

MISE AU POINT D'UN PILOTE DE TRAITEMENT DE L'EAU SALEE
SOUTERRAINE DE LA NAPPE DE NOIRMOUTIER EN VUE DE
SON UTILISATION EN AQUACULTURE

Présentation et évaluation des techniques
applicables à la nurserie intensive de poissons marins

*Rapport final du contrat n° 86 - 1210444 -N- ANVAR/IFREMER
"EAU SOUTERRAINE EN NURSERIE"*

Août 1988

ASSOCIATION NATIONALE POUR LA VALORISATION DE LA RECHERCHE
INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER



MISE AU POINT D'UN PILOTE DE TRAITEMENT DE L'EAU SALEE
SOUTERRAINE DE LA NAPPE DE NOIRMOUTIER EN VUE DE SON UTILISATION
EN AQUACULTURE.

Présentation et évaluation des techniques
applicables à la nurserie intensive de poissons marins.

RAPPORT FINAL DU CONTRAT n°86/1210444/N ANVAR/IFREMER
"EAU SOUTERRAINE EN NURSERIE"

AOUT 1988

ASSOCIATION NATIONALE POUR LA VALORISATION DE LA RECHERCHE
INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

S O M M A I R E

INTRODUCTION	2
PROBLEMATIQUE	3
1. Le traitement du fer	
2. Le rééquilibrage des gaz dissous	
3. La nitrification de l'azote ammoniacal	
4. Objectifs d'élevage	
TRAITEMENT DE L'EAU. DISCUSSION DES SOLUTIONS PROPOSEES	5
1. Extraction de l'eau souterraine	
2. Le traitement du fer	
3. Le rééquilibrage des gaz dissous	
4. La nitrification de l'azote ammoniacal	
RESULTATS GENERAUX. ZOOTECHNIE	9
1. Résultats d'élevage	
2. Nécessité de la nitrification	
ORIENTATIONS	11
ANNEXE 1 : Situation énergétique à Aqualive/IFREMER Noirmoutier Etude du pompage et de la fourniture en énergie Note technique DL/1988-1	10 p
ANNEXE 2 : Traitement de l'eau souterraine à Aqualive/IFREMER Noirmoutier Partie 1 : Dégazage sur colonne Note technique DL/1988-2	7 p
ANNEXE 3 : Traitement de l'eau souterraine à Aqualive/IFREMER Noirmoutier Partie 2 : Traitement du fer Note technique DL/1988-3	3 p
ANNEXE 4 : Traitement des eaux de forage Partie 3 : Nitrification en filtre biologique Note technique DL/1988-4	7 p

- ANNEXE 5 : Mesure de l'ammoniaque dans les eaux. Particularités à prendre en compte à la station Aqualive et précautions d'usage
Note technique DL/1988-5 6 p
- ANNEXE 6 : Evaluation économique du prégrossissement de turbots en eau souterraine salée : coût de l'eau
Note technique DL/1988-6 5 p
- ANNEXE 7 : Evaluation technique de l'hivernage intensif du bar à l'aide de l'eau souterraine salée. Approche du coût de l'eau
Note technique DL/1988-7 9 p
- ANNEXE 8 : Evaluation technique de l'hivernage intensif de la dorade à l'aide de l'eau souterraine salée
Note technique DL/1988-8 5 p
- ANNEXE 9 : BIBLIOGRAPHIES
- Documents Aqualive sur le thème des eaux souterraines
 - Documents divers sur le thème des eaux souterraines
 - Rapports de stages sur le thème des eaux souterraines
- ANNEXE 10 : Traiter l'eau souterraine : une chance pour l'aquaculture : étude de la nitrification en filtre biologique
(H. PALVADEAU, Rapport de stage IFREMER/CREUFOP) 26 p

INTRODUCTION

Le programme de recherche faisant l'objet du présent rapport a été réalisé avec l'aide financière de l'ANVAR.

A la suite de la découverte de la nappe salée souterraine de Noirmoutier, l'étude de ses utilisations possibles en aquaculture a été entreprise. La station de l'Ifremer située à Noirmoutier a pour charge de développer des techniques d'élevage applicables dans l'environnement des marais atlantiques, et s'attache principalement au développement de techniques semi-intensives de grossissement de poissons et crustacés.

Dans le cadre de ces travaux, il est apparu que la saison chaude (Mai-Octobre) était propice à la croissance d'espèces telles que le bar ou la daurade. Trois problèmes techniques liés pour partie aux caprices du climat se posent :

a. la synchronisation entre les approvisionnements potentiels d'alevins et les conditions favorables de milieu pour leur mise en eau est difficile à obtenir.

b. l'optimisation de la filière d'élevage semi-intensive nécessite le contrôle du poids des alevins à la mise en eau et l'obtention d'un poids minimum en début de saison chaude, généralement supérieur à celui des alevins sortant d'écloserie.

c. l'hivernage des générations successives nécessite le maintien d'une température de survie dans les bassins.

Pour éliminer ces points de blocage, l'utilisation de l'eau souterraine salée peut s'avérer très utile. Elle a été utilisée avec succès pour l'hivernage en bassins semi-intensif (point c), et, pour résoudre les points a et b, son utilisation dans le cadre de techniques intensives en nurserie et à une échelle significative était à tester.

L'objet du présent contrat est d'effectuer la démonstration de la faisabilité des techniques de traitement de l'eau souterraine pour son usage aquacole et l'évaluation de leur valeur au plan économique.

Ce rapport présente la synthèse des différents travaux réalisés à Noirmoutier de 1986 à 1988 dans le cadre du présent contrat. Il s'appuie sur une série de Notes Techniques, construites pour être chacune descriptive d'un élément technique indépendant et suffisante pour assurer une information didactique du lecteur. Il s'appuie aussi sur la liste complète des publications disponibles à l'Ifremer Noirmoutier, qui traitent de l'exploitation des eaux souterraines ; liste en est présentée en annexe.

Il a été précédé de deux rapports provisoires partiels dont l'analyse détaillée a été reprise dans les notes techniques DL/1988-5 et DL/1988-7.

PROBLEMATIQUE

La qualité des eaux souterraines salées est connue. HUSSENOT (1984) en a présenté les caractéristiques générales, dont les principales, au regard des élevages à développer, sont rappelées :

- température 14 \pm 0.5°C
- Oxygène dissous : concentration faible à nulle
- Gaz carbonique libre : teneur très élevée liée à une forte concentration en carbonates et au pH acide.
- Azote ammoniacal dissous : teneur élevée (1 à 5 mg/l) suspectée d'être la cause de toxicité chronique. Cependant le pH acide de l'eau souterraine minimise la proportion de la forme toxique non ionisée de l'azote ammoniacal.
- Sursaturation en gaz dissous : l'azote gazeux est présent en excès par rapport à la capacité de solubilisation de l'eau souterraine et l'on observe une valeur anormalement élevée de la pression partielle de ce gaz (125-130 % de la saturation).
- pH : celui-ci se situe en général entre 6.5 et 7.5, valeurs beaucoup plus basses que celles rencontrées dans l'eau de mer. Cela joue indirectement en modifiant les équilibres ioniques notamment ceux des carbonates et de l'azote ammoniacal.
- fer : la teneur en fer dissous (Fe ++) est variable selon les forages, mais peut atteindre des valeurs gênantes.

Les premiers élevages entrepris dès 1980 avaient mis en évidence une toxicité nette de ces eaux en utilisation directe. Plusieurs facteurs, interdépendants, pouvaient être à l'origine de cette toxicité, et la bibliographie ne permettait pas de les dissocier.

La restauration d'un taux d'oxygène dissous satisfaisant pouvait se faire par divers procédés (aérateurs, tube en U, colonne à dégazer,...). Chaque procédé a ses implications sur les autres paramètres critiques. De même le traitement du fer peut entraîner des variations importantes de l'azote ammoniacal dissous...etc.

Divers tâtonnements ont permis de sélectionner trois grands axes de recherche, détaillés ci-après :

- le traitement du fer en excès.
- le rééquilibrage des gaz dissous.
- la nitrification de l'azote ammoniacal.

1. Le traitement du Fer

La présence de fer dissous dans la nappe est apparemment localisée. Lors de la réoxygénation indispensable de l'eau souterraine, les conditions de solubilisation du fer changent et l'on observe la précipitation de fer sous forme d'hydroxydes ferriques (Fe +++) de couleur rouille. Sans que la concentration en fer total ne soit gênante en soi, ces précipités ferriques entraînent une gêne mécanique au niveau des branchies des poissons, particulièrement des poissons plats, qui peut entraîner une asphyxie des animaux.

Il s'agit soit de retarder ou de limiter la précipitation des

hydroxydes ferriques, soit de la favoriser et de filtrer ceux-ci avant distribution de l'eau dans les élevages.

Cette dernière voie de recherche a été adoptée à IFREMER/NOIRMOUTIER. Elle a permis l'adaptation d'une technique simple utilisée pour les eaux potables et qui s'est avérée utile aussi pour réaliser une nitrification partielle de l'effluent.

2. Le rééquilibrage des gaz dissous.

On a vu que les teneurs en gaz de l'air dans l'eau souterraine n'étaient satisfaisantes pour aucun d'eux. Certains sont en excès (AZOTE et GAZ CARBONIQUE), d'autres en déficit (OXYGENE).

Parmi les modes de traitement disponibles, tous ne présentent pas les mêmes modes de fonctionnement.

Le tube en U, outil classique de traitement d'eau, permet l'ajout d'oxygène à moindre coût car il ne nécessite qu'une faible charge, mais ne permet pas l'élimination suffisante des gaz en sursaturation.

Les aérateurs mécaniques sont mal adaptés au traitement global et continu de l'eau neuve d'une exploitation. De plus ils apportent des sujétions électriques et mécaniques.

Le travail s'est orienté vers le dimensionnement de colonnes de dégazage/aération qui permettent de rééquilibrer les pressions partielles des gaz dissous à leur valeur dans l'air. Cet appareillage simple fonctionne de façon passive et ne demande aucun entretien. Dans une eau ainsi rééquilibrée les animaux trouvent des conditions respiratoires satisfaisantes.

On observe lors de la mise en pratique de cette méthode, d'une part une remontée du pH liée au dégazage du gaz carbonique libre, d'autre part une nitrification partielle possible de l'effluent si l'on fonctionne en continu.

On voit que le choix du procédé d'équilibrage des gaz dissous n'est pas sans incidence sur l'ensemble des besoins de traitement de l'eau souterraine.

3. La nitrification de l'azote ammoniacal.

La forte teneur en azote ammoniacal dissous par rapport à celle de l'eau de mer était préoccupante et justifiait que l'on s'attache à la réduire. La nitrification biologique permet la transposition de l'azote ammoniacal dissous en azote nitreux puis en azote nitrique, peu toxique. Deux procédés utilisant la nitrification biologique ont été étudiés avec succès à l'IFREMER/NOIRMOUTIER. Il s'agit de la nitrification dans le sol, faisant appel aux mêmes principes que la déferrisation, et de la nitrification en biofiltre à culture fixée. Les performances réciproques des deux systèmes seront discutées.

Quel que soit le traitement envisagé, son coût s'additionne à celui de l'extraction de l'eau souterraine et à celui du traitement obligatoire des gaz dissous (accessoirement à celui de la déferrisation). Cet aspect des choses permettait que l'on s'attache "à posteriori" à vérifier la toxicité de l'azote ammoniacal dans une eau dont les traitements primaire (déferrisation) et secondaire (dégazage/aération) étaient réalisés dans leur version aboutie. Ceci a été fait pour partie et autorise à remettre en cause l'utilité d'une nitrification poussée. La nitrification résiduelle obtenue tant lors de la déferrisation que de l'aération-dégazage apparaît suffisante pour satisfaire les besoins des animaux en hivernage intensif.

4. Objectifs d'élevage.

Parmi les trois problèmes zootechniques mentionnés en introduction, les deux premiers peuvent se résoudre par la réalisation de phases d'élevage courtes en milieu contrôlé. La nécessité de manutentions multiples des animaux occasionnées par ces changements de structure oriente les travaux pour ces phases transitoires vers les techniques d'élevage intensif. Les animaux sont maintenus à des charges élevées dans des bassins de plastique ou de maçonnerie et leurs besoins en eau et en aliment sont assurés intégralement par l'éleveur. En contre-partie, le cheptel est disponible à tout moment et peut être pêché, trié ou échantillonné à volonté.

L'investissement élevé représenté par les structures d'élevage intensif se trouve limité par les faibles volumes nécessaires pour le stock d'alevins de petit poids moyen. Néanmoins la rentabilité de ce type de structure ne peut s'envisager que dans l'analyse d'ensemble de la filière semi-intensive et non sur l'évaluation économique de la phase transitoire isolée.

C'est pourquoi, une fois évalué l'intérêt technique, espèce par espèce, de l'utilisation de l'eau souterraine, on se limitera à l'étude de deux coûts opérationnels : l'eau et l'aliment. Des comparaisons seront effectuées si nécessaire avec d'autres sites d'élevage intensif dont les données sont connues.

TRAITEMENT DE L'EAU. DISCUSSION DES SOLUTIONS PROPOSEES

1. Extraction de l'eau souterraine.

Ce point n'est pas directement dans le champ de ce travail. Cependant la méthode ou le matériel utilisés pour assurer l'extraction des eaux souterraines conditionne le coût du mètre-cube d'eau souterraine utile.

