



**ESSAI DE TRANSFERT DES METHODES DE TRAITEMENT DE  
L'AMMONIUM POUR EAU POTABLE  
VERS LA SALMONICULTURE**



*Pilote de traitement de l'ammonium*

**Programme PEP aquacole 2007-2009**

Rapport technique

Action n° 2006 -04

Nom court de l'action : Essai de traitement du  $\text{NH}_4^+$  en salmoniculture

*Document finalisé le 10 janvier 2010*

Chef de projet : Jean-Christophe CORMORECHE  
ADAPRA, Agrapole, 23 rue Jean Baldassini, 69364 LYON Cedex 07

Partenaire associé :  
Thierry LISSOLO – UNIVERSITE DE SAVOIE

Financeurs :

**Rhône-Alpes** Région



## SOMMAIRE

Résumé	p 4
Rappel du contexte	p 7
Traitement de l'ammonium dans les eaux potables	p 8
L'ammonium en salmoniculture	p 10
Traitement de l'eau en salmoniculture	p 11
Essai de transfert de technologie	p 12
Choix du site	p 12
Choix des techniques de traitement	p 12
Traitement biologique sur support « gravier »	p 13
Conception	p 13
Coût de l'installation	p 14
Résultats	p 14
Traitement biologique sur support « géotextile »	p 21
Conception	p 21
Résultats	p 22
Traitement biologique sur support « géotextile »	p 23
Conception	p 23
Résultats	p 23
Azote : la part des anges ?	p 25
Conclusion	p 26
Remerciements	p 27

Bibliographie p 28

Sitographie p 28

ANNEXES p 29

## RESUME

**Titre de l'action** : Essai de transfert des méthodes de traitement de l'ammonium pour eau potable vers la salmoniculture

**Période de réalisation** : 2007-2009 (3 ans)

**Chef de projet** :

Jean-Christophe CORMORECHE

(ADAPRA - Agrapole, 23 rue Jean Baldassini, 69364 LYON Cedex 07)

**Partenaire(s) associé(s)** :

Thierry LISSOLO – Université de Savoie

**Contexte et objectif de l'étude** :

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) a fixé comme objectif aux Etats membres de l'Union Européenne l'attente du bon état écologique des masses d'eau d'ici 2015. L'Aquaculture, en tant qu'activité utilisatrice de l'eau, est directement concernée notamment par le volet préservation de la qualité de la ressource.

Actuellement, la profession maîtrise le captage des matières en suspension, partie visible du rejet, mais la fraction dissoute ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ , ...) est encore difficile à traiter. Dans un souci d'amélioration des pratiques d'élevage et de minimisation des impacts sur le milieu naturel, les salmoniculteurs ont souhaité étudier diverses solutions permettant de réduire les rejets.

Le problème soulevé ici peut-être envisagé sous deux angles : la réduction de la source de pollution ou le traitement de la pollution.

La production de  $\text{NH}_4^+$  est un phénomène naturel lié au catabolisme des protéines. L'amine des acides aminés est excrétée sous forme d'ammoniaque. Les salmonidés, par nature carnassiers, sont nourris avec des aliments complets à base de farines et d'huiles de poissons qui produisent, après digestion, des déchets et notamment de l'azote ammoniacal. En rendant les aliments plus digestes ou moins riches en protéines, les fabricants contribuent à réduire ce rejet. Cette piste largement étudiée par les fournisseurs d'aliment ne fait ici l'objet que d'un bref rappel.

L'ammoniaque n'est pas un déchet que pour l'aquaculture, les unités de traitement des eaux usées domestiques ou industrielles et de certaines eaux de consommation sont confrontées à ce problème. Les deux grandes différences entre ces structures et les exploitations piscicoles se situent au niveau de la concentration de l'effluent et du volume d'eau à traiter (soit approximativement : 180 mg/L dans 30L/s pour des eaux usées contre 2 mg/L maximum dans 400 L/s). Cependant, la méthode de potabilisation des eaux de consommation pourrait présenter un grand intérêt pour l'aquaculture.

L'objectif de cette étude était de tester différentes techniques de traitement pouvant répondre aux attentes des pisciculteurs en terme d'efficacité et faisabilité économique.

### **Résultats de l'étude :**

Les études sur le traitement du  $\text{NH}_4^+$  a été menée en 3 phases.

Dans un premier temps, nous avons construit un bassin de traitement de 6 m<sup>3</sup> à la sortie d'une salmoniculture. Divisé en deux compartiments et remplis de « supports bactériens », il a permis de traiter 10l/s avec un temps de séjour de 10 minutes. En 2007, nous avons ainsi pu tester l'efficacité du gravier (4-12mm) comme support bactérien. Avec un rendement variant entre 30 et 60 % d'abattement, il s'agit d'un premier résultat encourageant. Le dispositif s'est cependant montré défaillant dans la mesure où il s'est colmaté à plusieurs reprises. Ce constat ouvre deux pistes celle du prétraitement mécanique et soit celle d'un nouveau système se colmatant moins facilement. Compte tenu de nos objectifs, nous avons choisi de tester un autre dispositif de traitement biologique.

Lors de l'été 2008, nous avons mis en place des caissons préfabriqués en aggloméré contenant des cadres amovibles en lieu et place du gravier. Les cadres étaient recouverts d'une toile géotextile devant servir de support bactérien. Conformément à nos attentes, ce support ne s'est pas colmaté. Cependant, il a rapidement été colonisé par des algues filamenteuses qui ont trouvé tous les éléments nécessaires à leur développement dans ces caissons. La concurrence entre les algues filamenteuses et les bactéries nitrifiantes a engendré une baisse très significative du rendement : 18 à 35%. Il nous fallait donc trouver un meilleur compromis entre circulation de l'eau et surface à coloniser.

En 2009, nous avons donc testé un troisième système. Nous avons fait circuler l'eau dans des plaques de polycarbonates. Avec des rendements entre 4 et 65 %, cette technique offre des résultats très variables et sa mise en place s'avère compliquée.

L'usage du gravier comme support de filtration semble être la meilleure solution mais il faut prévoir une préfiltration de l'eau pour retenir les matières en suspension et éviter le colmatage. Lors des tests, les différents systèmes ont produit des nitrites. Ces substances, néfastes pour les organismes aquatiques lorsqu'elles sont trop abondantes et donc soumises à normes de rejet, doivent appeler notre vigilance. L'ajout d'un aérateur entre le filtre mécanique et le filtre biologique devrait permettre de fournir suffisamment d'oxygène pour assurer la bonne marche du cycle de l'azote.

### **Perspectives à la fin de l'étude :**

Les résultats de cette expérimentation montre que le traitement de l'ammonium est possible dans de bonnes conditions avec des matériaux simples (gravier). Les bactéries nitrifiantes se sont installées seules et ont contribué à l'épuration du rejet piscicole.

