devenu un enjeu environnemental majeur.
Ainsi, la Direction du Développement et de la Prospective du SIAAP a mené de nombreuses expérimentations sur les ouvrages de dénitrification de ses usines pour cerner l'influence de la charge appliquée, du dosage de substrat carboné et des apports en phosphore sur la production de nitrites. Cette synthèse est consacrée à l'étude de l'influence de la charge appliquée en azote sur l'apparition de nitrites. Il s'agit d'apporter aux exploitants des usines des informations précises qui leur permettent de piloter l'alimentation en effluent de leurs ouvrages dénitrifiants en assurant la maîtrise d'une concentration en nitrites nulle ou très faible.
Cet article est scindé en deux parties respectivement consacrées à la description

GIS BioSTEP – Mars 2014 81

SIAAP
Service public de l'assainissement francilien

## Post-DN : Nature du carbone (1/4)




*EIN, 2011*

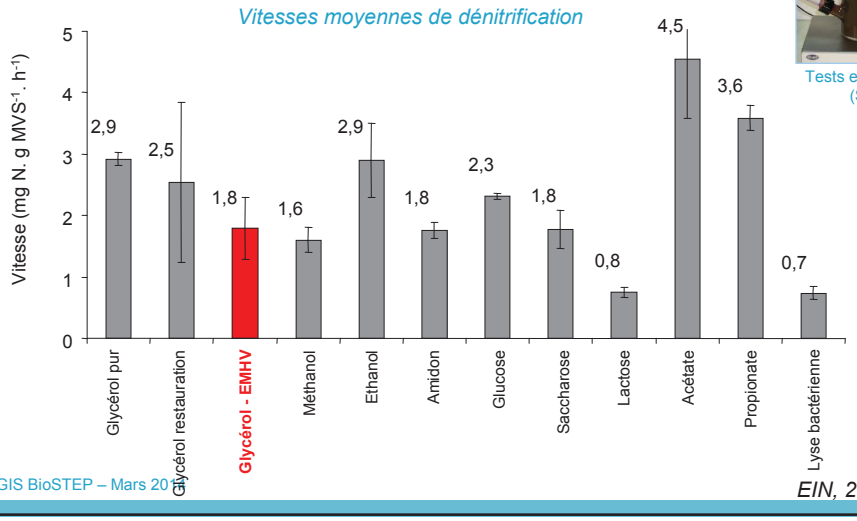
GIS BioSTEP – Mars 2014 82

## Post-DN : Nature du carbone (2/4)

- Inter-comparaison des cinétiques de dénitrification

Tests en réacteurs (SBR)

*Vitesses moyennes de dénitrification*



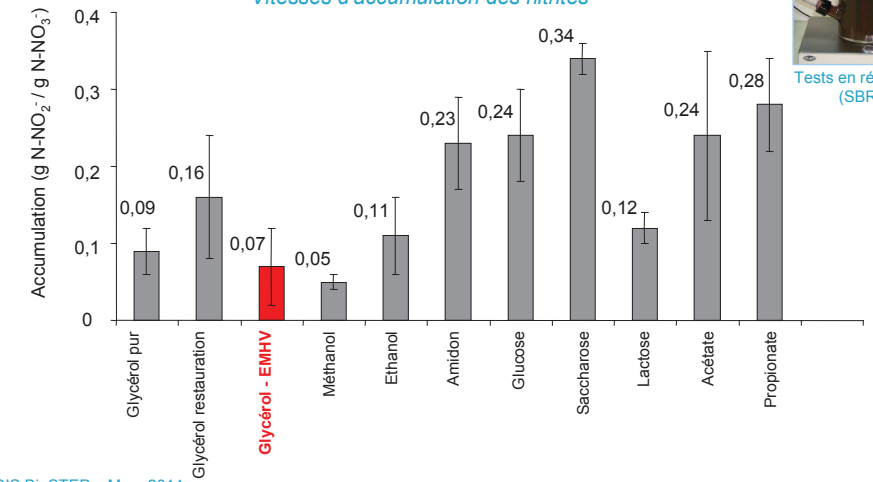



## Post-DN : Nature du carbone (3/4)

- Inter-comparaison des cinétiques de dénitrification

Tests en réacteurs (SBR)