Des travaux réalisés depuis 1980 sur le site du Terrain Neuf (IFREMER/NOIRMOUTIER), il ressort qu'un débit d'eau de 100 m³/h soit exploitable dans un forage de 225 mm de diamètre équipé avec une crépine de 180 mm de diamètre, avec un rabattement de nappe de l'ordre de 3 mètres, soit un relevage total à l'aspiration de l'ordre de 5 m auquel s'ajoute 2.5 m de relevage au refoulement nécessités par le traitement et la distribution de l'eau. Quand le débit exploité se réduit, le rabattement diminue et l'effort d'aspiration aussi.

Actuellement ces eaux sont exploitées avec des pompes aspirantes de surface. Les petits modèles utilisés en expérimentation en raison de leur flexibilité d'usage et leur robustesse n'ont pas été choisis pour optimiser leur rendement énergétique. De ce fait le coût énergétique du mètre cube d'eau souterraine utile, tel que mesuré dans nos installations (cf. Annexe 1988-1) est assez élevé.

A l'avenir, un travail incitatif auprès des industriels du pompage devrait être fait pour mettre à disposition des exploitants du matériel adapté à cet usage, non disponible sur le marché. Cela devrait permettre de réduire le coût de pompage des eaux de forage d'un facteur 2 environ.

Ce coût est estimé actuellement à 0.08 KWh/m³. Sa valeur en francs dépend du type de contrat de fourniture énergétique disponible et de la saison tarifaire. Une comparaison de deux types de contrats est engagée dans l'annexe 1988-1.

2. Le traitement du fer.

La technique de précipitation des hydroxydes ferriques dans la nappe est décrite dans l'annexe 1988-3. La généralisation de cette méthode aux puits d'exploitation de la nappe des calcaires éocènes fracturés est possible. Cependant, le pourcentage de réinjection de l'eau dans le sol dépend de la concentration initiale en fer de la nappe. En effet, il faut apporter 0.14 mg/l d'oxygène pour traiter 1 mg/l de fer. La fraction d'eau réinjectée est capable d'apporter dans la nappe, si elle est correctement oxygénée avant sa réinjection, environ 8 mg/l d'oxygène dont la totalité n'est probablement pas utilisée pour l'oxydation du fer. Quelques pourcents de réinjection devraient suffire pour assurer le traitement de la concentration initiale rencontrée à IFREMER NOIRMOUTIER (0.3 mg/l). En pratique, le minimum testé sur une longue période à Noirmoutier est de 15 %. Il n'est pas prouvé qu'une réinjection moindre ne soit pas suffisante de même qu'il est possible qu'un puits se "rince" de son fer avec le temps.

L'augmentation du coût de l'eau souterraine générée par sa déferrisation est, dans notre application, de 15 % par rapport au coût d'extraction, soit 0.012 KWh/m³. Comme mentionné au paragraphe précédent, une réduction de ce coût est envisageable par une amélioration du rendement des pompes d'extraction.

Il faut enfin noter que certains puits ne contiennent pas de fer, ou en contiennent à des teneurs n'entraînant pas la précipitation d'hydroxydes ferriques en exploitation.

Pour des taux de réinjection plus élevés qui pourraient être rendus nécessaires par des teneurs initiales en fer élevées, il serait probablement justifié sur le plan économique d'expérimenter l'autre voie de lutte contre la précipitation du fer mentionnée dans l'analyse du problème.

3. Le rééquilibrage des gaz dissous.

Ce traitement est impératif quelle que soit la qualité de l'eau extraite, car sa faible teneur en oxygène dissous la rend impropre à l'élevage.

La technique proposée consiste à assurer un contact optimisé entre l'eau à traiter et l'air afin de rééquilibrer les pressions partielles des gaz dissous à leur valeur dans l'air. Pour ce faire, une colonne est garnie d'anneaux de plastique sur lesquels l'eau ruisselle en film mince. De l'air est aspiré spontanément, ou soufflé selon le type de colonne, pour favoriser les échanges. La hauteur de chute conditionne le rendement de la colonne tant que la circulation d'air n'est pas

limitée. Les vitesses de passage admissibles de l'eau dans la colonne sont fonction de l'indice de vide du milieu. Pour le traitement des gaz dissous des vitesses apparentes élevées sont possibles (Annexe 1988-2 et LECLERCQ, 1987), jusqu'à 600 m³/m²/h. Pour le traitement de l'eau souterraine où des effets de nitrification peuvent être espérés et pour lequel la teneur en gaz carbonique est spécialement élevée, une vitesse apparente de 40 à 80 m³/m²/h est adoptée.

Le fonctionnement passif de cet outil le rend peu coûteux à l'usage. On peut estimer à 0.015 KWh/m³ le coût énergétique du traitement. Son caractère obligatoire nous a incité à inclure ce coût dans celui de l'extraction.

L'investissement d'une colonne peut être raisonné à l'économie pour une utilisation peu fréquente (environ 5000 FF pour une mise en oeuvre artisanale et pour 100 m³/h) ou avec des matériels plus industrialisés pour une utilisation continue en élevages intensifs (environ 8500 FF pour 100 m³/h).

Des détails sont disponibles à l'annexe 1988-2 sur les fournitures, les résultats obtenus en traitement de l'eau tant sur les gaz dissous que sur la nitrification.

On retiendra qu'une hauteur utile de chute de 1.6 m est suffisante pour les traitements envisagés et que l'eau dégazée peut soutenir les élevages sans autre traitement complémentaire. On trouvera aux annexes 1988-6,7 et 8 les résultats zootechniques détaillés obtenus en élevage.

4. La nitrification de l'azote ammoniacal.

Deux solutions techniques de mise en oeuvre de la nitrification ont été étudiées à Noirmoutier.

a. nitrification dans la nappe.

La nitrification dans la nappe est un sous produit de la déferrisation. L'apport d'oxygène dans la nappe permet non seulement d'oxyder les ions ferreux mais aussi, s'il est suffisant, d'alimenter une population bactérienne nitrifiante autotrophe. Il faut 4.25 mg/l d'oxygène pour nitrifier 1 mg/l d'azote ammoniacal. Comme la teneur de l'eau en ammoniacque avoisine 3 à 5 mg/l dans la plupart des cas, on voit que la réinjection dans le sol doit se faire à des pourcentages élevés si l'on veut atteindre un effet significatif.

La différence observée entre les concentrations en azote ammoniacal obtenues avec 15 et 50 % de réinjection dans le sol est de 1.5 mg/l (2.7 à 1.2 mg/l, respectivement).

On peut donc comparer, dans le tableau suivant, deux niveaux d'azote ammoniacal avec deux types de réinjection et deux coûts par m³, et pour une concentration de nappe estimée à 3 mg/l d'azote ammoniacal.

Deux traitements de l'azote ammoniacal (par réinjection et passage sur colonne) et leur coût.

Réinj.	N-NH ₄ :		coût/m ³ utile KWh/m ³
	entrée colonne	sortie colonne	
15 %	2.5-2.7	1.5-1.7	0.092
50 %	1.4-1.2	0.9-0.75	0.16

Réinj. : taux de réinjection de l'eau souterraine dans le sol. N-NH₄ : concentrations en azote ammoniacal, en mg/l.

On constate que, SI L'ON TRAVAILLE EN CONTINU (il faut 4 à 6 semaines pour réensemencer une colonne) la colonne de dégazage fourni gratuitement le travail effectué dans le sol par une réinjection de 50 %.

b. nitrification en filtre biologique.

La recherche d'une concentration finale en azote ammoniacale très basse justifie le passage dans un ouvrage de filtration biologique postérieurement au traitement des gaz dissous. Un filtre biologique a été mis au point et testé en fonctionnement de longue durée. L'ensemble de la méthode et des résultats a été consigné dans le rapport de PALVADEAU 1988.

On retiendra les résultats suivants obtenus en deux phases de fonctionnement successives, postérieures à la mise au point de l'outil (voir l'annexe 1988-4). Des résultats meilleurs en terme de concentration finale en azote ammoniacal ont été obtenus par PALVADEAU, mais avec des concentrations initiales en azote ammoniacal faibles résultant d'une recirculation dans le sol supérieure à 50 % et d'un passage lent sur colonne de dégazage.

Deux traitements complémentaires de l'azote ammoniacal et leur coût.

Réinj.	N-NH ₄ :		coût du m ³ utile KWh/m ³
	entrée filtre	sortie filtre	
15 %	1.7	0.63	0.16
50 %	1.2	0.43	0.23

Si l'on compare ces résultats aux précédents, on observe que, pour un coût énergétique identique, un effet meilleur est obtenu par l'usage d'un filtre biologique et d'une réinjection à 15% que par l'augmentation jusqu'à 50 % du taux de réinjection dans le sol.

Le filtre biologique nécessite cependant un investissement non négligeable et utilise une pompe de reprise après traitement des gaz dissous. C'est donc un système plus vulnérable que la réinjection. Quand cette dernière n'est pas nécessaire pour le traitement du fer, le forage de puits de réinjection dans l'objectif d'une nitrification sera plus

coûteux que l'équipement en filtres biologiques.

On rappellera que si le coût d'extraction peut être réduit grâce à un meilleur choix des outils de pompage, le coût du m³ utile après traitement pourrait s'avérer plus avantageux par la réinjection.

RESULTATS GENERAUX . ZOOTECHNIE.

1. Résultats d'élevage.

Dans les annexes 1988-6,7 et 8 les résultats d'élevage obtenus en conditions intensives sur trois espèces de poissons marins (le bar, la daurade royale et le turbot) sont exposés et analysés dans le détail.

Il ressort de cette analyse, que les traitements primaire (déferrisation) et secondaire (dégazage et aération) sont suffisants pour assurer des conditions chimiques satisfaisantes aux animaux en élevage, aussi petits soient-ils (daurades de 0.2 g). De ce fait, l'utilisation d'un échangeur de chaleur pour transférer les calories souterraines à de l'eau de mer, n'est pas nécessaire pour toutes les utilisations en nurserie intensive de poissons.

Cela n'est cependant pas suffisant pour obtenir une croissance significative chez le bar et la daurade, pour lesquels la température de l'eau souterraine du littoral atlantique est trop fraîche. L'utilisation d'eau souterraine seule pendant toute la durée de la saison froide (15/11 au 15/4) est un palliatif qui permet d'obtenir une croissance supérieure à celle obtenue en mélange d'eau de mer et d'eau souterraine. Ce dernier mode d'utilisation génère des températures trop basses pendant trop longtemps pour que le bilan de croissance soit franchement positif.

Chez le turbot, les croissances atteintes ne sont pas optimales mais suffisent à placer l'élevage en eau souterraine dans des conditions d'hivernage très satisfaisantes et concurrentielles. Seul le coût du m³ utile doit - et peut - être amélioré.

Il serait nécessaire d'étudier la rentabilité potentielle d'une structure d'élevage intensif spécialisée dans la nurserie de bars et/ou de daurades dans le cadre d'une filière globale, que celle-ci soit intensive ou semi-intensive. La part de la nurserie d'hivernage dans l'investissement global pourrait alors apparaître modeste en regard de son caractère indispensable pour le déroulement correct de tout le cycle d'élevage. Cet investissement isolé, même s'il se base sur des résultats zootechniques d'hivernage satisfaisant, apparaîtrait probablement difficile à rentabiliser.

2. Nécessité de la nitrification.

Il apparaît que les traitements primaire et secondaire suffisent à rendre l'eau souterraine apte aux élevages. L'analyse de la bibliographie permet de savoir que l'azote ammoniacal est toxique dans sa forme non ionisée. La dissociation de l'ammoniaque est fonction du pH et de la température, accessoirement de la salinité.

Dans les conditions physico-chimiques de l'eau souterraine dégazée, on trouve des valeurs de pH de type neutre (6.9-7.4), qui, à 14°C et à 3.5 % de salinité génèrent une teneur en azote ammoniacal

non-ionisé toxique de 0.15 à 0.5 % de la concentration en azote ammoniacal total obtenue par l'analyse. Soit, pour une concentration extrême de 4 mg/l dans l'eau de forage traitée des valeurs de 0.006 à 0.02 mg/l.

Ces valeurs sont faibles, voire très faibles en comparaison des teneurs en azote ammoniacal non-ionisé susceptibles de provoquer des pertes de croissance sensibles. Deux références sont disponibles, respectivement :

ALDERSON 1979 *, qui donne pour le turbot en prégrossissement, une tolérance de 0.08 mg/l à pH 6.8.

PHELEPP C. et al. 1983 *, pour la daurade en prégrossissement, une tolérance de 0.29 mg/l.

Le risque débute probablement lors de mélanges entre eau de mer et eau de forage dans des proportions qui modifient le pH plus vite que ne se dilue l'ammoniaque. Une simulation est présentée ci-dessous. Les pH de différents mélanges d'eau de mer et d'eau de forage traitée est mesuré, ainsi que la température. Deux hypothèses sont envisagées, en hiver et en été, avec des teneurs respectives en azote ammoniacal total de 0.3 et 0.1 mg/l.

Illustration des effets de dilution eau de mer /eau souterraine sur la teneur en azote ammoniacal non ionisé (toxique) du mélange.