Les techniques employées pourraient être transférées à plus grande échelle sur des débits plus importants mais pas sur l'effluent complet des piscicultures. Le traitement sur lit de gravier conserve un intérêt pour les eaux recyclées et plus sûrement pour les eaux renvoyées au pied des barrages afin de maintenir une eau de bonne qualité sur la partie court-circuitée.

L'étude nous a permis d'entrevoir des processus intéressants du côté du traitement anaérobie de l'azote. Les bactéries « anammox » contribuent, en effet, pour une part non négligeable à la dégradation de l'azote organique en absence d'oxygène mais ce procédé doit fait l'objet de recherche plus approfondir pour envisager une application en pisciculture.

# **ESSAI DE TRANSFERT DES METHODES DE TRAITEMENT DE L'AMMONIUM POUR EAU POTABLE VERS LA SALMONICULTURE**

## **RAPPEL DU CONTEXTE**

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) de 2000 a fixé comme objectif aux Etats membres de l'Union Européenne l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau d'ici 2015. L'aquaculture en tant qu'activité utilisatrice de l'eau est directement concernée, notamment par le volet préservation de la qualité de la ressource aquatique.

Actuellement, la profession salmonicole maîtrise le captage des matières en suspension, partie visible du rejet, mais la fraction dissoute ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ , ...) est encore difficile à traiter. Dans un souci d'amélioration des pratiques d'élevage et de minimisation des impacts sur le milieu naturel, les salmoniculteurs souhaitent étudier diverses solutions permettant de réduire les rejets de la fraction dissoute. Le problème soulevé ici peut être envisagé sous deux angles : la réduction de la source de pollution ou le traitement de la pollution.

La production de  $\text{NH}_4^+$  est un phénomène naturel lié au catabolisme des protéines. L'amine des acides aminés est excrétée sous forme d'ammoniaque. Les salmonidés, par nature carnassiers, sont nourris avec des aliments complets à base de farines et d'huiles de poissons qui produisent, après digestion, des déchets et notamment de l'azote ammoniacal (Guillaume, J., 1999).

En rendant les aliments plus digestes, grâce à l'extrusion, ou moins riches en protéines, par substitution lipidique, les fabricants contribuent à réduire ce rejet. Cette piste, largement étudiée par les instituts de recherche, ne fait ici que l'objet d'un bref rappel.

L'azote ammoniacal n'est pas un déchet que pour l'aquaculture, les unités de traitement des eaux usées domestiques ou industrielles et de certaines eaux de consommation sont également confrontées à ce problème. Les deux grandes différences entre ces unités et les exploitations piscicoles se situent au niveau de la concentration de l'effluent et du volume d'eau à traiter. Soit approximativement : 180 mg/L dans 30L/s pour des eaux usées contre 2 mg/L maximum dans 400 L/s pour les exploitations aquacoles.

Cependant la méthode de potabilisation des eaux de consommation pourrait présenter un grand intérêt pour l'aquaculture. L'Université de Savoie a travaillé dans ce domaine.

## **TRAITEMENT DE L'AMMONIUM DANS LES EAUX POTABLES**

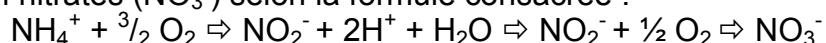
La présence d'ammonium dans les eaux est un signe de pollution. Cette forme réduite de l'azote provient de la dégradation de la matière organique et peut donc être présente dans le milieu naturel à des concentrations très diverses (0,1 à + de 10mg/l).

Bien que non nocif pour l'homme, l'ammonium doit malgré tout être éliminé des eaux de consommation.

Une Directive européenne 1998 (98/83/CE) détermine la valeur limite de présence du  $\text{NH}_4^+$  dans les eaux de consommation : 0,5 mg/l. Dans le décret 2001-1220, l'Etat français a introduit comme valeur de référence de qualité une concentration de 0,1mg/l.

Le traitement de l'ammonium dans les eaux de consommation peut se faire de différentes manières :

- par oxydation chimique : ce procédé consiste à détruire l'ammonium en ajoutant du chlore au-delà du point critique. Cette technique est réservée aux eaux faiblement concentrées en ammonium ne nécessitant pas une grande quantité de chlore.
- par échange ionique : l'objectif est de fixer l'ion  $\text{NH}_4^+$  avec des ions  $\text{Na}^+$  sur un support (résine).
- par stripping : en élevant le pH et la  $T^\circ\text{C}$ , l'ion ammonium se transforme en molécule gazeuse d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) qui est éliminé par aération. Ce système de traitement pose d'importants problèmes d'installations et d'odeurs.
- par filtration biologique : il s'agit du schéma classique qui s'opère à l'état naturel dans les rivières par exemple. Les bactéries du milieu (Nitrosomonas et Nitrobacter) transforment l'ammonium en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) puis en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) selon la formule consacrée :



Cette réaction chimique est reprise par les industriels pour le traitement de l'ammonium au sein de « bioréacteurs ».

La solution que ces entreprises ont adoptée pour réduire le taux de  $\text{NH}_4^+$  est l'utilisation d'un filtre à sableensemencé par un biofilm bactérien oxydant l'ammoniaque en condition aérobie. Le fonctionnement de ces installations est très satisfaisant avec des temps de séjour de l'eau dans le filtre de l'ordre de 6 minutes. La concentration résiduelle en  $\text{NH}_4^+$  tombe en dessous de 0.05mg/l, celle en nitrites reste indétectable et celle en nitrates est souvent inférieure à la valeur attendue, en admettant une conversion stœchiométrique de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$ .

Historiquement, ce procédé de dé-ammonification a été mis au point par la société Degrémont. Elle est aujourd'hui communément utilisée par les producteurs d'eau de table, produite à partir de l'eau de la nappe phréatique locale. C'est en particulier le cas de la société « Nestlé Waters ». Cette entreprise produit chaque année en France 3 milliards de bouteilles d'eau (source, minérale naturelle, ...). Les habitants de la ville de Lyon consomment chaque jour

450 000m<sup>3</sup> d'eau du robinet. Les échelles sont définitivement différentes entre le traitement des eaux potables et de pisciculture mais nous y reviendrons plus loin dans le rapport.

## **L'AMMONIUM EN SALMONICULTURE**

La pollution azotée générée par les salmonicultures est liée à la distribution d'aliments riches en protéines. Les truites excrètent l'azote par les branchies principalement sous forme d'ammoniaque. Ce rejet dilué par l'eau transitant par la pisciculture, voire ensuite par l'eau de la rivière, se retrouve dans le milieu naturel et contribue à son enrichissement.

Pour maintenir l'équilibre, le législateur a imposé des normes de rejets en aval des salmonicultures. Ainsi, chaque exploitation aura, d'ici 2011, des normes à respecter conformément aux dispositions des arrêtés du 1<sup>er</sup> avril 2008 fixant les prescriptions générales applicables aux piscicultures soumises à déclaration et à autorisation.