*Vitesses d'accumulation des nitrites*



## Post-DN : Nature du carbone (4/4)

LES AUTRES THÈMES

NITRITES

**Conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification des eaux usées par biofiltration**
***2. Importance des apports en substrat carboné***

ABSTRACT
*Conditions of appearance of nitrites during the denitrification of waste water by biofiltration*
*2. Importance of the contributions in carbon substratum*

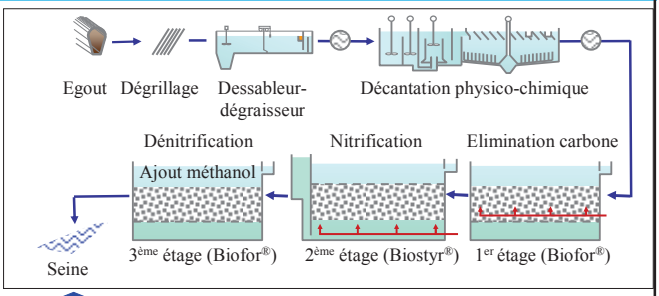
V. Rocher, C. Paffoni, A. Gonçalves et S. Barbotteau, SIAAP - Direction du Développement et de la Prospective
S. Azimi, SIAAP - Seine Centre
A. Pauss, Université Technologique de Compiègne

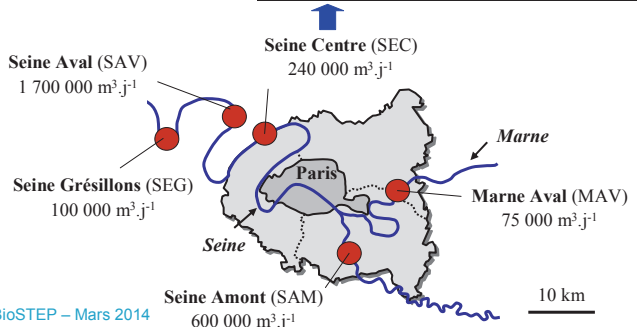
Cet article vise à apporter des informations sur les conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification aval des eaux usées par biofiltration. Plus précisément, il aborde la question de la gestion des apports en substrat carboné. Nos résultats ont montré que les nitrites apparaissent lorsque l'on applique un ratio C/N compris entre 2 et 3, avec un pic de concentration observé à 2,4-2,5. Dans cette situation de sous-dosage en méthanol, l'apport de carbone est suffisant pour être à l'origine d'une production de nitrites dans les couches basses des massifs filtrants mais insuffisant pour permettre leur élimination totale dans la partie supérieure des massifs. Le ratio optimal qui permet l'élimination totale des nitrates sans apparition de nitrites et sans augmentation significative de la DBO résiduelle est de l'ordre de 3-3,2. Cette étude a également souligné la nécessité d'injecter le méthanol de manière à maintenir un rapport C/N constant au sein du biofiltre ; la fluctuation de ce ratio pouvant être à l'origine de l'apparition des nitrites. Or, le mode de régulation du méthanol sous consigne, régulièrement employé sur les installations, ne permet pas de stabiliser le ratio C/N lorsque la concentration en nitrates de l'effluent accepté sur les ouvrages varie significativement.