%	pH	t°C	Hiver		Eté			
			%NH3	C/NH3	pH	t°C	%NH3	C/NH3
0/100	8.4	4	2.5	0.0075	8.4	23.9	9.4	0.0094
20/80	8.05	6	1.2	0.0065	8.05	22	3.45	0.013
40/60	7.7	8	0.7	0.0055	7.7	20.2	1.52	0.0099
60/40	7.35	10.1	0.36	0.0037	7.35	18.4	0.68	0.0064
80/20	7.15	12.1	0.27	0.0034	7.15	16.6	0.37	0.0045
100/0	7.0	14.2	0.2	0.003	7.0	14.8	0.2	0.003

Légende :

%NH3 : pourcentage d'azote ammoniacal non ionisé aux conditions de pH et de température définies. (voir annexe 1988-5).

C/NH3: concentration de l'azote ammoniacal non ionisé (mg/l) correspondante à la situation de mélange rencontrée, déduite de la concentration en azote ammoniacal total du mélange et du pourcentage de dissociation.

On remarque que les situations les plus risquées se situent en été et pour des dilutions faibles de l'eau de mer. Cependant les teneurs, dans le cadre de cette hypothèse (teneurs théoriques pour l'eau de mer d'été et d'hiver), restent parfaitement compatibles avec les concentrations qui n'affectent pas la croissance du turbot ou de la daurade (voir ci-dessus).

* pour ces références, consulter les notes techniques 1988-6 et 1988-8.

ORIENTATIONS

L'exploitation des eaux souterraines est techniquement possible et l'on maîtrise bien maintenant les différentes techniques mises au point et leur intérêt. Il n'en reste pas moins que les croissances obtenues à 14°C sont très limitées. Il est tentant d'essayer de gagner quelques degrés afin d'obtenir des croissances satisfaisantes. Le chauffage de l'eau, étudié par CALVAS et LE MOINE en préambule à l'étude des eaux souterraines est irréaliste sans recyclage des calories.

Les recherches s'orientent vers l'utilisation de circuits d'élevage recyclés qui font intervenir des apports d'eau neuve faibles et permettent l'économie des calories apportées au système. En hiver, l'eau de mer d'appoint de ces systèmes apporte un déficit calorique marqué. De plus elle est chargée en matières en suspension et en bactéries potentiellement gênantes pour le circuit.

L'utilisation de l'eau de forage comme eau d'appoint dans le circuit revêt de multiples avantages. Elle est à température constante, non chargée en MES, sanitairesment irréprochable, et stable dans le temps.

D'autre part les progrès réalisés sur la filtration biologique de l'eau de forage ont permis la mise au point d'un filtre biologique qui peut s'adapter au traitement du débit circulant d'un élevage recyclé réchauffé. Enfin, pour les phases d'entretien, de démarrage, de lavage du filtre biologique, l'eau souterraine est parfaitement adaptée.

Les efforts entrepris sur l'utilisation intensive de l'eau souterraine en nurserie de poissons marins pour l'hivernage élargissent les perspectives de développement des élevages en circuit recyclé. Les travaux développés à l'IFREMER NOIRMOUTIER actuellement en sont la concrétisation. Un cycle d'élevage de daurades a eu lieu en circuit recyclé. Il a permis la croissance des animaux de 3 g à 45 g en 108 à 116 jours avec une survie moyenne de 93 % . Trois lots d'animaux étaient élevés dans le circuit de 30 m³ et une biomasse finale de 271 Kg était obtenue. (voir : DENIGOT A. 1988, rapport de stage IFREMER/INTECHMER).

Un cycle de prégrossissement de bars a suivi directement le cycle "daurades" et dure depuis 50 jours avec des performances excellentes.

Si l'analyse économique détaillée de cette technique d'élevage reste à faire, les coûts directs apparaissent attractifs. Les frais de chauffage seront considérablement diminués, par la conception de l'outil (isolation thermique) et par la technique de recyclage pratiquée (division par 35 des besoins en eau).

L'autre orientation à donner dans l'étude des eaux souterraines a été signalée. Il s'agit d'optimiser le rendement du pompage de ces eaux afin d'exprimer entièrement leur facilité d'accès. Compte-tenu du rabattement de nappe, de la proximité de celle-ci par rapport au sol, et de la faible hauteur de refoulement nécessaire au traitement, les pompes utilisées dans l'approche expérimentale de l'utilisation des eaux souterraines n'ont pas un rendement adapté.

ANNEXE 1

NOTE TECHNIQUE DL/1988-1

SITUATION ENERGETIQUE A AQUALIVE/IFREMER NOIRMOUTIER
ETUDE DU POMPAGE ET DE LA FOURNITURE EN ENERGIE

MAI 1988

I. BILAN DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES
 DES DIFFERENTS POMPAGES
 STATION AQUALIVE - NOIRMOUTIER -

Il ne s'agit pas ici de décrire des réalisations "modèles" sur le plan de la consommation électrique (d'autres critères sont pris en compte dans le choix du matériel) mais de situer les ordres de grandeur des consommations par niveau et par type de pompage, pour guider des analyses économiques aussi bien que des propositions techniques nouvelles.

L'évaluation des puissances absorbées est faite par mesure ampéremétrique à la pince et utilisation d'un cosinus ϕ moteur égal en moyenne à 0.85. La formule suivante est employée :

$$P \text{ abs (KW)} = \frac{380 * i * \cos \phi * \sqrt{3}}{1000}$$

Différentes configurations sont étudiées. La hauteur géométrique de fonctionnement est donnée. L'estimation de la hauteur manométrique totale n'est pas toujours réalisée.

Le rapport de la puissance absorbée sur le débit utilisable (P/D) sert d'élément de comparaison ; nous l'appellerons coût énergétique du mètre cube utile.

1. EAU DE FORAGE

1.1 Forage F2 (Nurserie, pompage primaire)

pompe Guinard type NX, moteur 7.5 KW	
débit effectif :	72.8 m ³ /h
puissance absorbée	5.7 KW
hauteur géom. aspiration	3 à 5 m (DN 50)
refoul.	2.5 m (DN 50)
hauteur manométrique	nd

Sur ce forage, deux situations sont possibles, qui modifient le coût énergétique du m³ utile :

recyclage dans le sol à 50 % : P/D = 0.158 KWh/m³

recyclage dans le sol à 15 % : P/D = 0.092 KWh/m³

Cette dernière situation suffit à éliminer le fer dissous

A LA CONCENTRATION INITIALE PRESENTE DANS LE FORAGE D'AQUALIVE.

Compte-tenu de la configuration de la nurserie, l'eau pompée à ce stade n'est pas utilisable dans les élevages, elle doit être reprise par une deuxième pompe à la base de la colonne pour la distribution (gravitaire ou sous pression) dans les bacs. Cette situation est cependant inadaptée et les chiffres donnés ci-dessus pourraient être représentatifs d'une situation où le niveau de charge en base de colonne permet la distribution gravitaire dans les bassins. Ces chiffres sont à rapprocher de ceux obtenus à l'exploitation du forage F4.

1.2. Forage F2 (Nurserie, pompage secondaire).

Une fois dégazée sur colonne, l'eau du forage F2 peut être reprise selon trois formules :

1. Pompe "2" (mise en charge cuve n°2 pour distribution gravitaire).

Pompe SIEBEC M 100 Moteur 0.75 KW	
débit effectif	7.7 m ³ /h
Puissance absorbée	0.6 à 0.7 KW
Hauteur géométrique	3m (PVC DN 50)
P/D	0.078 - 0.09 KWh/m ³

2. Pompe "4" (réseau annexe de distribution pression)
même matériel que précédemment, non étudié.

3. Pompe "3" (traitement tertiaire par filtration biologique)

Pompe Leroy-Sommer SP 30E Moteur 2.2 KW	
Débit effectif	21 m ³ /h
(sans crépine d'aspiration)	
Puissance absorbée	1.7 KW
Hauteur géométrique	2.5 m (DN 50)
Hauteur manométrique totale	3.5-4 m
P/D	0.081 KWh/m ³

1.3 Forage F4 (SEMI INTENSIF)

Batterie de 3 pompes (plus secours) LS SP 50 (Aspiration avec clapet de pied et tuyauterie PVC DN 50, refoulement court avec PVC DN 50). Moteur 3.7 KW.

Nombre de pompes en fonctionnement :	1	2	3
Débit effectif	35	70	100 m ³ /h
Puissance absorbée	2.6	5.4	8.1 KW
H. Géom. (Asp+Ref)	5	6	7.5 m
Rabattement /dalle	2.4	3.2	4.4 m
P/D	.074	.077	.081 KWh/m ³

Cette eau est utilisée directement après le passage en colonne sans relevage ni traitement secondaire, en système intensif ou semi-intensif.

2. EAU DE MER

2.1. SEMI-INTENSIF (pompage primaire)

Il est utilisé pour remplir une réserve d'eau qui alimente les bassins semi-intensifs et la nurserie. Il est équipé de pompes FLYGT à hélice PL3152 Moteur 8 KW.

Ce pompage n'est nécessaire que pour des coefficients de marée inférieurs à 70 et lorsque les besoins sont élevés. Un essai en fonctionnement normal a été réalisé aux conditions suivantes :

Coeff 54, mesure à pleine mer - 0 h 30, vanne amont ouverte à trois dents, 2 pompes en fonctionnement simultané.

Pour une pompe :

Débit effectif	560 m ³ /h
Puissance absorbée	7.3 KW
H.géom. (en sit.dynamique)	1.6 m
P/D	0.013 KWh/m ³

2.2. Nurserie (pompage secondaire).

Dans la nurserie, la reprise de l'eau de mer de la réserve semi-intensive est effectuée par deux pompes LS SP 50 pour une mise en charge et une distribution gravitaire après passage en tube en U.

Débit effectif	35 m ³ /h
Puissance absorbée	2.9 KW
Hauteur géométrique	4.5 m (DN 50)
P/D	0.083 KWh/m ³ maxi

Note : En situation de distribution d'eau filtrée sur filtre à sable, le débit tombe à environ 20-25 m³/h /pompe, le rapport P/D peut alors croître à 0.15 KWh/m³.

Dans tous les cas, le coût de l'eau distribuée doit être chiffré par addition des pompages primaire (\$ 2.1.) et secondaire.

Le cas de l'eau échangée n'a pas été étudié dans le détail car il a été montré que cette eau ne présentait pas d'intérêt pour les filières d'élevage étudiée à AQUALIVE. Son coût énergétique est très élevé car il faut cumuler au minimum,

- le coût énergétique de l'eau de forage (pompage primaire)
- celui de l'eau de mer (primaire et secondaire) affecté d'un effort supplémentaire lié aux pertes de charge dans l'échangeur. Le P/D ressort alors au minimum à 0.25 KWh/m³.

2.3. INTENSIF (pompage primaire)

Il permet le remplissage de deux réserves qui alimentent par gravité les bassins d'élevage intensif. Il est équipé de 2 pompes à hélice GUINARD (E1600 H300-03), Moteur 15 KW. Deux configurations sont étudiées, aux extrêmes de marée permettant le pompage. (coeff.65)

Débit effectif	800-850	870-930	m ³ /h
Puissance absorbée	13.5	11.4	KW
H.Géom.	3.5	2.1	m
P/D	0.017	0.013	KWh/m ³

Cette eau est utilisable par gravité sans relevage supplémentaire.

3. RECAPITULATIF DU COUT ENERGETIQUE DU POMPAGE

Le tableau suivant reprend les éléments discutés ci-dessus. Afin de situer les rendements des différentes étapes de pompage, on a estimé la Hauteur Manométrique Totale et rapporté le coût énergétique calculé précédemment (P/D en KWh/m³) à la HMT., soit, dans le tableau la valeur A/B*1000.

On remarque que les meilleurs rendements sont obtenus avec les

pompes de l'eau de mer "intensif". Toutes les petites pompes de reprise fournissent des rendements médiocres car elles sont choisies selon les critères de robustesse, de tenue à l'eau de mer, et de rapport qualité/prix et non sur le critère de rendement.

TABLEAU RECAPITULATIF DES COÛTS ENERGETIQUES ET DU RENDEMENT DES INSTALLATIONS DE POMPAGE DE AQUALIVE/IFREMER NOIRMOUTIER.

		(A)	(B)	A/B*1000
	TYPE	P/D	H.MANO.T.	

EAU DE MER				
1	SEMI INTENSIF	0.013	1.6	8.1
2	INTENSIF	0.017	3.5	4.9
2bis	INTENSIF	0.013	2.1	6.2
3	NURSERIE (sec)	0.083	nd	
4	NURSERIE (1+3)	0.096	nd	
5	ECHANGEE	0.25		
EAU DE FORAGE				
6	F2 (prim) 15% rec.	0.092	≈7m	13.1
7	F2 (sec) grav.	0.078	≈3m	26
8	F2 (sec) (6+7)	0.17		
9	F2 (tert) biof.	0.081	≈4m	
10	F2 (tert) (9+6)	0.163		20
11	F4 35 m ³ /h	0.074	≈5m	14.8
12	F4 70 m ³ /h	0.077	≈6m	12.8

(A) : P/D : Coût énergétique du mètre cube utile, en KWh/m³

(B) : H.MANO.T. : Hauteur manométrique totale de refoulement, en mètres.

(A/B*1000) : Coût énergétique relatif du mètre cube utile, en KWh*1000 /m³/mètre de hauteur manométrique au refoulement.

Pour calculer le coût du m³ utile en Francs français, il faut utiliser d'une part P/D, d'autre part le coût du KWh au tarif et à la période considérée.