Au niveau de l'ammonium, les pisciculteurs ne devront pas apporter plus de 0,5mg/l à 100m en aval de leur exploitation en moyenne sur 24 heures. Cette norme tient compte de la qualité initiale de l'eau par un différentiel amont/aval.

A la problématique « qualité de l'eau » vient s'ajouter celle de la quantité. A certaines périodes de l'année, lors des étiages, les pisciculteurs ont parfois recours au recyclage d'une partie du débit de leur élevage. Ainsi, ils font circuler une plus grande quantité d'eau dans leurs bassins et maintiennent ainsi leur cheptel pendant les périodes critiques. D'autres sont confrontés à des régimes hydrologiques de cours d'eau rendant difficile le maintien du débit réservé dans la rivière. Ces derniers ont la possibilité de renvoyer le débit réservé au pied du barrage.

Dans les deux cas, le problème de la qualité d'eau réutilisée ou renvoyée à la rivière se pose. Pour disposer d'une qualité d'eau satisfaisante ou pour respecter les normes de rejet, le traitement de cette eau est parfois nécessaire.

## **TRAITEMENT DE L'EAU EN SALMONICULTURE**

Les techniques qui existent actuellement pour le traitement de l'eau en sortie de pisciculture sont tournées vers la problématique des matières en suspension. Les matériels et dispositifs dont dispose la profession permettent de capter ces matières soit par décantation simple soit par filtration.

La première technique repose sur le principe d'une diminution de la vitesse d'écoulement permettant aux particules de tomber au fond d'un bassin. La seconde est liée à l'usage d'un filtre à tamis fixe ou rotatif qui retient les matières sur une toile. L'efficacité de ces systèmes de traitement varie de 30 à 70% selon la technique et la concentration du rejet mais dans les deux cas le traitement de la pollution dissoute est quasi inexistant.

Les salmoniculteurs danois travaillent depuis plusieurs années sur des systèmes de production en eau recirculée. La production et le traitement de l'eau sont inclus dans le même bassin mais dans des zones séparées. Une première zone permet de capter les matières en suspension par décantation et les rejets dissous sont ensuite traités par la voie biologique dans un lit fluidisé. L'eau est mise en circulation par un air lift qui permet de dégazer le dioxyde de carbone et d'oxygéner l'eau. La seconde zone contient les truites en grossissement. Cette technique de production a fait l'objet d'un essai de transfert en France dans le cadre de la thèse de Mlle Emmanuelle ROQUE d'ORBCASTEL (2008). Les résultats zootechniques sont très intéressants mais la partie « traitement de l'eau » s'est avérée moins performante notamment au niveau des matières en suspension. Le lit fluidisé a, quant à lui, donné de bons rendements. Ce système de traitement des rejets dissous est, certes efficace, mais il a aussi des contraintes techniques et économiques. L'aménagement d'un bassin bétonné disposant d'un réseau de diffusion d'air relié à un compresseur nécessite un gros investissement et des réglages fins en fonction du débit et de la charge du bassin de production. Cette technologie n'est donc pas généralisable.

## **ESSAI DE TRANSFERT DE TECHNOLOGIE**

Les informations présentées dans les chapitres précédents ont permis de replacer la problématique dans son contexte. En salmoniculture, nous évacuons des eaux faiblement chargées en ammonium (<2mg/l) dans des débits importants (entre 100 et 1000 l/s). Ces contraintes font que les systèmes de traitement employés sur les eaux usées ou sur les eaux de consommation ne sont pas transférables en l'état. De plus, il faut tenir compte de la dimension économique des entreprises qui ne peuvent pas investir des sommes colossales pour traiter leur rejet.

En conséquent, il paraissait illusoire de traiter l'ensemble du débit d'une pisciculture dans le cadre de ce projet. Nous avons donc souhaiter mettre en place un pilote de traitement de l'ammonium sur une partie du débit avec des techniques « rustiques » et peu onéreux à l'installation ainsi qu'à l'entretien.

## **CHOIX DU SITE**

Notre choix a été guidé par la situation géographique et la disponibilité en terrain pour installer le dispositif.

Pour des raisons de confidentialité liées au fonctionnement de la pisciculture retenue, nous avons décidé de ne pas communiquer le nom de cet établissement.

## **CHOIX DES TECHNIQUES DE TRAITEMENT**

Les travaux de Thierry LISSOLO sur le traitement de l'ammonium dans les eaux de consommation nous ont permis de préciser les contours du pilote.

L'étude a duré trois ans et nous a permis de tester différents supports de traitement :

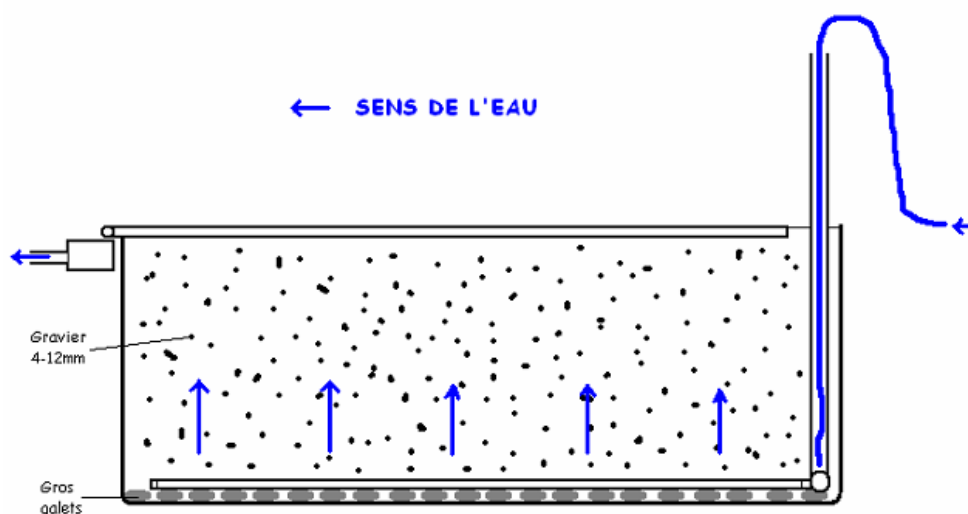
- Année 1 : gravier
- Année 2 : toile géotextile
- Année 3 : plaque polycarbonate

Pour commencer ce test, nous aurions pu choisir un support bactérien offrant une surface spécifique plus importante telle que la pouzzolane ou le biogrog. Mais nous avons choisi un support dont le prix et la disponibilité le rend plus accessible.

Au cours des trois années de test, nous avons fait évoluer les supports bactériens en fonction des contraintes rencontrées sur le terrain. L'explication de ces choix est développée dans les paragraphes suivants.



Figure 2 : Circulation de l'eau dans le pilote



Les étapes de conception sont imagées en annexe.