En introduction de ce dossier (Rocher et al., 2011a), le caractère sensible de la problématique « nitrites » a été souligné. L'accroissement des volumes d'eaux usées post-biofiltrées à l'échelle du bassin versant parisien a conduit à une augmentation significative des concentrations en nitrites en Seine et le contrôle de l'apparition de cette espèce au cours de l'étape de post-dénitrification des eaux usées est devenu un enjeu environnemental majeur.
Ainsi, la Direction du Développement et de la Prospective du SIAAP a mené de nombreuses expérimentations sur les ouvrages de dénitrification de ses usines pour ces-



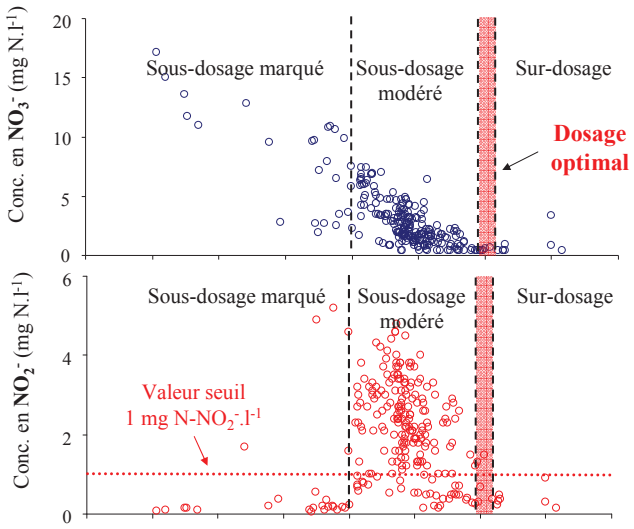
## Post-DN : dosage en carbone (1/5)




EIN, 2011

## Post-DN : dosage en carbone (2/5)



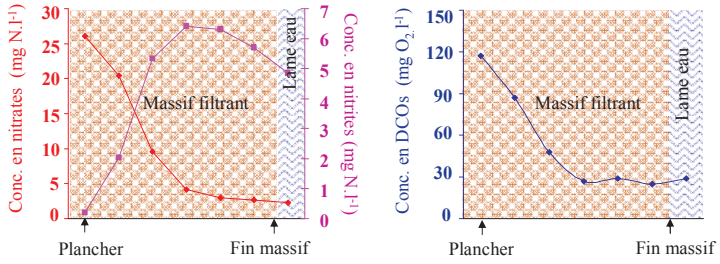

Rapport DBO injectée / N-NOx appliqué

*EIN, 2011*

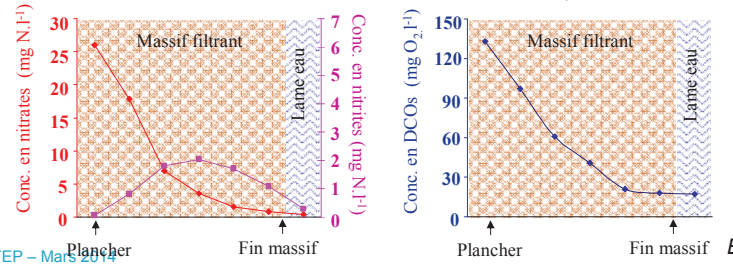


## Post-DN : dosage en carbone (3/5)

Situation de sous-dosage : **C/N = 2,4** (CVa = 1,5 kg N-$NO_3^-$.m$^{-3}$.j$^{-1}$)

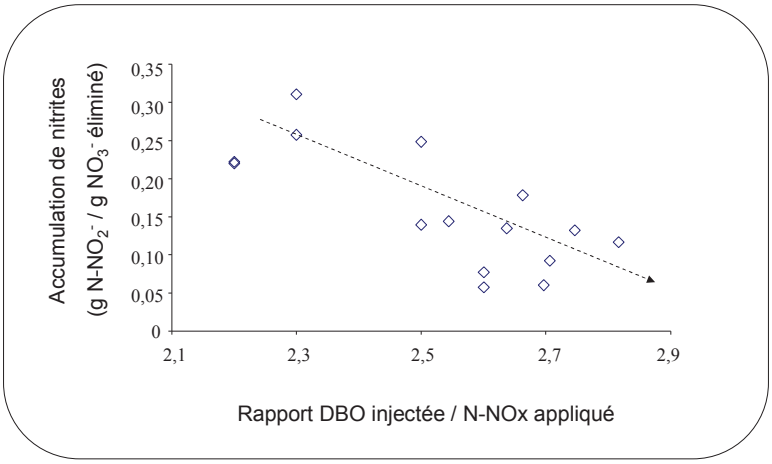



Dosage optimal : **C/N = 2,9** (CVa = 1,4 kg N-$NO_3^-$.m$^{-3}$.j$^{-1}$)