II. NOTIONS DE COUT EN FONCTION DU CONTRAT DE LIVRAISON ELECTRIQUE.

Dans les installations aquacoles sensibles, l'acquisition d'un groupe électrogène de secours est une obligation. Cet investissement "sécurité" peut être mieux valorisé par la souscription d'un contrat de livraison électrique de type EJP ("Effacement Jour de Pointe"). Le groupe peut alors s'amortir mieux par des baisses de prix sur l'électricité consommée en moyenne sur l'année.

Les tarifs sont à comparer après prise en compte des frais de fonctionnement du groupe pendant les 22 jours d'EJP par saison et de la demande saisonnière en électricité de chaque installation .

1. Tarif jaune Utilisateur Moyenne Tension.

L'Hiver dure 5 mois, les Heures Creuses représentent 8 h/24.

Prix au KWh : (centimes)

Hiver	Heure Creuse	38.50
	Heure Pleine	88.58
Eté	Heure Creuse	9.98
	Heure Pleine	17.92

Prime fixe pour une Puissance réduite de 120 KVA :
environ 14000 F/an

Divers entretien, taxes,.. :
environ 2500 F/an

Ainsi un appareil qui fonctionne 24 h/24 , 365 jours par an, (par exemple une pompe ou un aérateur/surpresseur) coûte, pour sa consommation électrique et pour une incidence des frais fixes de 0.08 F/KWh consommé (valeur observée d'après les consommations d'AQUALIVE en 1986-87) :

0.465 F/KWh

A titre indicatif, la station a consommé 176.795 KWh de Novembre 1986 à Octobre 1987 inclus (cf.annexe) avec un contrat de ce type et le prix de revient moyen (H.T.) du KWh a été de :

0.5115 F/KWh

soit de 10 % supérieur au prix moyen théorique. Ceci s'explique par la consommation importante en hiver et une puissance moyenne consommée très inférieure à la puissance souscrite (25 KVA/120 KVA). Ce dernier point est difficile à régler car les pics de demande sont élevés (mise en route à la marée).

2. Tarif jaune Effacement Jour de Pointe.

L'Hiver dure 5 mois, la période d'effacement dure au maximum 22 jours/an, pendant l'Hiver tarifaire, et de 7 h. le matin à 1 h le lendemain matin. Ceci nécessite un groupe à mise en route automatique. Pour le reste des heures d'hiver, il est appliqué un tarif unique.

Les heures d'été sont réparties en heures pleines (16/24) et heures creuses (8/24).

Prix au KWh (centimes) :

Heures Hiver		31.18
Heures été	pleines	16.14
	creuses	09.57
Heures de pointe mobile		239.32

Ces dernières s'appliquent en cas de défaut de groupe pendant les périodes de pointe.

En principe une pénalité supplémentaire, destinée à pénaliser l'appel de puissance en période de puissance souscrite nulle serait appliquée à chaque KWh consommé hors contrat. Cette pénalité est actuellement de 5.75 F H.T./KWh sur les contrats VERTS ce qui n'incite pas à user du recours à EDF pendant les heures de pointe mobile. Cette pénalité n'est pas appliquée en 1988 sur les contrats JAUNES EJP, mais pourrait l'être en 1989.

Pour la même puissance souscrite en période normale (120 KVA) la prime fixe annuelle est de

14931 F/an

et les frais et taxes divers à

2500 F/an

Hors période de pointe, le prix moyen au KWh consommé sur abonnement EDF et pour un appareil à fonctionnement continu ressort à 0.2055 F/KWh auxquels il faut rajouter l'incidence de la prime fixe et des frais divers, soit environ 0.1 F/KWh, soit :

0.3055 F/KWh

L'économie par rapport au tarif précédent peut atteindre 16 centimes par KWh.

Sur la consommation 1986/87 étudiée précédemment, la facture EDF eut été réduite de 90425 F à 53159 F hors frais de groupe. Le KWh consommé sur EDF serait revenu à :

0.3164 F/KWh.

Si l'on considère que le groupe a fonctionné 22 jours à raison de 24 h/jour (et non 16 h. comme le contrat le permet) les frais de fuel se sont montés à 16236 F (15 l/h à 2.05 F/l). Deux vidanges et changements de filtre sont nécessaires par saison, soit 3000 F/an en prestations extérieures ou 900 F d'huile et pièces en prestations internes (plus 2*2 heures).

Au plus les frais de groupe liés au contrat EJP se sont montés à 20000 F. De ce fait la facture énergétique totale se serait élevée à 73159 F pour l'année contre 90425 F avec l'ancien contrat.

On remarquera que, si le contrat EJP avait été souscrit et que le groupe n'avait pas été utilisé du tout, les KWh consommés pendant les 396

heures d'EJP auraient été facturés à 2.3932 F/KWh. Selon la consommation moyenne de 86/87, cela aurait représenté 20981 F. On voit que l'économie réelle représentée par la mise en route du groupe est mince. Il faudrait, pour la rendre plus attrayante, limiter les heures de fonctionnement du groupe à celles réellement exigées par le contrat (ce qui réduirait les frais de groupe d'un tiers mais n'est envisageable qu'avec une commande de groupe automatique.) ou ne pas se brancher sur le groupe et réduire les puissances consommées pendant les jours de pointe. CETTE DERNIERE HYPOTHESE N'EST VALIDE QUE TANT QUE LES PENALITES SUPPLEMENTAIRES NE SONT PAS FACTUREES (voir remarque précédente).

Le contrat EJP présente cependant un net avantage. Il impose d'avoir un groupe parfaitement entretenu dont les pannes éventuelles sont mal supportées par le contrat EJP. Elles ne sont pas tolérées par les élevages de toutes les façons.

Le ticket d'accès au contrat est cependant relativement élevé (48000 F) mais peut se récupérer aisément (2.5 années).

Il faut noter enfin que l'année étudiée pour AQUALIVE met en évidence des variations d'utilisation très fortes d'un mois sur l'autre (1 à 5) ce qui n'est favorable ni pour un contrat ni pour l'autre, et un pic de consommation en hiver ce qui favorise plutôt le contrat EJP.

Plus la consommation d'hiver est élevée (chauffage des eaux et des locaux, utilisation des forages en continu...) et plus le contrat EJP dégage d'intérêts.

En conclusion on peut donner les valeurs moyennes suivantes, en Francs, pour le KWh, frais fixes compris, hors TVA, dans le cadre du tarif jaune EJP.

Hiver	pointe mobile (groupe)	2.00-2.30	
	pointe mobile (EDF)	2.39	
	hors pointe mobile	0.41	
	moyenne pondérée		0.60
Eté	heures pleines	0.26	
	heures creuses	0.195	
	moyenne pondérée		0.24
Année	moyenne pondérée		0.39

Ces valeurs peuvent être utilisées avec celles du tableau récapitulatif du coût énergétique des différents pompages pour en estimer le coût.(\$ 3.).

NOTE IMPORTANTE :

Ces chiffres sont valables pour une consommation annuelle de 177 000 KWh environ. Si la consommation venait à augmenter dans le cadre du même contrat, la part des frais fixes (0.08 à 0.1 F/KWh) pourrait diminuer. Par exemple une consommation totale de 250 000 KWh entraînerait une diminution globale de 0.025 F/KWh environ.

ANNEXE

CONSOMMATIONS ELECTRIQUES DE LA STATION AQUALIVE DE NOVEMBRE 1986
A OCTOBRE 1987 INCLUS :

Mois fixe	Σ KWh	FF HTVA	F/KWh	̄	Barême Hors prime
NOV 86	13750	10213.81	0.7428		H.C. 38.5 F/KWh
DEC 86	15535	12827.69	0.8257		H.P. 88.5 F/KWh
JAN 87	20465	16534.37	0.8079	0.8067	m.p. 71.8 F/KWh
FEV 87	24575	19491.80	0.7932		f.f. = ̄ - m.p.
MAR 87	5368	5222.27	0.9729		f.f. = 0.084 F/KWh
AVR 87	3126	2522.37	0.8069		
.....					
AVR 87	14172	3325.64	0.2347		
MAI 87	17504	4031.30	0.2303		H.C. 9.98
F/KWh					
JUI 87	14046	3524.21	0.2509		H.P. 17.92
F/KWh					
JUI 87	12006	3179.71	0.2648	0.2513	m.p. 15.27
F/KWh					
AOU 87	9450	2757.26	0.2918		f.f. 0.098
F/KWh					
SEP 87	15126	3666.06	0.2424		
OCT 87	114672	3128.88	0.2681		
.....					
TOTAUX	176795	90425		0.5115	m.p. 0.4076 f.f. = ̄ - m.p. f.f. = 0.1039

Σ KWh = KiloWatt-heure consommés dans le mois

FF HTVA = montant total de la facture EDF, Hors TVA

F/KWh = Francs par kilowatt heure consommé

̄ = moyenne pondérée pour une saison tarifaire

Barême Hors prime fixe = tarif EDF pour la consommation uniquement (hors TVA, abonnement, taxes d'entretien et divers).

m.p. = moyenne pondérée

f.f. = frais fixes, hors TVA. Ces frais correspondent à

l'abonnement et aux taxes et divers.

La consommation énergétique de 176795 KWh des douze mois étudiés se répartit à raison de 45 % en hiver tarifaire et 55 % en été.

Les frais fixes (f.f.) sont définis par comparaison entre le prix moyen payé, tous frais inclus sauf TVA, et le prix moyen facturé pour le KWh, hors TVA, abonnement, taxes d'entretien et divers. Ces frais sont d'autant plus faibles que la puissance appelée s'approche avec constance de la puissance souscrite. Pour AQUALIVE, on observe que les besoins mensuels varient dans un intervalle de 1 à 5 environ, ce qui n'est pas favorable.

ANNEXE 2

NOTE TECHNIQUE DL/1988-2

TRAITEMENT DE L'EAU SOUTERRAINE A AQUALIVE/IFREMER NOIRMOUTIER
PARTIE 1 : DEGAZAGE SUR COLONNE

MAI 1988

Dès les premiers travaux de HUSSENOT sur l'exploitation des eaux souterraines de Noirmoutier pour l'aquaculture (1980), était apparue la nécessité de réoxygéner ces eaux pour les rendre propres à l'élevage. Parmi les dispositifs testés (RUELLE 1983), la colonne de dégazage s'avérait d'un emploi facile et combinant plusieurs avantages. Les essais successifs ont abouti à la définition d'un standard adapté au traitement des eaux souterraines locales.

Du fait des variations de qualité existantes au sein de la nappe, et des objectifs de l'éleveur, des adaptations peuvent être apportées au modèle de base. L'objet de cette note est de présenter cette technique et les résultats obtenus en termes de qualité de l'eau. Les résultats obtenus en élevage sont discutés dans d'autres rapports et ne seront qu'abordés ici.

1. RAPPEL DES OBJECTIFS.

Apparus progressivement aux yeux des chercheurs, les objectifs du traitement des gaz dissous dans l'eau souterraine se hiérarchisent comme suit :

- a. Restaurer une concentration en oxygène dissous correcte.
- b. Rétablir la Pression des Gaz Totaux (PGT) à une valeur proche de l'équilibre (100 %) en éliminant la sursaturation de l'azote (120-130 %) en même temps que la désaturation de l'oxygène (10 à 30 %).
- c. Accessoirement, éliminer un excès de gaz carbonique libre (CO₂) et rectifier le pH. (Il n'est pas prouvé, mais probable, que ce facteur soit générateur de toxicité).

2. DESCRIPTION DU PROCEDE.

Les colonnes de dégazage ont déjà été décrites dans leur principe et des éléments de dimensionnement ont été donnés (HUSSENOT et LECLERCQ, IFREMER/SEFA R.T.1987-2). L'objectif est de présenter ici les deux modèles utilisés à Noirmoutier dans nos installations.

On rappelle que le rendement du dégazage (ou de la réoxygénation) est fonction de la hauteur de chute dans la colonne et peut être amélioré par une ventilation dynamique. Le coût du traitement sera éventuellement augmenté par une hauteur de relevage élevée.

La colonne devrait être prévue de telle sorte que l'utilisation gravitaire de l'eau soit possible à la sortie de celle-ci. Ainsi, la pompe d'extraction de l'eau de forage réalise toutes les fonctions d'extraction, traitement, distribution.

Cette situation est obtenue dans la zone semi-intensive de la station AQUALIVE. Dans la nurserie, ce n'est pas le cas car un traitement tertiaire était envisagé à l'origine.

La ventilation dynamique améliore le traitement mais n'est pas

une nécessité sur toutes les colonnes, en fonction du dimensionnement des événements, de l'usage et de la qualité du puits. Ainsi, la colonne du forage de la zone semi-intensive ne nécessite pas de ventilation dynamique du fait d'événements largement dimensionnés et d'une eau moins chargée en CO₂. La colonne du forage de la nurserie réalise un meilleur travail avec une ventilation dynamique (voir tableau 1) mais celle-ci ne présente pas une nécessité absolue.

Son coût énergétique est très modeste (2 Wh/m³/h d'eau traitée). Sur la colonne utilisée, la perte de charge pour l'air est de 5 cm de colonne d'eau et le débit d'air est de 2 m³/h par m³/h d'eau à traiter.