### COÛT DE L'INSTALLATION

Pour aménager ce dispositif de traitement, nous avons utilisé les ressources locales à savoir le personnel et le matériel de la pisciculture ainsi que des fournisseurs de matériaux.

Tableau 1 : Présentation du coût de l'installation

Fournitures	Coût HT
PVC Evacuation à usages multiples + Drain CR4 en 250 – 100	819,48 €
Bâche EPDM (6,1x7) + Feutre (300 g/m <sup>2</sup> )	476,00 €
Gravier (4-12mm) 6 m <sup>3</sup>	221,08 €
Pompe ITT LOWARA tri + flexible + rallonge électrique	1 516,56 €
Frais de personnel (24h)*	324,24 €
* salaires chargés	
<b>Total :</b>	<b>3 357,35 €</b>

### RESULTATS

L'efficacité du système de traitement a été évaluée à plusieurs reprises en laboratoire privé et au sein de l'Université de Savoie.

Les analyses d'eau ont porté sur trois formes de l'azote dissous dans l'eau l'ammonium, les nitrites et les nitrates en amont et en aval du pilote. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'azote au sein de ces molécules et à son comportement au fil des saisons. L'intérêt de cette méthode était de pouvoir suivre le fonctionnement du pilote à des moments différents de l'année (été et hiver) pour mettre en évidence d'éventuelles baisses de régime. Et nous avons pu comparer la quantité d'azote en entrée et en sortie du pilote.

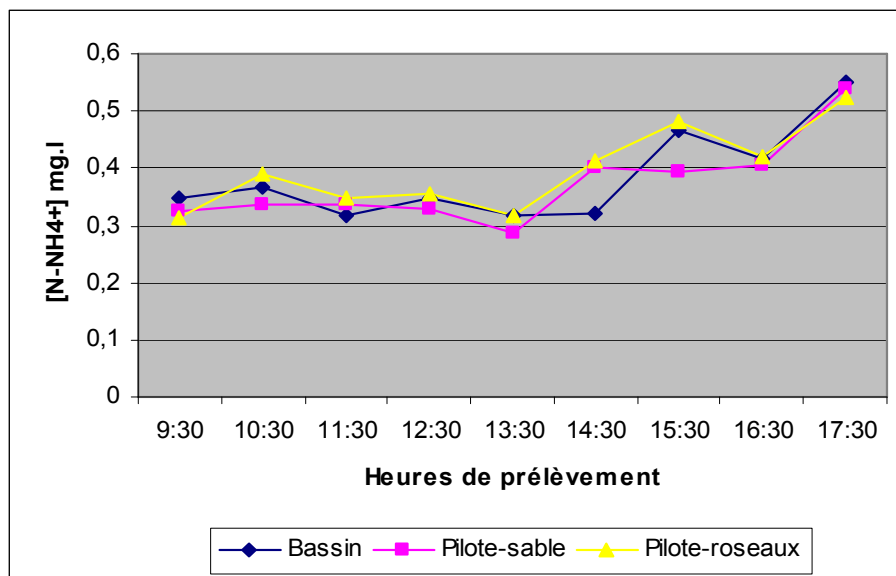
Le pilote a été mis en service en mai 2007 et les premières analyses sont intervenues 15 jours après le lancement. Une première série de 9 prélèvements (un par heure entre 9h30 et 17h30) a été faite le 23 mai puis le 30 mai sur 13 échantillons.

**Série 1 :**

*Tableau 2 : Résultats des analyses d'ammonium réalisées le 23 mai 2007*

Heures des prélèvements	Concentration N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> en mg/l		
	Bassin	Pilote-sable	Pilote-roseaux
9:30	0,349	0,324	0,314
10:30	0,368	0,337	0,389
11:30	0,318	0,337	0,349
12:30	0,348	0,327	0,354
13:30	0,318	0,288	0,318
14:30	0,321	0,401	0,414
15:30	0,467	0,392	0,48
16:30	0,418	0,404	0,42
17:30	0,551	0,538	0,523

*Graphique 1 : Résultats des analyses d'ammonium réalisées le 23 mai 2007*



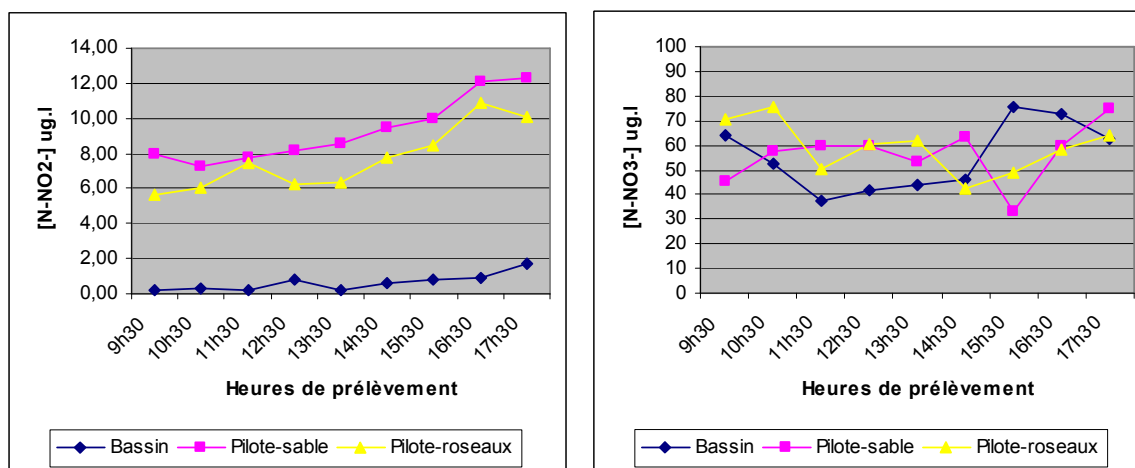
Cette première série montre que les concentrations en amont et en aval du pilote restent stables.

Les mêmes analyses ont été effectuées sur les nitrites et les nitrates.

Tableau 3 : Résultats des analyses de nitrites et de nitrates réalisées le 23 mai 2007

Heures des prélèvements	Concentration N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> en µg/l			Concentration N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en µg/l		
	Bassin	Pilote-sable	Pilote-roseaux	Bassin	Pilote-sable	Pilote-roseaux
9h30	0,25	7,91	5,61	63,68	45,61	70,68
10h30	0,32	7,28	6,02	52,16	57,81	75,19
11h30	0,17	7,76	7,42	37,71	59,61	50,58
12h30	0,80	8,15	6,26	42,00	59,61	60,29
13h30	0,17	8,54	6,33	43,58	53,06	62,10
14h30	0,64	9,49	7,76	46,29	63,00	42,23
15h30	0,80	9,97	8,47	75,65	33,19	49,23
16h30	0,88	12,10	10,92	72,71	59,84	58,03
17h30	1,68	12,33	10,08	62,77	74,74	64,13

Graphiques 2 et 3 : Résultats des analyses de nitrites et de nitrates réalisées le 23 mai 2007



Par rapport aux résultats sur l'ammonium, le graphique de droite montre que la concentration en N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> augmente à la sortie du pilote. Par contre, pour le N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> les concentrations ont une évolution complètement anarchique.