*EIN, 2011*

## Post-DN : dosage en carbone (4/5)




*EIN, 2011*

GIS BioSTEP – Mars 2014 89

## Post-DN : dosage en carbone (5/5)

LES AUTRES THÈMES

NITRITES

**Conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification des eaux usées par biofiltration**

***2. Importance des apports en substrat carboné***

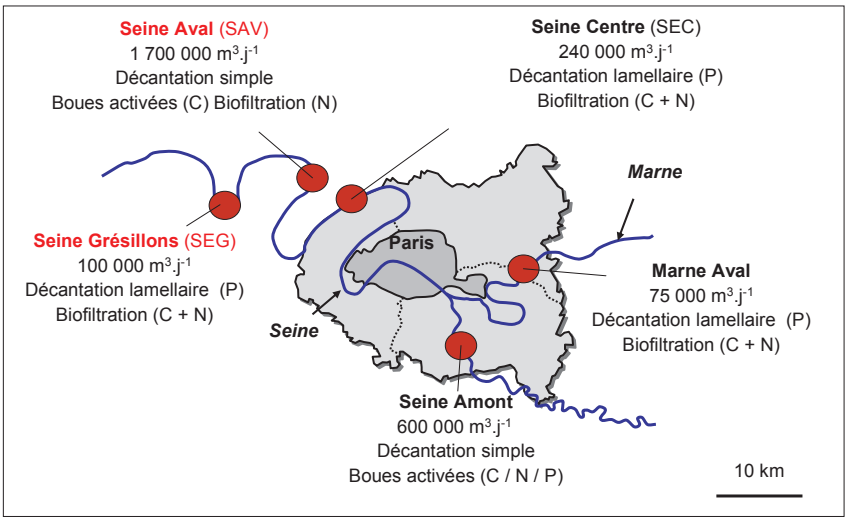
ABSTRACT

*Conditions of appearance of nitrites during the denitrification of waste water by biofiltration*
*2. Importance of the conditions in carbon substratum*

Cet article vise à apporter des informations sur les conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification avid des eaux usées par biofiltration. Plus précisément, il aborde la question de la gestion des apports en substrat carboné. Nos résultats ont montré que les nitrites apparaissent lorsque l'on applique un ratio C/N compris entre 2 et 3, avec un pic de concentration observé à 2,4-2,5. Dans cette situation de sous-dosage en méthanol, l'apport de carbone est suffisant pour être à l'origine d'une production de nitrites dans les couches basses des massifs filtrants mais insuffisant pour permettre leur élimination totale dans la partie supérieure des massifs. Le ratio optimal qui permet l'élimination totale des nitrates sans apparition de nitrites et sans augmentation significative de la DBO résiduelle est de l'ordre de 3-3,2. Cette étude a également souligné la nécessité d'injecter le méthanol de manière à maintenir un rapport C/N constant au sein du biofiltre ; la fluctuation de ce ratio pouvant être à l'origine de l'apparition des nitrites. Or, le mode de régulation du méthanol sous consigne, régulièrement employé sur les installations, ne permet pas de stabiliser le ratio C/N lorsque la concentration en nitrates de l'effluent accepté sur les ouvrages varie significativement.