Le matériau de remplissage de la colonne doit présenter un bon indice de vide et développer une grande surface de contact air/eau. Ceci peut être obtenu à l'aide d'anneaux de plastique développés pour les traitements pétroliers ou pour les traitements d'épuration des eaux urbaines. Parmi ceux qui ont été testés, les LEVA PACK de chez TECHIM ont donné le plus de satisfaction. Le diamètre employé doit être inférieur ou égal au dixième de celui de la colonne. Dans l'application évoquée ici, l'utilisation d'anneaux de très petite taille ne modifie pas le rendement du dégazage/oxygénation mais peut améliorer l'effet de filtration biologique.

Deux dessins sont proposés page 4 et ont donné satisfaction. Les vitesses apparentes pratiquées dans notre application sont de 40 à 80 m/h (m³ d'eau par m² de section de colonne et par heure). Elles permettent la nitrification partielle si l'eau est chargée en ammoniacale, en plus du traitement des gaz dissous. Des vitesses supérieures sont possibles, notamment si la rectification de pH -élimination du CO₂ libre - à obtenir est faible. Pour la réoxygénation et le traitement de la sursaturation en azote, les vitesses jusqu'à 800 m/h sont possibles (voir LECLERCQ D. 1987, R.T. 1987-2).

3. EFFETS OBTENUS.

Le traitement des gaz dissous par l'utilisation de colonne repose sur des principes physiques. De ce fait les résultats obtenus avec une colonne sont très reproductibles dans le temps.

a. effets sur les gaz dissous.

La hauteur d'anneaux, appelée hauteur utile de la colonne, est déterminante. Dans notre application la hauteur utilisée est de 1.60 m. Elle permet d'obtenir les résultats minimum satisfaisants. Elle pourrait être augmentée sans risques.

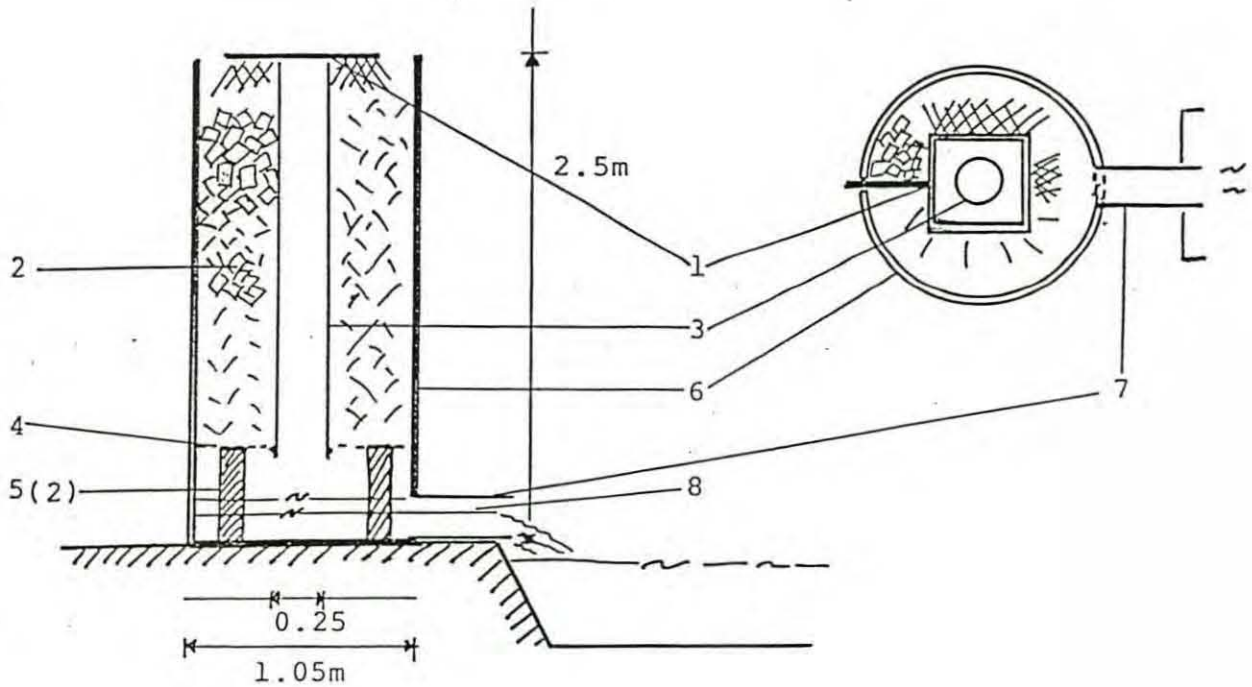
Le rendement est défini par :

$$R = \frac{\text{excès de gaz initial} - \text{excès de gaz final}}{\text{excès de gaz initial}}$$

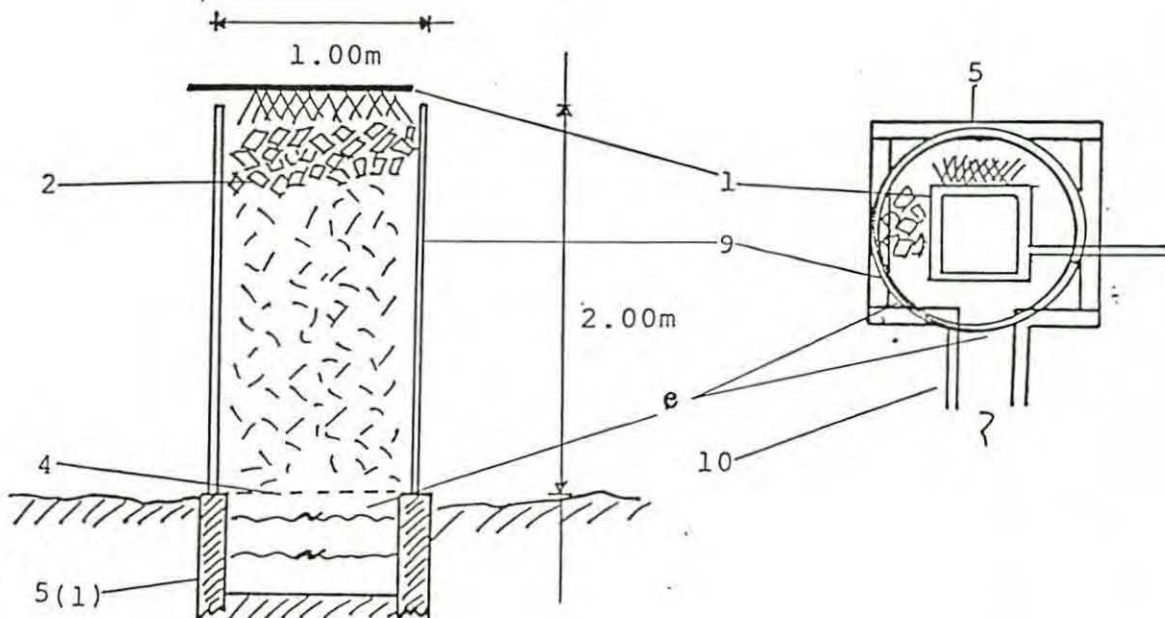
L'excès existe pour l'azote. Dans le cas de l'oxygène il s'agit d'un déficit mais la formule de rendement est la même.

COLONNE DE DEGAZAGE/AERATION

MODELE I



MODELE II



1. Rampe de diffusion PVC 63
 2. Anneaux LEVAPACK 1"
 3. Event PVC DN 250 mm
 4. Grille, 35 % de vide minimum
 5. Parpaings support (1) ou cuvelage (2)
 6. Cuve polyester stratifié avec fond et sortie DN 200 mm
 7. PVC DN 200 mm, sortie d'eau traitée
 8. fil d'eau à 35 et 70 m³/h
 - 9; Buses de puits avec joints enduits.
 10. Canalet ou buse, sortie d'eau traitée
- e : évent naturel de la colonne II, 0.1m minimum

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats obtenus avec trois modèles de colonne, dont l'un est étudié avec ou sans ventilation dynamique.

TABLEAU 1. RESULTATS OBTENUS SUR LE TRAITEMENT DE L'EAU SOUTERRAINE EN COLONNE DE DEGAZAGE. GAZ DISSOUS ET pH.

	oxygène %	azote %	CO2 (mg/l)	pH	PGT%
COLONNE NURSERIE					
sans ventilation dynamique, événements trop faibles :					
entrée	35	124	60	6.79	105.5
sortie	89.5	103.3	37.5	6.89	100.0
rendement	84	86	n.s.		n.s.
avec ventilation dynamique, événement inexistant.					
entrée	..	..	..	6.95	..
sortie	88.5	104.4	..	7.32	..
à événement intégral :					
entrée	..	..	56	6.7	..
sortie	93	..	31	7.2	100.5
COLONNE SEMI-INTENSIF (hauteur 3 m) événement intégral					
entrée	7	123.5	17.5	6.93	99.1
sortie	102	101.8	12.5	7.4	101.6
COLONNE SEMI-INTENSIF (hauteur 1.6 m) cheminée d'aération					
entrée	..	..	..	6.9	..
sortie	95.4	101.7	..	7.45	100.8

Les effets sur la température de l'eau sont nuls car le passage dans la colonne est très rapide.

Dans les situations exposées ci-dessus, et indépendamment d'autres facteurs de toxicité (ammoniacale, fer..), les teneurs en gaz dissous obtenues permettent l'élevage en eau de forage, que celle-ci soit utilisée pure (élevage intensif) ou en appoint (élevage semi-intensif).

b. Effets secondaires sur la nitrification de l'azote ammoniacal.

Il s'est avéré que les anneaux de bourrage de la colonne permettaient la fixation rapide d'une flore bactérienne nitrifiante, particulièrement lorsqu'il y a recirculation partielle de l'eau de forage dans le sol.

Dans notre situation, l'eau du sol contient environ 4 mg/l d'azote ammoniacal. Selon l'intensité du traitement du fer (recirculation dans le sol) la teneur en azote ammoniacal de l'eau qui arrive en tête de la colonne de dégazage/aération varie dans des proportions importantes.

Comme la nitrification est fonction entre autre de la surface développée par le support des bactéries, il est probable que des matériaux de remplissage puissent s'avérer meilleurs que les anneaux LEVA PACK sur ce point.

Un essai a été réalisé sur une colonne de petit diamètre (DN 200 mm) avec les anneaux LEVAPACK 5/8". Pour une hauteur de 1.6 m utile, les résultats obtenus en nitrification sont au moins aussi bons qu'avec les anneaux de 2" mais ne peuvent pas être qualifiés de meilleurs.

Cependant, dans la situation évoquée ici, les teneurs en ammoniacale obtenues après dégazage sont compatibles avec les élevages en Nurserie et il n'est pas paru nécessaire d'expérimenter plus avant dans ce sens.

Plusieurs situations sont donc décrites. Chacune est stable pendant plusieurs mois de fonctionnement continu, sans nettoyage particulier de la colonne. Un arrêt prolongé est préjudiciable à la survie de la flore bactérienne.

Les moyennes sont données. Les écarts types sur 6 mesures sont de l'ordre de 0.06 mg/l.

TABLEAU 2. NITRIFICATION DANS LES COLONNES DE DEGAZAGE
(valeurs en mg d'azote par litre)

type de colonne	AZOTE AMMONIACAL		AZOTE NITREUX	
	entrée	sortie	entrée	sortie
Nurserie levapack 2"	2.87	1.96	n.d.	n.d.
idem	2.71	1.76	0.13	0.78
idem	2.57	1.54	0.14	0.88
idem	1.75	1.24	0.02	0.04
idem	1.12	0.71	0.12	0.49
Nurserie levapack 5/8"	2.71	1.52	0.14	0.86

4. CONCLUSIONS

Pour toutes les utilisations de l'eau souterraine comme fluide d'élevage, le dégazage sur colonne est un moyen nécessaire, économique et sûr de réaliser l'équilibre des gaz dissous. Il participe en outre à un

éventuel traitement biologique de l'ammoniaque, à la condition sine qua non que l'utilisation de la colonne soit continue.

Pour l'équipement d'un forage de 60-70 m³/h, suffisant pour alimenter le tunnel d'hivernage d'un marais à poisson semi-intensif de 6 à 8000 m² lors de gelées hivernales marquées, une colonne en buses de puits de diamètre 0.8 m sur support maçonné avec son remplissage d'anneaux ne coûterait qu'environ 4000 F H.T. Ceci est à rapprocher de l'investissement d'aménagement d'un marais de cette superficie, soit environ 200 000 F H.T.

L'eau de forage ainsi traitée est même apte à soutenir des élevages intensifs ou de l'hivernage intensif de petits alevins, sous réserve d'une teneur en fer et en ammoniaque compatible avec ceux-ci.

BIBLIOGRAPHIE

- HUSSENOT J. ET D.LECLERCQ 1987 , La sursaturation des gaz dissous, un phénomène souvent mal connu en aquaculture. *AQUAREVUE* N°11 Février-Mars 1987 pp 27-31
"cet article contient une bibliographie plus étendue sur la sursaturation des gaz dissous".
- LECLERCQ D. 1987, Dimensionnement de colonnes à dégazer. Document IFREMER/SEFA Rapport technique 1987-2, 10 pp.
"ce document présente des résultats expérimentaux et des éléments de dimensionnement dans le contexte du chauffage de l'eau."
- RUELLE F. 1983, Aquaculture en eau salée souterraine. Le dégazage : effets sur le CO₂, pH, O₂ ; son intégration dans une chaîne de traitement . Rapport de Stage INTECHMER/IFREMER Noirmoutier, 45 pp.
"ce document présente les essais préliminaires du dégazage effectués à Noirmoutier."