Les résultats de la première série témoignent sans doute d'un démarrage incomplet du cycle de l'azote.

Nous ne notons pas de différence significative entre les deux compartiments du pilote. La très faible pousse des roseaux peut en être l'explication en l'état de l'expérimentation.

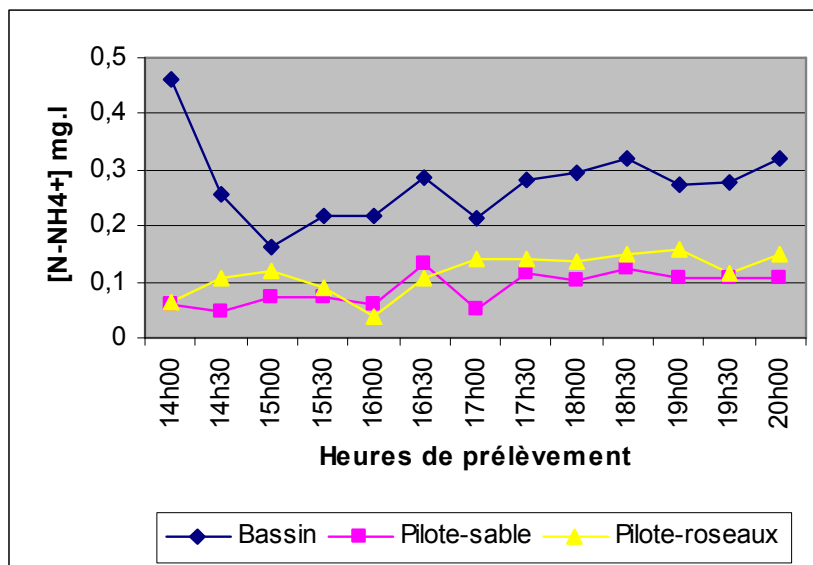
### Série 2 :

La deuxième série de prélèvements analysés le 30 mai donnent des résultats différents et assez encourageants.

*Tableau 4 : Résultats des analyses d'ammonium réalisées le 30 mai 2007*

Heures des prélèvements	Concentration N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> en mg/l		
	Bassin	Pilote-sable	Pilote-roseaux
14h00	0,463	0,061	0,063
14h30	0,254	0,048	0,106
15h00	0,162	0,071	0,120
15h30	0,218	0,072	0,088
16h00	0,217	0,060	0,040
16h30	0,285	0,130	0,105
17h00	0,215	0,051	0,142
17h30	0,282	0,117	0,140
18h00	0,296	0,104	0,135
18h30	0,320	0,123	0,150
19h00	0,271	0,107	0,158
19h30	0,277	0,107	0,114
20h00	0,320	0,107	0,150

*Graphique 4 : Résultats des analyses d'ammonium réalisées le 30 mai 2007*

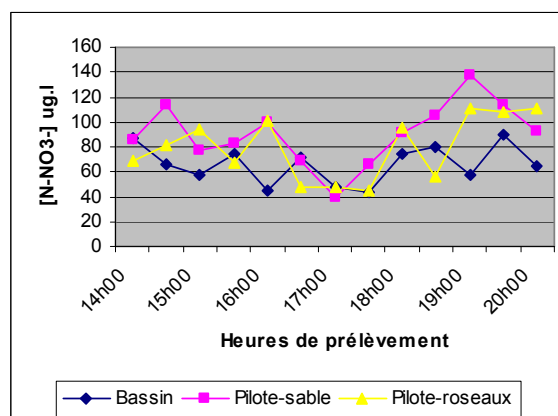
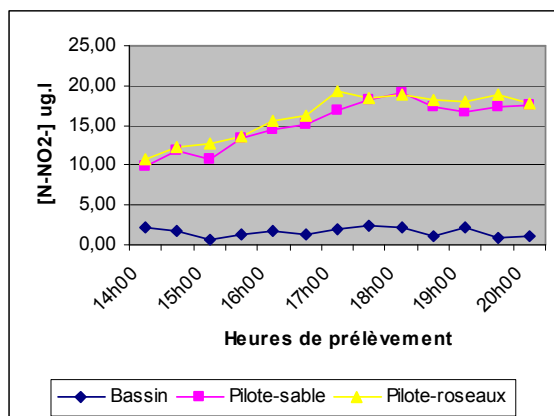


En moyenne, la concentration en N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> baisse de 62,69 % entre l'entrée du pilote et la sortie du lit de gravier. Si nous supprimons les deux premiers prélèvements qui semblent incohérents la moyenne se maintient à 58,22%

**Tableau 5 : Résultats des analyses de nitrites et de nitrates réalisées le 30 mai 2007**

Heures des prélèvements	Concentration N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> en µg/l			Concentration N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en µg/l		
	Bassin	Pilote-sable	Pilote-roseaux	Bassin	Pilote-sable	Pilote-roseaux
14h00	2,30	9,96	10,72	87,30	85,49	68,53
14h30	1,85	11,78	12,24	66,01	114,34	80,80
15h00	0,71	10,85	12,81	57,35	77,55	93,42
15h30	1,35	13,44	13,51	73,94	83,32	67,45
16h00	1,66	14,39	15,47	44,37	99,92	100,63
16h30	1,22	15,16	16,17	71,06	68,17	47,61
17h00	1,92	16,80	19,21	47,61	39,68	47,61
17h30	2,42	18,26	18,32	43,29	66,01	45,09
18h00	2,30	19,02	18,89	74,31	91,62	95,23
18h30	1,03	17,37	18,26	80,08	105,32	55,91
19h00	2,17	16,68	17,88	56,99	137,79	110,73
19h30	0,84	17,37	18,89	89,82	113,62	107,49
20h00	1,16	17,56	17,75	64,91	93,06	111,46

**Graphiques 5 et 6 : Résultats des analyses de nitrites et de nitrates réalisées le 30 mai 2007**



Comme pour la série du 23 mai, nous notons une production de nitrites, des concentrations en nitrates très variables et pas de différences significatives entre le compartiment planté de roseaux et le second.