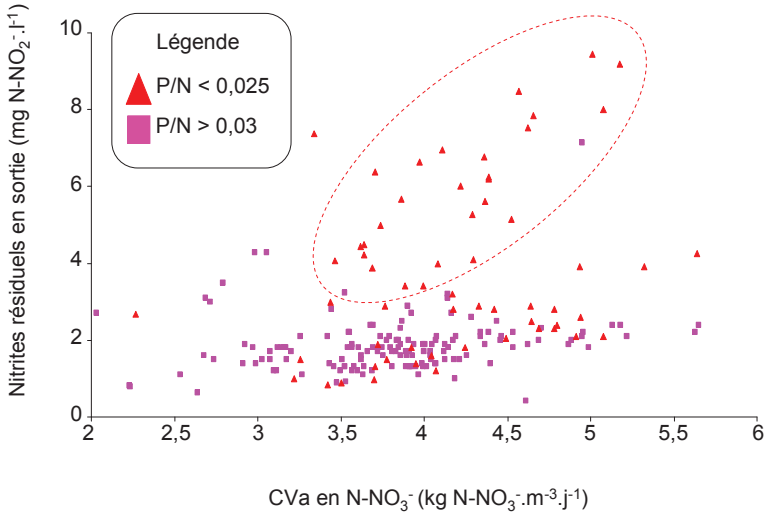
GIS BioSTEP – Mars 2014 90

## Post-DN : apports en P (1/4)



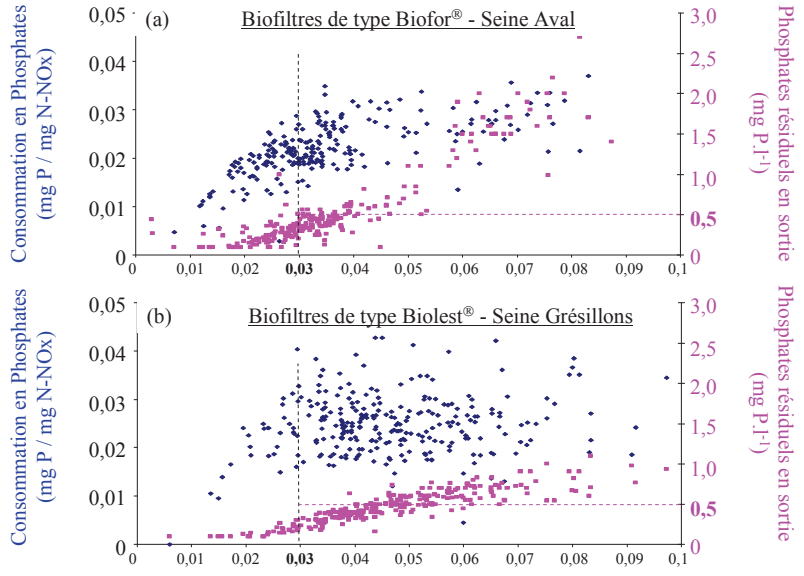

GIS BioSTEP – Mars 2014 91

## Post-DN : apports en P (2/4)




GIS BioSTEP – Mars 2014 92

## Post-DN : apports en P (3/4)




Rapport $P\text{-}PO_4^{3-}$ / N-NOx en entrée d'ouvrage



## Post-DN : apports en P (4/4)

LES AUTRES THÈMES

NITRITES

**Conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification des eaux usées par biofiltration *3. Importance des apports en phosphore***

V. Rocher, P. Madru, S. Dubellohrel, C. Pallier et A. Gonzalves, SIAAP – Direction de Développement et de la Prospective
S. Azimi, SIAAP – Usine Seine Centre