ANNEXE 3

NOTE TECHNIQUE DL/ 1988-3

TRAITEMENT DE L'EAU SOUTERRAINE A AQUALIVE/IFREMER NOIRMOUTIER
PARTIE 2 : TRAITEMENT DU FER

JUIN 1988

Lors des premiers essais d'utilisation directe de l'eau de forage en élevage à Noirmoutier, sa teneur en fer a posé des problèmes d'exploitation.

La teneur en fer observée (0.3 mg/l, sous forme ferreuse) n'était pas toxique en soit, mais le traitement d'oxygénation préalable (voir Note Technique DL/1988-2) provoquait la précipitation des ions ferriques formés sous forme de fine boue de couleur rouille. Celle-ci est gênante pour les poissons car elle provoque un encombrement des lamelles branchiales . IL ne s'agit pas d'une toxicité liée à une concentration trop élevée mais d'une gêne physique pouvant provoquer l'asphyxie.

Dès lors deux approches étaient possibles :

- retarder la précipitation du fer
- la provoquer et éliminer le précipitat.

Cette dernière approche était retenue sur le site de Noirmoutier.

Des recherches sur les procédés de déferrisation des eaux potables étaient engagées et, puisque la filtration mécanique des précipités ferriques s'avérait coûteuse, le procédé VYREDOX fut appliqué. Sous le contrôle de HUSSENOT, FABERES en fit l'adaptation au site de Noirmoutier.

Le principe consiste à réinjecter dans le sol une partie du débit extrait du puits après l'avoir réoxygénée, dans trois ou quatre puits de réinjection situés à quelques mètres ou dizaines de mètres du puits principal.

La précipitation des ions ferriques a lieu dans le sol qui joue aussi le rôle de filtre mécanique. L'eau extraite voit sa teneur en fer baisser à moins de 0.1 mg/l dans notre application.

Le coût du traitement dépend du taux de réinjection dans le sol. Son efficacité dépend de la quantité d'oxygène effectivement réintroduite dans la nappe souterraine et disponible pour l'oxydation du fer. Elle dépend aussi du pH et de la température (DEGREMONT). Dans le mémento technique de l'eau DEGREMONT, un diagramme "potentiel-pH" est présenté. Il permet d'estimer l'état du fer dans une situation donnée.

On voit qu'un pH acide favorise le maintien en solution du fer ferreux dans la zone de potentiel négatif que l'on retrouve dans l'eau souterraine désoxygénée. On a vu dans la partie 1 (dégazage) que la nécessité de passage sur une colonne à dégazer modifiait le pH et, par l'oxygénation, modifie aussi le potentiel redox . Cependant les valeurs atteintes en eau de forage pure excèdent rarement 7.5 pour le pH. A cette valeur le fer précipiterait pour des concentrations résiduelles supérieures à 0.5 ppm.

Le déversement d'une eau de forage non déferrisée dans de l'eau de mer dont le pouvoir tampon est élevé, modifie de fait la situation de solubilité du fer. Les risques de précipitation sont donc plus élevés en eau de forage mélangée à l'eau de mer qu'en eau de forage pure.

La quantité d'oxygène à apporter pour oxyder le fer est donnée par la réaction chimique à :

0.14 mg/l d'oxygène pour 1 mg/l de fer.

On voit que des quantités modestes d'oxygène sont nécessaires, ce qui explique que des taux de réinjection dans le sol relativement faibles

puissent être pratiqués avec succès.

En pratique à AQUALIVE, le minimum testé sur une longue période est de 15 % avec une épuration suffisante du fer dans le sol. Il n'est pas prouvé que l'on ne puisse se satisfaire de moins. On a longtemps travaillé à 50 % car l'apport d'oxygène supplémentaire est alors employé par une flore bactérienne nitrifiante dans le sol et la teneur en ammoniacale de l'eau s'en trouve abaissée. Ceci n'est pas une nécessité absolue et la déferrisation est obtenue à 15 %.

En tout état de cause la teneur en fer est très variable d'un puits à l'autre et le traitement du fer n'est pas toujours une nécessité. Son évaluation est à faire au cas par cas. Enfin, d'après BRESSON (comm.pers.), hydrogéologue de Vendée, le fer trouverait son origine dans le bri et diffuserait par l'interface bri/calcaire gréseux. Il n'est pas impossible sur le plan géologique que l'exploitation continue d'un forage le "rince" de son fer.

On citera enfin les effets possibles de la flore bactérienne déferrisante dont la part dans les traitements est difficile à estimer mais probablement non nulle. L'utilisation de filtres biologiques pour la nitrification de l'eau de forage permet probablement d'affiner la déferrisation.

BIBLIOGRAPHIE

DESCROIX P., 1978. La méthode vyredox pour l'enlèvement du fer et du manganèse des eaux souterraines.

DEGREMONT 1978. Memento technique de l'eau . Ed DEGEMONT
"on trouvera dans les pages 624 à 636 des éléments complémentaires sur la déferrisation des eaux potables."

FABERES D., 1983. Contribution à l'épuration d'une eau salée souterraine à des fins aquacoles. non publié.
"disponible à AQUALIVE/IFREMER NOIRMOUTIER pour lecture sur place".

BRUN J., 1986. Suivi des paramètres physicochimiques de l'eau souterraine à la station de pompage du SMAM sur la commune de l'EPINE. Rapport de stage.

"voir aussi dans la bibliographie générale EAU SOUTERRAINE les rapports édités par la Direction Départementale de l'Agriculture."

ANNEXE 4

NOTE TECHNIQUE DL/1988-4

TRAITEMENT DES EAUX DE FORAGE
Partie 3 : NITRIFICATION EN FILTRE BIOLOGIQUE

JUIN 1988

1. INTRODUCTION

On rappelle que l'exploitation des eaux souterraines salées nécessite un traitement de dégazage/réoxygénation et éventuellement une déferrisation qui est pratiquée dans le sol.

Ces traitements sont décrits dans les notes techniques DL/1988- 2 et 3. Ils permettent une nitrification partielle des effluents aussi bien dans la colonne de dégazage que lors du traitement du fer dans la nappe. Les résultats obtenus dans le cadre de ces traitements sont présentés dans les notes ci-dessus référencées.

Dans cette troisième partie on décrira les résultats du traitement spécifique de l'ammoniaque en filtre biologique obtenus en routine sur l'eau de forage d'AQUALIVE.

Indépendamment des très bons résultats enregistrés, on est en droit de discuter de l'intérêt d'un tel traitement pour les filières d'élevage étudiées à Noirmoutier, puisque les différents travaux zootechniques ont montré que les espèces élevées supportaient très bien l'eau de forage à son stade de traitement précédent, même si sa teneur en ammoniaque reste apparemment élevée. Ceci s'explique par le fait qu'une teneur élevée en ammoniaque total, par exemple 2.5 mg/l, rencontrée dans l'eau de forage, s'accompagne d'un pH faible, de l'ordre de 7.2 après dégazage, ce qui génère une teneur faible en ammoniac non ionisé, forme toxique. Dans le cas cité, la teneur en ammoniac non ionisé à 14°C serait de 0.0075 mg/l, ce qui est très faible. (à titre comparatif, la même teneur en ammoniaque total, à pH 8.3 et 20°C aurait donné une teneur en ammoniac non ionisé de 0.14 mg/l, soit 20 fois plus élevée.).

L'utilisation du filtre biologique mis au point pour le traitement spécifique de l'eau de forage utilisée en circuit ouvert, qui fut l'objectif initial de ce travail, est donc remise en cause. Cependant les processus étudiés ont permis de progresser dans la gestion des installations en circuit recyclé et les résultats évoqués dans cette note peuvent servir de base à l'élaboration de routines d'entretien ou de préparation à l'eau de forage de filtres biologiques utilisés en circuit recyclé.

Le rapport de H.PALVADEAU assure une description plus complète du procédé utilisé et de la démarche expérimentale suivie dans l'élaboration du filtre. Nous ne présenterons ici que les résultats correspondant à une période de fonctionnement en routine, en mettant en évidence les éléments permettant le dimensionnement technique et économique du système.

2. RESULTATS

2.1. Conditions de travail du filtre.

Le filtre utilisé est un cylindre contenant 1.4 m³ de "BIOGROG" de granulométrie 1.2-1.4 mm (argile expansée de chez ARGILES ET MINERAUX 17). Il fonctionne en flux ascendant et possède deux réseaux d'aération indépendants. L'un de ces réseaux est du type fines bulles et sert à

l'entretien du taux d'oxygène dans la masse filtrante, l'autre est du type grosses bulles et peut servir de façon intermittente au lavage/brassage du matériau de filtration. Le schéma du filtre est donné page 4.

L'alimentation en eau de forage est assurée par une pompe de type LS SP 30 (ou SP 50) qui permet de travailler à un débit de 10 à 26 m³/h (éventuellement 30 à 32 m³/h). Ces débits sont limités par le choix des pompes mais il n'est pas prouvé que le filtre utilisé, dimensionné initialement pour 10 m³/h ne puisse pas absorber un débit plus important. On verra l'effet du débit sur le rendement de la nitrification dans un paragraphe suivant.

L'alimentation en air est fournie par deux réseaux ou un seul, à partir de surpresseurs d'air type SIEMENS ou FPZ. Les ordres de grandeur des débits et pressions de service pour cette application sont :

- entretien : environ 1/2 m³/h d'air pour 1 m³/h d'eau. 0.35 Bar
- lavage/brassage : 30 à 50 m³/h . 0.3 Bar

La fréquence des cycles de lavage peut être établie à une fois par semaine minimum, mais un lavage quotidien peut être pratiqué sans risque. Le cycle dure environ 1/4 d'heure.

La biomasse bactérienne produite et dont il faut éliminer l'excès prend l'aspect d'une glaire blanche à légèrement rouille selon la teneur résiduelle en fer.

L'oxydation d'un milligramme d'azote ammoniacal jusqu'au stade nitrate requiert l'apport de 4.25 mg d'oxygène. De ce fait, pour une teneur en oxygène de l'eau de forage proche de 7.5 mg/l et une teneur en azote ammoniacal de 2.5 mg/l, l'apport d'oxygène par l'aération dans le filtre biologique est indispensable pour maintenir dans l'ensemble du filtre une teneur en oxygène dissous permettant le métabolisme bactérien. De même un arrêt du réseau d'air d'entretien, même momentanément, entraîne une chute du taux d'oxygène dans le filtre qui altère son rendement et dont l'effluent peut être très désoxygéné (nous avons observé jusqu'à 0.5 mg/l). Dans ces conditions, il est souhaitable de disposer avant distribution de l'eau dans les élevages d'un système passif de réoxygénation de l'eau, par exemple des colonnes à dégazer.

2.2 Résultats d'épuration.

Il s'agit de la période de fonctionnement en routine de Novembre 1987 à Mars 1988. Les résultats analytiques ont été obtenus avec la procédure d'analyse définie spécifiquement pour les eaux de forage (Note Technique DL/1988-5).

On distinguera trois phases successives :

- une phase de démarrage,

Cette phase a duré environ 40 à 50 jours à la suite d'une javellisation du système de traitement d'eau (colonne de dégazage et biofiltre).

N-NH₄ entrée : baisse progressive due à la mise en place de la nitrification dans la colonne de dégazage, (de 2.4 à 1.55 mg/l).