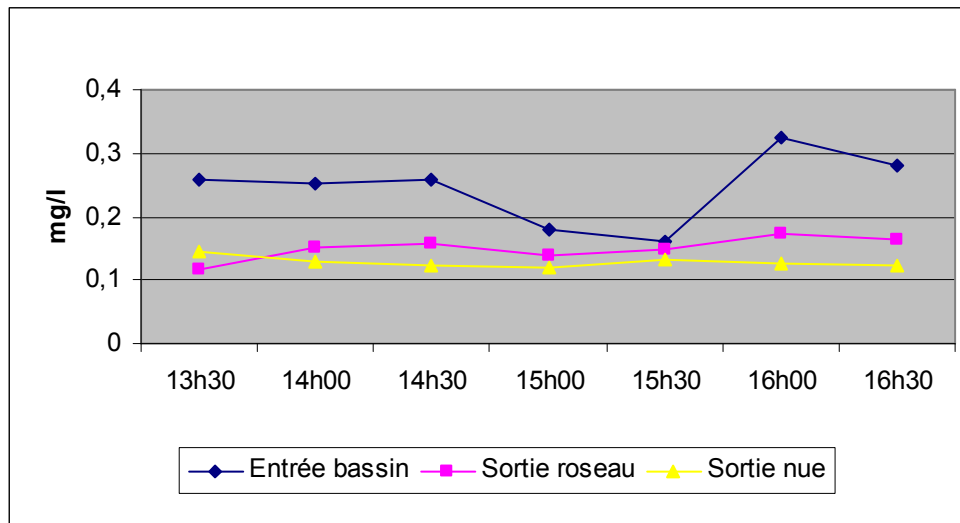
Ces résultats montrent que la première phase du cycle de l'azote (nitritation) se produit mais que, sans doute, par manque d'oxygène la nitrification ne se fait pas complètement.

**Série 3 :**

**Tableau 6 : Résultats des analyses d'ammonium réalisées le 15 novembre 2007**

Heures des prélèvements	Concentration N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> en µg/l		
	Bassin	Pilote-sable	Pilote-roseaux
13h30	0,258	0,116	0,145
14h00	0,253	0,150	0,130
14h30	0,258	0,156	0,124
15h00	0,180	0,140	0,119
15h30	0,160	0,147	0,131
16h00	0,324	0,173	0,126
16h30	0,279	0,164	0,122

Graphique 7 : Résultats des analyses d'ammonium réalisées le 15 novembre 2007



En fin d'été 2007, deux pluies d'orage sont venues perturber le fonctionnement du pilote et le déroulement de l'étude. Ces deux événements incontrôlables ont provoqué un colmatage du filtre. Le rendement moyen du système tombe en dessous de 50% quelque soit le compartiment.

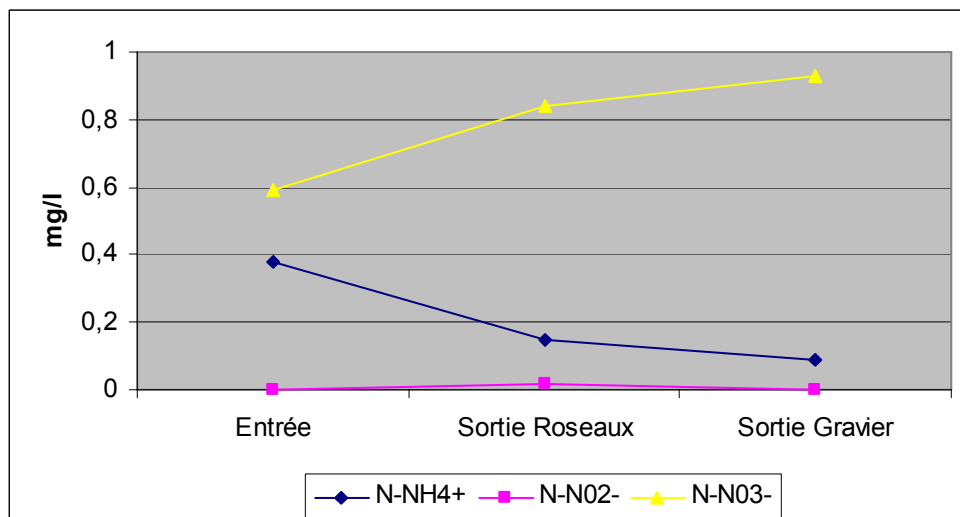
**Série 4 :**

Nous avons cependant continué à suivre le fonctionnement du pilote sur la base d'un prélèvement ponctuel.

Tableau 7 : Résultats des analyses réalisées le 29 novembre 2007

Paramètres	Concentration en mg/l		
	Bassin	Pilote-sable	Pilote-roseaux
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0,38	0,09	0,15
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<0,01	<0,01	0,02
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,59	0,93	0,84

Graphique 8 : Résultats des analyses réalisées le 29 novembre 2007



Ces résultats laissent à penser que le pilote a repris un fonctionnement normal avec un abattement de l'ammonium supérieur à 60%.

Un nouvel épisode pluvieux nous a contraint à nettoyer complètement le support bactérien à la fin du mois de décembre. Les 6 m<sup>3</sup> de gravier ont été retirés du bassin et lavé à grande eau. Une nouvelle analyse est venue vérifier la remise en route du pilote en mai.

*Tableau 8 : Résultats des analyses  
réalisées le 16 mai 2008*

Paramètres	Concentration en mg/l		
	Bassin	Pilote-sable	Pilote-roseaux
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0,12	<0,03	<0,03
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<0,01	<0,01	<0,01
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,66	0,79	0,79

Après 4 mois de fonctionnement, le filtre retrouve de très bonnes performances avec un abattement supérieur à 75% du N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et l'absence de rejets de nitrites.

Pour autant, nous avons testé d'autres modalités de traitement devant nous affranchir du problème de colmatage.

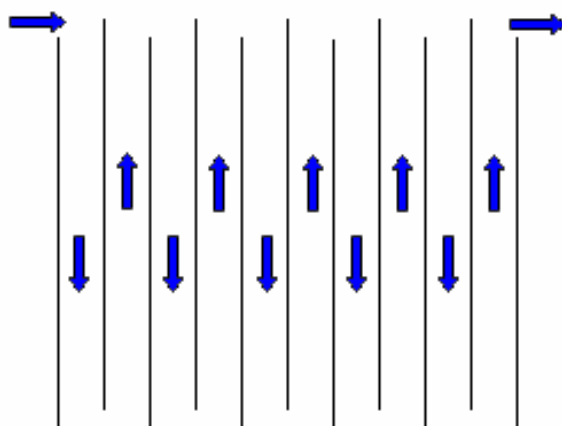
## Traitement biologique sur support « géotextile »

### CONCEPTION

Nous avons cherché à supprimer le problème du colmatage en évitant la rétention des matières en suspension dans le filtre.

Ainsi, nous avons conçu un caisson à l'intérieur duquel des cadres amovibles recouverts de géotextile ont été installés de façon à faire circuler l'eau de haut en bas et de bas en haut le long de la toile. La toile a fait office de support bactérien. Les caissons ont été fabriqués en aggloméré dans un atelier puis placés dans le bassin après avoir ôté une partie du gravier. Cette phase d'étude s'est déroulée pendant l'été 2008.