Cet article vise à apporter des informations sur les conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification aval des eaux usées par biofiltration. Plus précisément, il aborde la question de l'influence des apports en phosphates sur l'apparition de nitrites dans les eaux distillées. Nos résultats ont montré qu'au cours de la dénitrification, la biomasse consomme en moyenne 0,02-0,03 mg P. mg N-NOx éliminé. Ainsi, le maintien d'un ratio $P\text{-}PO_4^{3-}$/N-NOx de 0,03 dans les eaux nitrifiées alimentant l'étape de dénitrification permet d'assurer une dénitrification efficace tout en limitant les concentrations en phosphates résiduels dans les eaux dénitrifiées. L'étude plus fine de la consommation en phosphates a montré que la biomasse peut se comporter comme une véritable « éponge à phosphates » en relarguant de manière très efficace les phosphates lorsqu'ils sont en excès dans le milieu réactionnel ; les consommations peuvent atteindre 0,05-0,06 mg P. mg N-NOx éliminé dans ces situations d'excès. A l'inverse, les expérimentations en pilote de laboratoire ont montré que la biomasse est capable d'éliminer une quantité d'azote importante en l'absence de phosphates dissous. La biomasse épuratrices est donc peu réactive aux variations de phosphates dans le milieu réactionnel. Une instabilité des apports en phosphates, induisant des périodes de carence temporaire en phosphates, se provoquera pas nécessairement de dysfonctionnement de la dénitrification et d'apparition de nitrites dans le rejet. Cependant, la carence en phosphates peut constituer un facteur aggravant si les outils de dénitrification reposent des charges appliquées en azote très importantes. Dans cette situation, le néanmoins des cinétiques de dénitrification induit par la limitation des apports en phosphore accentue le phénomène d'apparition des nitrites provoqué par l'application de charges excessives en azote.

ABSTRACT
*Conditions of appearance of nitrites during the denitrification of waste water by biofiltration 3. Importance of the contributions in phosphor*

This paper aims to provide information about the conditions for the occurrence of nitrites upon the wastewater downstream denitrification through biofiltration. More specifically, it addresses the issue of the effects of phosphate inputs on the occurrence of nitrites in denitrified water. Our results have demonstrated that the biomass consumes on average 0.02-0.03 mg P. per mg removed N-NOx. Thus, keeping a $P\text{-}PO_4^{3-}$/N-NOx ratio of 0.03 in the nitrified water as supplied for the denitrification step makes it possible to achieve an efficient denitrification while limiting the concentrations of residual phosphates in denitrified water. A closer look at the phosphate consumptions has shown that the

## Modélisation de la biofiltration (1/3)

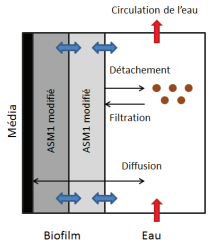
- Partenariat Université Laval / SIAAP - Programme Mocopée
- Objectif : construire des modèles de prédiction du fonctionnement des biofiltres (C / nitrification / dénitrification sur méthanol)

**Modèle**
- Modèles pré-existants
- Simulink

**Calibration**
- Court jeu de données
- Intra-massif

**Validation**
- Long jeu de données
- Entrée-sortie du procédé

Adaptation modèles mathématiques fondamentaux au biofiltre
(Hydraulique, Transfert biofilm, Conversion biologique, Filtration, Lavage, perte de charge)




GIS BioSTEP – Mars 2014 95

## Modélisation de la biofiltration (1/3)

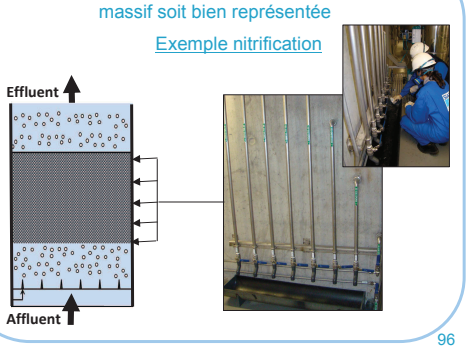
- Partenariat Université Laval / SIAAP - Programme Mocopée
- Objectif : construire des modèles de prédiction du fonctionnement des biofiltres (C / nitrification / dénitrification sur méthanol)

**Modèle**
- Modèles pré-existants
- Simulink

**Calibration**
- Court jeu de données
- Intra-massif

**Validation**
- Long jeu de données
- Entrée-sortie du procédé

Calibration du modèle pour que la dynamique intra-massif soit bien représentée
Exemple nitrification