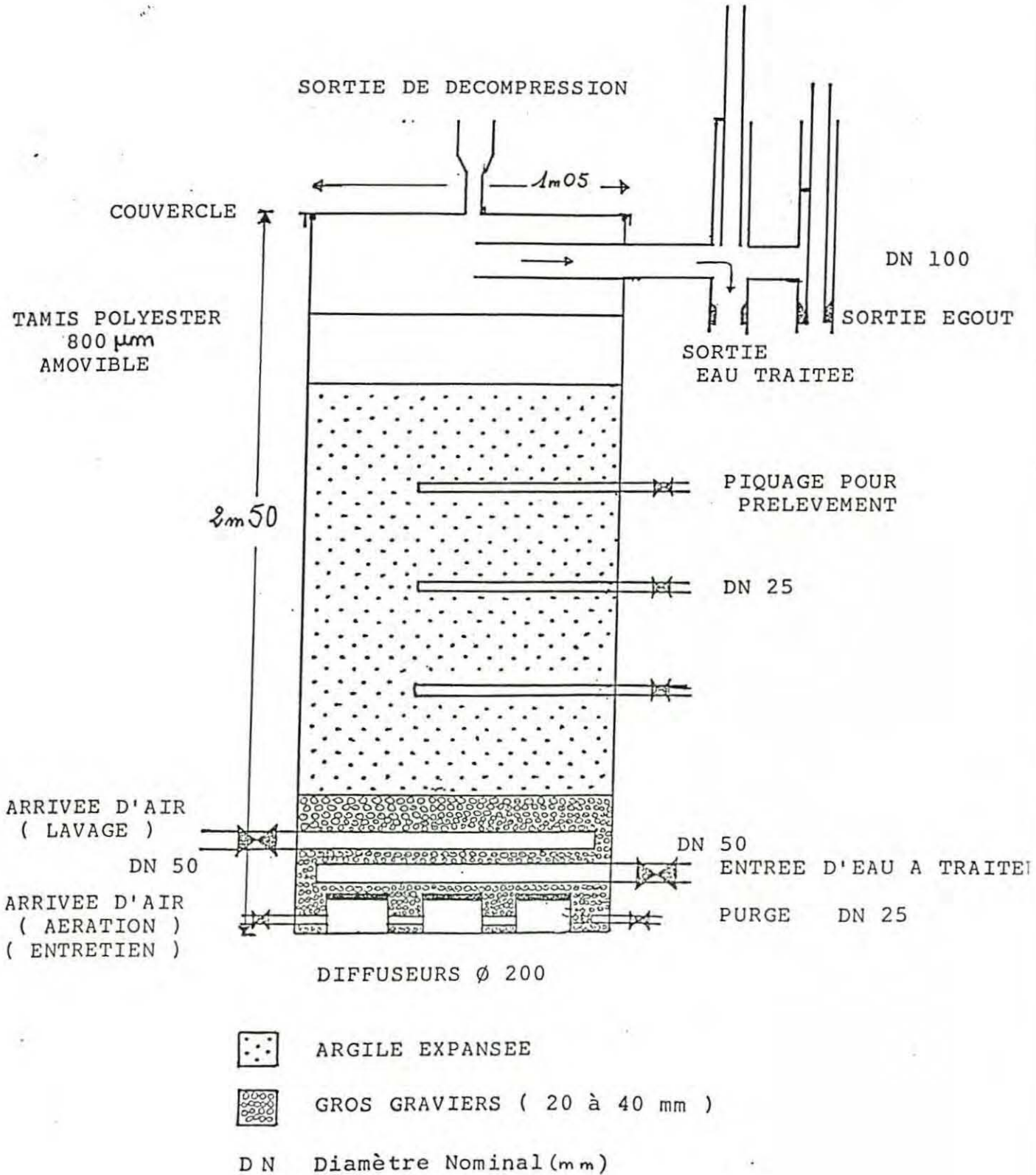
N-NH₄ sortie : baisse plus rapide et accroissement progressif du rendement, (de 2.4 à 0.5 mg/l).

N-NO₂ entrée et sortie : faible à nul.

SCHEMA DU FILTRE AQUALIVE

VERSION 86

FIGURE 5



- phase de stabilisation "1" .

La colonne et le filtre sont équilibrés et le recyclage/déferrisation dans le sol est de 50 % ce qui permet une nitrification préalable dans le sol (de 3.6 mg/l N-NH₄ à 2.2-2.4 mg/l N-NH₄). Le biofiltre travaille dans une gamme de concentration moyenne.

La moyenne, l'écart type, et le nombre de mesures effectuées sont donnés. La période a duré 50 jours environ.

	moyenne	σ	n
N-NH ₄ entrée	1.2 mg/l	0.12 mg/l	25
N-NH ₄ sortie	0.43	0.17	25
N-NO ₂ entrée	0.045	0.015	12
N-NO ₂ sortie	0.054	0.015	12

La quantité d'azote épurée peut s'exprimer par la différence entrée/sortie que multiplie le débit horaire circulant. Dans notre application le débit est de 23-26 m³/h, soit une capacité d'épuration moyenne pour le filtre de :

17 à 20 g d'azote par heure

Pour 1 m³ de substrat de filtration ("BIOGROG") la capacité d'épuration peut être estimée dans cette situation à

12 à 14 g d'azote par heure.

Le rendement, exprimé par :

quantité d'azote épuré/quantité d'azote initiale

s'établit à 64 % dans cette première phase.

- phase de stabilisation "2".

Le taux de recyclage dans le sol ayant été ramené de 50 à 15 %, le niveau d'azote de l'eau à traiter s'est élevé à tous les stades du traitement. Cette phase a duré 40 jours . On observe :

	moyenne	σ	n
N-NH ₄ entrée	1.7	0.2	5
N-NH ₄ sortie	0.6	0.3	5
N-NO ₂ entrée	0.7	n.d.	3
N-NO ₂ sortie	0.42	n.d.	3

La capacité d'épuration s'établit à

25 à 28 g d'azote par heure

Soit pour un m³ de "BIOGROG" :

18 à 20 g d'azote par m³ et par heure.

Le rendement s'établit à une valeur très proche de celui atteint en phase "1" soit, 63 %.

2.3. Discussion.

Des essais précédents à des débits plus faibles (10 m³/h) montrent que le rendement peut s'améliorer (valeur proche de 90 %). Cependant, à ces débits, la masse d'azote épurée en une heure diminue et le coût du traitement augmente.

Des daurades de 0.2 à 0.8g ont été hivernées pendant toute la période d'acquisition des données ci-dessus dans l'eau de forage biofiltrée.

A 14 °C leur croissance fut modeste mais non nulle, et conforme à ce que l'on pouvait attendre. Des mortalités ont été enregistrées du fait de l'agressivité spontanée qui caractérise les daurades de cette taille et de la durée inhabituelle de cette phase agressive liée à la faible croissance à cette température. Aucune mortalité imputable à la qualité de l'eau, même en phase de démarrage de la nitrification, n'a pu être identifiée. Cela confirme la bonne aptitude des juvéniles de poissons marins à supporter des teneurs élevées en azote ammoniacal total quand le pH de leur eau d'élevage est proche de la neutralité. Ces résultats zootechniques sont développés dans une autre Note Technique.(N.T. DL/1988-8).

On peut considérer que l'outil est opérationnel dans les conditions définies au paragraphe 2.1. et que des adaptations mineures du débit traité et des apports d'air peuvent être faits selon l'application souhaitée. Cependant comme il a été dit précédemment, l'utilisation de l'eau de forage dégazée et non biofiltrée s'avère possible pour les espèces sur lesquelles portent les travaux actuels. La température de l'eau de forage reste un facteur plus limitant que son degré de traitement en particulier de nitrification.

Dans ces conditions, le travail effectué jusqu'à présent sur la nitrification de l'eau de forage en biofiltre doit trouver son application dans la mise au point d'outil pour le traitement de l'eau en circuit recyclé thermorégulé. Cette orientation a été prise dès ce printemps et l'outil mis au point pour le traitement de l'eau de forage en circuit ouvert a permis de réaliser un cycle de prégrossissement à 19-21 °C en circuit recyclé où environ 25 % de la masse d'eau était renouvelée chaque jour avec de l'eau de forage et où le débit circulant était traité sur le biofiltre.

L'étude de la capacité d'épuration du réacteur et du rendement de l'épuration ne peut plus faire référence uniquement à l'ammoniaque car l'oxydation hétérotrophe des matières organiques (déchets) domine sur la nitrification. L'unité de mesure de l'efficacité sera le Kilogramme d'aliment distribué au système.

Les résultats de cet essai sont discutés dans le rapport de DENIGOT A. 1988.

Bibliographie

Denigot A., 1988. Prégrossissement de daurades royales en circuit fermé thermorégulé.

Palvadeau H., 1988. Traiter l'eau souterraine : une chance pour l'aquaculture. Etude de la nitrification en filtre biologique.

ANNEXE 5

NOTE TECHNIQUE DL/1988-5

MESURE DE L'AMMONIAQUE DANS LES EAUX
PARTICULARITES A PRENDRE EN COMPTE A LA STATION AQUALIVE
ET PRECAUTIONS D'USAGE

JUIN 1988

1. REACTIFS

On trouvera dans le Manuel des analyses chimiques en milieu marin (CNEXO 1983) toutes les directives concernant la préparation et la conservation des réactifs.

Le réactif 2 sera préparé par la variante suggérée dans la recette. Le donneur de chlore sera le DICHLORO ISOCYANURATE DE POTASSIUM à 5g/l (ou le DICHLORO ISOCYANURATE DE SODIUM à 4.63 g/l).

2. PROTOCOLE OPERATOIRE

Il faut savoir que la révélation de la couleur bleue de l'Indophénol est sensible à de nombreux paramètres d'environnement (salinité, température, lumière...) et que des pollutions des échantillons interviennent facilement (fumée de cigarette, odeurs d'étuve, verrerie plastique neuve -phénols-, verrerie en verre ordinaire...).

Dans le laboratoire vous disposez de deux méthodes:

- révélation à l'obscurité et à température ordinaire en fiole bouchée (6 heures minimum).

- révélation au bain-marie, par exemple 60 minutes à 50-60°C, à l'obscurité.

Quelle que soit la méthode retenue il est souhaitable de rapporter les mesures de Densité Optique à une courbe étalon effectuée DANS LES MEMES CONDITIONS.

Concernant la verrerie, on suggère d'utiliser la série de fioles jaugées un trait de contenance 50 ml. Elles peuvent servir à la fois de volume de dilution, si nécessaire, et de flacon de réaction, limitant ainsi les transvasements et pipettages divers. Elles doivent être RINCEES AVANT USAGE, soit avec l'eau à analyser s'il n'y a pas lieu de la diluer, soit à l'eau déminéralisée sur colonne.

Pour la méthode au bain-marie, après ajout des réactifs, on purgera chaque fiole du tiers de son contenu avant de la placer dans le bain-marie avec son bouchon soigneusement enfoncé

N'UTILISER A CET EFFET QUE DES FIOLES A COL ROUGE

La filtration des eaux brutes susceptibles de renfermer beaucoup de cellules vivantes et/ou de matière organique particulaire est un IMPERATIF si l'on veut obtenir un résultat fiable et reproductible. Ceci est réalisé très facilement à l'aide d'une seringue et d'un dispositif de filtration à membrane à usage unique (0.45µm).

3. NOTION D'INCERTITUDE SUR LA MESURE.

A titre d'exemple, quelques observations sur la reproductibilité de l'analyse :

- au seuil de 0.5 Unité de Densité Optique : +-2.5 %
- au seuil de 0.7 U.D.O. : +-5 à 8 %
- variation de lecture en fonction du tube (B&L 1/2")
0.005 Unité D.O., (soit 0.012mg/l)

4. CAS DES EAUX DE FORAGE ET DES DILUTIONS.

On a déjà fait observé les effets de la salinité sur la révélation du bleu d'indophénol. Cela signifie que l'analyse d'une eau de salinité donnée ne peut se référer qu'à une courbe étalon effectuée à même salinité, sauf à employer un coefficient de correction dont quelques exemples sont donnés dans le Manuel des analyses chimiques en milieu marin.

Cela signifie aussi qu'il ne faut pas se référer à une courbe étalon "eau de mer" ou "eau distillée" lorsque l'on effectue des analyses en eau plus ou moins diluée.

A titre d'exemple, l'écart de lecture obtenu à concentration identique entre de l'eau de mer et de l'eau déminéralisée peut atteindre 30 % de révélation en moins pour l'eau de mer.

Pour limiter le nombre des références, on s'efforcera de limiter le nombre de taux de dilution pratiqués couramment. On retiendra donc :

- dilution au dixième : référence eau déminéralisée.
- dilution au cinquième : référence sur eau diluée au cinquième.
- dilution au demi : référence sur eau diluée au demi.

Une alternative consiste à diluer l'eau de mer à analyser par de l'eau de mer appauvrie en ammoniacque. Celle-ci est obtenue par stockage prolongé d'eau de mer prélevée à une période d'appauvrissement minéral de l'eau en milieu naturel. Si elle contient encore des traces d'ammoniacque on peut en tenir compte par un facteur de correction :

$$\mu\text{M/l N-NH}_4 \text{ (A)} = \frac{\mu\text{M/l N-NH}_4 \text{ (D)} \cdot v_D - \mu\text{M/l N-NH}_4 \text{ (B)} \cdot v_B}{v_A}$$

où : A = eau à analyser et v_A = volume de A utilisé pour la dilution.

B = eau de dilution et v_B = volume de diluant utilisé.

D = eau diluée et v_D = volume d'échantillon dilué

bien entendu : ($v_D = v_A + v_B$)

Dans le cas des EAUX DE FORAGE, ces dispositions seront appliquées d'autant plus strictement que des inhibitions liées à la qualité physicochimique des eaux de forage ont été mises en évidence. Elles sont susceptibles de varier SELON LE FORAGE.

S'il s'agit :

- d'évaluer la teneur en ammoniacque d'une eau de forage nontraitée, il est difficile d'effectuer une courbe étalon avec cette eau pure puisqu'elle contient souvent trop d'ammoniacque à l'état brut. On réalisera alors l'analyse à la dilution 1/10 ou 1/20, et l'on se référera à la courbe étalon en eau distillée.

- d'évaluer un traitement primaire, secondaire ou tertiaire sur une eau de forage, qui aura modifié outre sa caractéristique ammoniacale, son pH, sa teneur en CO₂, en O₂, éventuellement en autre chose, on s'efforcera d'approcher la dilution optimale et de réaliser une courbe étalon A CETTE DILUTION par ajout de quantités connues d'ammoniacale et recalage du zéro. Cette remarque est aussi valable pour l'analyse de circuits fermés fonctionnels, chargés à l'eau de forage.

5. PROTOCOLE POUR REALISER UNE COURBE ETALON PAR AJOUT:

Préparer une solution mère à 0.661 gramme de sulfate d'ammoniacale P.A. ((NH₄)₂ SO₄) par litre d'eau fraîchement déminéralisée. Un millilitre de cette solution contient 10 microMoles d'ammoniacale.

Prendre dans une éprouvette à pied d'un litre aux graduations précises un litre de l'eau à analyser.