*Figure 3 : Circulation de l'eau dans le caisson*



*Photo 1 : Caisson mis en place de la bassin préconçu*



## RESULTATS

### Série 5 :

*Tableau 9 : Résultats de la campagne d'analyses de l'été 2008*

N-NH4 (mg/l)			N-NO3 (mg/l)			N-NO2 (mg/l)		
Date	Entrée	Sortie	Date	Entrée	Sortie	Date	Entrée	Sortie
4 juin	0,14	0,09	4 juin	0,59	0,66	4 juin	<0,01	0,01
11 juin	0,16	0,13	11 juin	0,57	0,59	11 juin	<0,01	0,02
18 juin	0,25	0,2	18 juin	0,8	0,9	18 juin	0,01	0,02
25 juin	0,16	0,12	25 juin	0,5	0,6	25 juin	<0,01	0,01

*Tableau 10 : Abattements de l'ammonium avec la toile géotextile pendant l'été 2008*

N-NH4+	Abattement en %
4 juin	35,71
11 juin	18,75
18 juin	20,00
25 juin	25,00

Le traitement de l'ammonium par le système de cadres et de toile géotextile a montré son efficacité mais elle reste inférieure à celle du lit de gravier.

Nous avons rapidement vu s'implanter des algues vertes filamenteuses sur la toile. Cette concurrence spatiale pourrait être une explication au rendement moindre de ce système. Mais la principale différence se situe au niveau de la surface de contact, beaucoup moins importante avec les cadres.

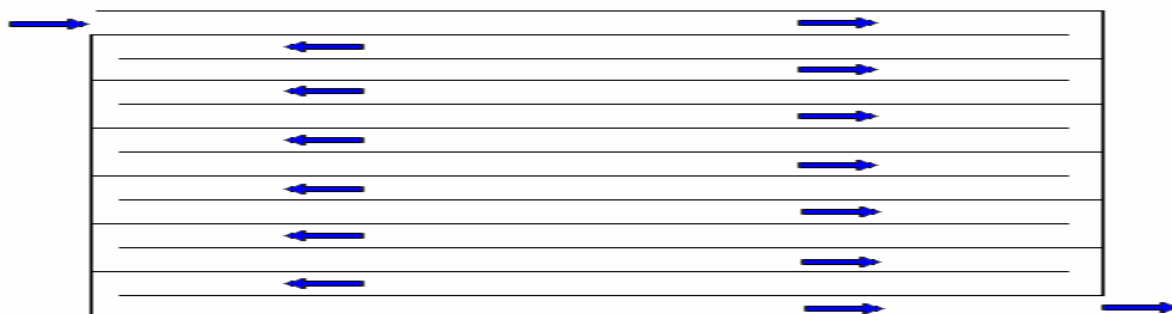
Néanmoins le principe de cadres amovibles a facilité le nettoyage et a évité le colmatage du filtre.

## Traitement biologique sur support « polycarbonate »

### CONCEPTION

A partir du 17 juin 2009, nous avons testé un troisième support bactérien, notre objectif étant de concilier surface de contact et facilité de nettoyage. Nous avons testé un compromis avec les plaques en polycarbonate double paroi de 6 mm d'épaisseur et de 3 mètres de long. Nous les avons façonnées afin que l'eau puisse circuler à l'intérieur comme entre les cadres. Ce support devait éviter le colmatage en maintenant une bonne circulation de l'eau malgré les pertes de charges.

Figure 4 : Circulation de l'eau dans les plaques



Nous avons testé trois dimensions différentes :

- Plaque A : 3,24m<sup>2</sup>
- Plaque B : 1,32 m<sup>2</sup>
- Plaque C : 5,04 m<sup>2</sup>

### RESULTATS

#### Série 6 :

Tableau 10 : Résultats de la campagne d'analyses sur l'ammonium de l'été 2009

Concentration en N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l N)				
Date	Entrée	Plaque A	Plaque B	Plaque C
8 juillet	0,25	0,23	0,24	0,14
22 juillet	0,31	0,11	0,26	0,12

Tableau 11 : Abattements de l'ammonium pendant l'été 2009

Abattement en %			
Date	Plaque A	Plaque B	Plaque C
8 juillet	8	4	44
22 juillet	65	16	61

Les tableaux ci-dessus montrent qu'après 21 jours de mise en route, le dispositif de traitement avec les plaques de polycarbonates a un rendement faible exceptée la plaque C la plus grande qui est plus efficace.

Après 35 jours de fonctionnement, les rendements se sont beaucoup améliorés. La taille de la plaque B semble trop faible pour offrir un bon rendement. Cette tendance a été confirmée par une nouvelle analyse en nombre 2009.

*Tableau 10 : Résultats de la campagne d'analyses sur les nitrites et les nitrates de l'été 2009*

<b>Concentration en N-NO<sub>2</sub>- (mg/l N)</b>				
Date	Entrée	Plaque A	Plaque B	Plaque C
8 juillet	0,01	0,04	0,04	0,11
22 juillet	0,02	0,11	0,07	0,08
<b>Concentration en N-NO<sub>3</sub>- (mg/l N)</b>				
Date	Entrée	Plaque A	Plaque B	Plaque C
8 juillet	0,5	0,5	0,5	0,5
22 juillet	0,5	0,6	0,5	0,6

Ce type de traitement ne produit pas de nitrates par contre la concentration en nitrites est systématiquement plus élevée en sortie.

Les plaques de polycarbonates ont été maintenues hors d'eau, de ce fait le dispositif était très vulnérable au gel. Et de nombreuses fuites sont venues contrarier le bon fonctionnement de plusieurs plaques pendant l'hiver 2009. Pour éliminer ce problème, ce type de support devrait être immergé et placé au fil de l'eau.

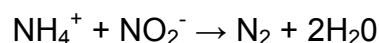
Nous disposons de plaques double paroi mais il existe dans le commerce des plaques cinq parois offrant une surface de contact plus importante.

## AZOTE : LA PART DES ANGES ?

Au cours de l'étude, nous avons été confronté à plusieurs colmatages de nos systèmes de traitement sans que les performances soient nettement dégradées. L'oxydation de l'azote ammoniacal se fait communément en milieu aérobie, or, une partie du temps, nos installations ont été colmatées et des zones anaérobies se sont probablement constituées. Différentes études ont montré que cette oxydation pouvait également avoir lieu en milieu anaérobie. Ce processus a été découvert chez Gist-Brocades (Pays-Bas) par Mulder (1992) et la nature biologique de cette transformation a été démontrée par Van de Graaf et al. (1995).

Il s'agit de Planctomycètes de l'espèce *Kuenenia stuttgartiensis* qui transforme l'ammonium et les nitrites en azote gazeux en milieu anaérobie. Le génome de cette bactérie a été complètement décrypté en 2006 par une équipe de chercheurs du Genoscope d'Evry et des Universités de Nimègue, Munich et Vienne (Strous, et al., 2006).