GIS BioSTEP – Mars 2014 96

## Modélisation de la biofiltration (1/3)

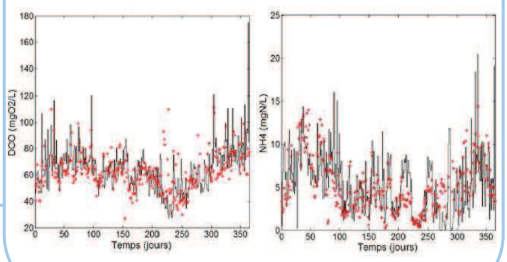
- Partenariat Université Laval / SIAAP - Programme Mocopée
- Objectif : construire des modèles de prédiction du fonctionnement des biofiltres (C / nitrification / dénitrification sur méthanol)

**Modèle**
- Modèles pré-existants
- Simulink

**Calibration**
- Court jeu de données
- Intra-massif

**Validation**
- Long jeu de données
- Entrée-sortie du procédé

Validation du modèle sur des longues périodes
Performances ET pertes de charge




Exemple de la nitrification de SAV (2009)

GIS BioSTEP – Mars 2014 97

## Modélisation de la biofiltration (2/3)

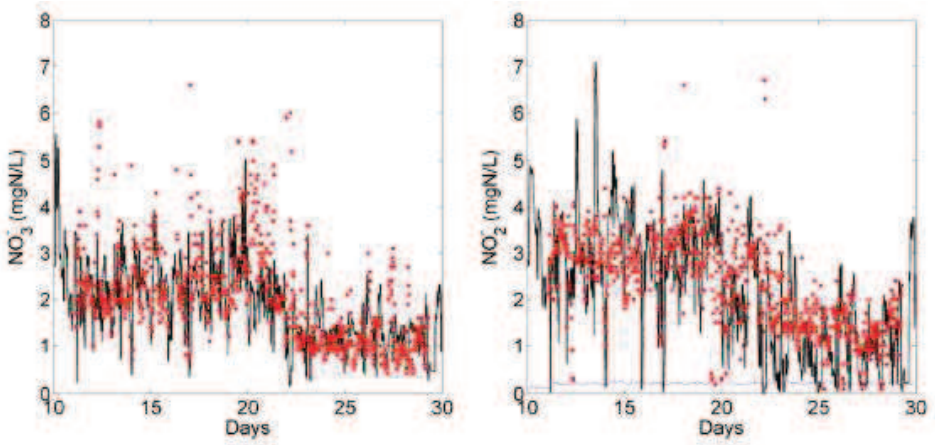



Figure 8.4 : Simulation results at the effluent of one treatment lane for nitrate and nitrite during the methanol to $NO_x$ ratio experiments. Red dots are measurements; the line is the model prediction

GIS BioSTEP – Mars 2014 98

## Modélisation de la biofiltration (3/3)

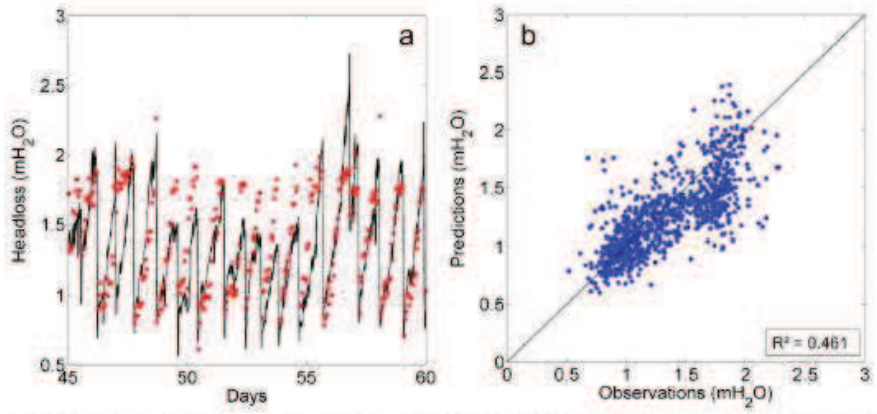



Figure 8.7 : Simulation results on headloss during the methanol to $NO_X$ ratio experiments. a – Representative time series sample; b – Parity plot for the whole dataset

GIS BioSTEP – Mars 2014 99