Jetten et al (1999) a modélisé cette oxydation dans la formule suivante :



Ces bactéries portent le doux nom d'anammox pour «anaerobic ammonium oxydation» (oxydation anaérobie de l'ammoniaque). Plusieurs études (Kuypers et al., 2003 ; Dalsgaard et al., 2003 ; Devol, 2003) montrent que les bactéries anammox seraient à l'origine de 30 à 50 % de la consommation de l'azote dans l'écosystème marin.

Ces résultats laissent à penser que les bactéries anammox ont finalement une grande importance dans le cycle de l'azote. Leur capacité à oxyder l'ammoniaque en milieu anaérobie est à la source de nouvelles techniques de traitement des eaux (réacteur anammox à Rotterdam, Technisch Weekblad, 18/03/2006) et d'autres innovations comme la pile à combustible développée par Daihatsu (Toyota) et l'AIST (Koichiro A et al, 2007).

Dans notre cas, la production d'azote gazeux vient s'ajouter à la dégradation de l'ammoniaque par voie aérobie. Cette piste devrait faire l'objet de plus d'approfondissement pour évaluer l'importance de cette forme d'oxydation en salmoniculture.

## **CONCLUSION**

Les réalités de terrain ont eu une grande influence sur le déroulement de l'étude. Ainsi, nous avons dû modifier les supports bactériens à deux reprises pour répondre notamment au problème de colmatage.

Le transfert de technique de traitement par lit fixe devra tenir compte de ce problème. Nous recommandons donc l'installation d'un filtre mécanique en amont du dispositif de traitement biologique pour limiter ce phénomène. Entre ces deux systèmes de filtration, l'ajout d'un aérateur apportera de l'oxygène et devrait améliorer le fonctionnement du second.

Nous notons que la colonisation des systèmes de traitement s'est faite naturellement en 3 à 4 semaines quelque soit le support testé. Aucun ensemencement n'a été fait. Les bactéries présentes dans le milieu (bassins de pisciculture, bassin de décantation, ...) se sont donc facilement installées sur les supports proposés.

Bien que notre installation ait souffert du colmatage les performances ont été très intéressantes. Sur le principe, ce type de traitement fonctionne sur l'effluent piscicole. Pour passer à une dimension supérieure et le rendre applicable à l'eau recyclée ou renvoyée au pied du barrage, il faudra augmenter la dimension du bassin, le porter à 60 m<sup>3</sup> pour traiter 100 l/s. Pour limiter les coûts, qui resteront malgré tout élevés, un traitement du rejet au fil de l'eau dans la continuité du flux est indispensable. L'usage d'une pompe pour ce débit est difficilement envisageable.

Notre attention doit se porter sur la mise en route du cycle en particulier sur la production de nitrites sur lesquels une norme existe (0,3mg/l). L'apport d'oxygène avant le traitement pourrait être une solution.

A l'avenir, le traitement de l'ammonium par voie anaérobie devra faire l'objet de recherche approfondie pour évaluer son impact dans le secteur piscicole.

## **REMERCIEMENTS**

Cette étude a fait l'objet d'un partenariat entre l'ADAPRA et l'Université de Savoie. Dans ce cadre, plusieurs étudiants en licence professionnelle « Aquaculture » ont travaillé sur le sujet au titre de leurs projets tutorés. Ils ont participé activement à la construction du pilote ainsi qu'au suivi de son fonctionnement qu'ils en soient tous remerciés ici : Frédéric DE ALMEIDA, Léonard HABERT, Benjamin HORN, Christophe VASSAL, Julie JACOBBERGER, Benjamin MAURICE, Tanguy MOREAU, Adelain BERNARD, Yohann LANDUREAU et Vivien AUCLAIR.

Ce projet n'aurait jamais pu se concrétiser sans l'appui de l'entreprise qui a bien voulu nous accueillir et sans les compétences de son personnel. Nous leur exprimons toute notre gratitude.

## BIBLIOGRAPHIE

Bougard D., Traitement d'effluents azotés avec arrêt de la nitrification au stade nitrite, Thèse ENSA Montpellier, 2004

Dalsgaard T, Canfield DE, Petersen J, Thamdrup B, Acuna-Gonzalez J. N-2 production by the anammox reaction in the anoxic water column of Golfo Dulce, Costa Rica. *Nature*. 2003;422(6932):606-608

Devol AH. Nitrogen cycle - Solution to a marine mystery. *Nature*. 2003;422(6932):575-576

Guillaume J., dans Nutrition et alimentation des poissons et crustacés, Editions INRA, 1999, 122

Jetten MSM, Strous M, van de Pas-Schoonen KT, et al. The anaerobic oxidation of ammonium. *FEMS Microbiology Reviews*. 1999;22:421-437

Karlsson R. et al., Identification of key proteins involved in the anammox reaction, *FEMS microbiology letters*, 2009; 297 : 87-94

Koichiro A et al.; "A Platinum-Free Zero-Carbon-Emission Easy Fuelling Direct Hydrazine Fuel Cell for Vehicles"; *Angewandte Chemie International Edition* Published online, DOI: 10.1002/anie.200701334

Kuypers MMM, Sliemers AO, Lavik G, et al. Anaerobic ammonium oxidation by anammox bacteria in the Black Sea. *Nature*. 2003;422(6932):608-611.

Mulder A. Anoxic Ammonium Oxidation. US Patent. United States: 427849 (5078884); 1992

Roque d'Orbcastel E., Optimisation de deux systèmes de production piscicole : biotransformation des nutriments et gestion des rejets, 2008, IFREMER, EcoLab UMR 5245 CNRS

Strous, et al. « Deciphering the evolution and metabolism of an anammox bacterium from a community genome » *Nature*. 2006. 440, 790-794.

Van de Graaf AA, Mulder A, de Bruijn P, Jetten MSM, Robertson LA, Kuenen JG. Anaerobic oxidation of ammonium is a biologically mediated process. *Applied and Environmental Microbiology*. 1995;61(4):1246-1251.

## SITOGRAFIE

<http://www.electron-economy.org/article-14422399.html>

<http://www2.cnrs.fr/presse/communiqué/843.htm>

<http://www.genoscope.cns.fr/spip/Publications.63.html>

[www.bulletins-electroniques.com/actualites/33620.htm](http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/33620.htm)

<http://www.ensam.inra.fr/narbonne/documents/Theses/BougardDaisyTI.pdf>

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=21674209>

# ANNEXES

## PLANCHES PHOTOS CREATION PILOTE GRAVIER



Débroussaillage du terrain



Creusement du bassin



Pose du géotextile



Pose de la bâche EPDM



Pose de la tuyauterie et du lit drainant



Remplissage avec le gravier et pose des drains de récupération



Bassin de filtration terminé



Bassin de traitement du  $\text{NH}_4^+$  en fonctionnement