On va enrichir de façon récurrente cette eau avec la solution mère (S.M.). soit :

- ajouter 1 ml de S.M. au litre
 - mélanger
 - prélever 50 ml dans une fiole jaugée
 - ajuster le contenu de l'éprouvette à 0.9 l
 - ajouter .9 ml de S.M. au 0.9 l
 - mélanger
 - prélever 50 ml dans une fiole jaugée
 - ajuster le contenu de l'éprouvette à 0.8 l
 - ajouter 0.8ml....
 - etc... On a donc une série fioles contenant x, x+10, x+20, x+30µmole/litre
- Après analyse, ces points permettent de tracer une droite qu'il suffit d'ajuster sur l'origine des axes.

Cette droite de référence caractérise l'eau plus ou moins diluée utilisée pour effectuer la série.

Si l'eau de départ contient beaucoup d'ammoniacale il peut être nécessaire de diminuer les ajouts successifs de moitié.

6. EXPRESSION DES RESULTATS

Les courbes de références seront établies et tracées en exprimant la concentration en microMoles /litre (µM/l).

Par la suite il est souhaitable, particulièrement dans le suivi de systèmes de recyclage(*), d'exprimer les résultats en AZOTE AMMONIACAL, en milligramme/litre (mg/l). Ceci est obtenu en multipliant les micromoles par 0.014.

On l'écrit N-NH₄⁺ = mg/l L'expression en ammoniacale total est moins pratique lors des comparaison de teneurs aux différents stade de la nitrification. On l'écrit alors (NH₄⁺ + NH₃) = ... mg/l

Les correspondances suivantes sont obtenues :

$$N-NH_4^+ \mu M/l * 0.014 = N-NH_4^+ mg/l$$

$$N-NH_4^+ \mu M/l * 0.018 = NH_4^+ + NH_3 mg/l$$

Pour obtenir la fraction non ionisée de l'ammoniacale (réputée

toxique pour les poissons) il faut se référer à une table qui donne en fonction du pH et de la température le pourcentage de dissociation. Une combinaison des tables publiées par différents auteurs est donnée en annexe pour la gamme de pH et de température pratiquée à AQUALIVE.

(*) On suivra la même règle pour les NITRITES exprimés en N-NO₂ et non en NO₂ .

POURCENTAGE DE LA FORME NON-IONISEE DE L'AZOTE AMMONIACAL DANS L'EAU DE MER (S=32-42‰)
POUR DIFFERENTES VALEURS DE TEMPERATURE ET DE pH

T°C	pH									
	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	
5	0,0501	0,0631	0,0794	0,0999	0,126	0,158	0,196	0,251	0,315	
6	0,0537	0,0676	0,0850	0,107	0,135	0,170	0,213	0,268	0,338	
7	0,0589	0,0741	0,0932	0,117	0,148	0,186	0,234	0,294	0,370	
8	0,0631	0,0794	0,0999	0,126	0,158	0,199	0,251	0,315	0,397	
9	0,0676	0,0850	0,107	0,135	0,170	0,213	0,268	0,338	0,425	
10	0,0724	0,0911	0,115	0,144	0,182	0,229	0,288	0,361	0,455	
11	0,0794	0,0999	0,126	0,158	0,199	0,250	0,315	0,397	0,499	
12	0,0850	0,107	0,135	0,170	0,213	0,268	0,338	0,425	0,534	
13	0,0911	0,115	0,144	0,182	0,229	0,288	0,361	0,455	0,572	
14	0,0976	0,123	0,155	0,195	0,245	0,308	0,388	0,487	0,613	
15	0,107	0,135	0,170	0,213	0,268	0,338	0,425	0,534	0,672	
16	0,115	0,144	0,182	0,229	0,288	0,361	0,455	0,572	0,719	
17	0,123	0,155	0,195	0,245	0,308	0,388	0,487	0,613	0,770	
18	0,132	0,166	0,208	0,262	0,330	0,415	0,522	0,656	0,825	
19	0,144	0,182	0,229	0,288	0,361	0,455	0,572	0,719	0,904	
20	0,155	0,195	0,245	0,308	0,388	0,487	0,613	0,770	0,968	
21	0,166	0,208	0,262	0,330	0,415	0,522	0,656	0,825	1,04	
22	0,178	0,223	0,281	0,354	0,445	0,560	0,703	0,863	1,11	
23	0,195	0,245	0,308	0,361	0,455	0,572	0,719	0,906	1,22	
24	0,208	0,262	0,330	0,415	0,522	0,656	0,825	1,04	1,30	
25	0,223	0,281	0,354	0,445	0,560	0,703	0,863	1,11	1,39	

T°C	pH										
	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5
10	0,459	0,577	0,726	0,912	1,15	1,44	1,80	2,26	2,83	3,54	4,41
11	0,495	0,622	0,782	0,982	1,23	1,55	1,94	2,43	3,04	3,80	4,74
12	0,533	0,670	0,842	1,06	1,33	1,67	2,09	2,61	3,27	4,08	5,08
13	0,574	0,721	0,906	1,14	1,43	1,79	2,25	2,81	3,51	4,38	5,46
14	0,618	0,777	0,976	1,23	1,54	1,93	2,42	3,02	3,78	4,71	5,85
15	0,665	0,836	1,05	1,32	1,66	2,07	2,60	3,25	4,06	5,05	6,28
16	0,717	0,900	1,13	1,42	1,78	2,23	2,79	3,49	4,36	5,42	6,73
17	0,772	0,970	1,22	1,53	1,92	2,40	3,00	3,75	4,68	5,82	7,22
18	0,831	1,04	1,31	1,64	2,06	2,58	3,23	4,03	5,02	6,24	7,73
19	0,895	1,12	1,41	1,77	2,22	2,78	3,47	4,33	5,39	6,69	8,28
20	0,963	1,21	1,52	1,90	2,39	2,98	3,73	4,65	5,78	7,17	8,87
21	1,04	1,30	1,63	2,05	2,57	3,21	4,01	4,99	6,20	7,69	9,49
22	1,12	1,40	1,76	2,20	2,76	3,45	4,30	5,36	6,65	8,23	10,1
23	1,20	1,51	1,89	2,37	2,97	3,71	4,62	5,75	7,13	8,81	10,8
24	1,29	1,62	2,04	2,55	3,19	3,98	4,96	6,17	7,64	9,43	11,6
25	1,39	1,75	2,19	2,74	3,43	4,28	5,32	6,61	8,18	10,1	12,4

S = 35 ‰

t°C	pH					
	6,5	7	7,5	8	8,5	9
0	0,023	0,072	0,226	0,711	2,21	6,68
2	0,027	0,085	0,269	0,847	2,63	7,87
4	0,032	0,102	0,321	1,01	3,12	9,27
6	0,038	0,121	0,381	1,19	3,68	10,8
8	0,045	0,143	0,451	1,41	4,33	12,5
10	0,053	0,169	0,532	1,66	5,08	14,5
12	0,063	0,199	0,627	1,95	5,93	16,6
14	0,074	0,234	0,736	2,29	6,91	19,0
16	0,087	0,275	0,863	2,69	8,01	21,6
18	0,102	0,321	1,01	3,12	9,25	24,4
20	0,119	0,375	1,18	3,63	10,6	27,4
22	0,139	0,438	1,37	4,21	12,2	30,5
24	0,161	0,509	1,59	4,86	13,9	33,8
26	0,187	0,590	1,84	5,61	15,8	37,3
28	0,217	0,684	2,13	6,44	17,9	40,8
30	0,251	0,790	2,46	7,38	20,1	44,3

ANNEXE 6

NOTE TECHNIQUE DL/1988-6

EVALUATION ECONOMIQUE DU PREGROSSISSEMENT DE
TURBOTS EN EAU SOUTERRAINE SALEE : COUT DE L'EAU.

JUIN 1988

Suite aux travaux engagés sur l'exploitation des eaux de forage salées en nurserie de poisson à la station AQUALIVE /IFREMER de Noirmoutier, il est apparu que l'eau souterraine était susceptible de soutenir la croissance de turbots entre 20 et 400 g. Les éléments techniques des expérimentations mises en place sont disponibles dans le rapport d'étude de la qualité de l'eau et de l'aliment sur le grossissement du turbot (FERRAT D. 1986) réalisé à IFREMER/NOIRMOUTIER.

Nous en rappellerons les principes généraux :

- la croissance est meilleure pendant la phase hivernale (6 mois) en mélange d'eau souterraine traitée et d'eau de mer qu'en eau de mer pure. Ce dernier schéma est d'ailleurs impossible à développer car les risques de gel hivernal sont trop élevés. Il faut donc distinguer dans les résultats des expérimentations sus-citées, un schéma d'exploitation ponctuelle de l'eau souterraine et un schéma d'utilisation continue prolongée d'eau de mer et d'eau souterraine, plus favorable à la croissance.

- L'eau de mer réchauffée par passage sur échangeur avec de l'eau de forage n'apporte pas de plus value intéressante ni en survie ni en croissance par rapport à l'eau souterraine dégazée (traitement primaire du fer et traitement secondaire des gaz dissous, voir N.T. DL/1988-2 et -3). Son coût étant plus élevé, son usage ne sera pas préconisé en nurserie de turbot.

- La croissance et l'excellente survie obtenues sur le turbot avec l'eau de forage dégazée, même utilisée seule - ce qui fut le cas pendant quelques semaines - justifie que l'on s'attache à l'étude économique de son usage. Seul le coût de l'eau sera envisagé ici.

On considérera trois hypothèses :

- 1 - eau de mer + eau dégazée d'appoint
- 2 - eau de mer + eau dégazée continue (mélange)
- 3 - eau dégazée seule en continu

Les hypothèses 1 et 2 s'appuient sur les travaux cités précédemment, l'hypothèse 3 est une extrapolation de résultats très partiels obtenus dans les expériences citées, présentée ici comme élément de comparaison théorique.

1. Evaluation du volume d'eau nécessaire à la production d'un kilogramme de poisson.

Pour un cycle de prégrossissement hivernal de six mois (180 jours) à partir du poids de 20 g, on considèrera, au vu des expériences menées à Noirmoutier et à Gravelines (station IFREMER), les croissances suivantes :

	température moyenne °C	TCJ %/j	Poids final g.
- hypothèse 1 :	10	0.86	92
- hypothèse 2 :	11.5	0.92	104
- hypothèse 3 :	14	1.07	135

Pour cette phase et, par approximation, pour les trois hypothèses, le débit spécifique (besoin instantané en eau) est fixé à 0.035 m³/h/Kg ce qui permet de soutenir la croissance par le maintien d'un taux d'oxygène satisfaisant dans le milieu (BRINI 1984).

On calcule le débit moyen instantané, pour un stock de 1000 poissons au départ, et on l'intègre en fonction du temps. On le rapporte ensuite au kilogramme de gain de biomasse pour chaque hypothèse. La survie retenue est de 95 % quoique des survies meilleures aient été enregistrées au cours des expériences (de 93.5 à 99.3 %, 98 % en moyenne). On obtient, en m³/Kg de gain de biomasse :

- hypothèse 1 :	125.6	m ³ /Kg de gain de poids
- hypothèse 2 :	118.9	
- hypothèse 3 :	108.1	

La répartition en eau de mer et eau de forage s'établit comme suit :

	eau de mer	eau de forage
hypothèse 1	119.3	6.3
hypothèse 2	53.5	65.4
hypothèse 3	0	108.1

2. Evaluation du coût.

En reprenant les éléments de coût énoncés dans la Note technique AQUALIVE DL/1988-1, on peut estimer le coût énergétique équivalent à chaque hypothèse, soit, en KWh/Kg de gain de poids :

- hypothèse 1	12.03 KWh/Kg
- hypothèse 2	11.15 KWh/Kg
- hypothèse 3	9.95 KWh/Kg

On suppose que le cycle de prégrossissement s'effectue du premier Novembre au premier Mai. Ainsi, compte tenu de besoins en eau, donc en énergie, croissants avec le temps, on peut estimer que 70 % de l'énergie est dépensée en tarif Hiver et 30 % en tarif été. Sur cette base on peut estimer le coût de l'eau pour un Kg de gain de poids en francs pour

chaque hypothèse à :

- hypothèse 1	6.46 FF HTVA/ Kg
- hypothèse 2	5.98
- hypothèse 3	5.34

A titre de comparaison, un cycle comparable en durée sur un site utilisant une eau réchauffée industrielle pourrait avoir les caractéristiques suivantes (BLIOT 1986) :

- consommation en eau :	108 m ³ /Kg de gain de poids
- consommation énergétique	4.4 KWh/Kg de gain de poids
- coût	2.36 FF/Kg de gain de poids

3. Discussion.

Sur le simple plan énergétique, le prégrossissement hivernal de turbots apparait plus coûteux, quel que soit le type d'utilisation de l'eau de forage, à Noirmoutier qu'à Gravelines, par exemple.

Il est regrettable de constater que cela n'est pas dû aux performances zootechniques qui apparaissent correctes, mais aux performances énergétiques des pompes utilisées dans les deux systèmes. Les petites pompes utilisées à la station AQUALIVE pour le relevage tant de l'eau de forage destinée à la nurserie que l'eau de mer (voir N.T. DL/1988-1), présentent des rendements médiocres. Elles ne sont pas adaptées aux faibles relevages qui leur sont demandés. Le calcul en francs a été fait à tarif électrique identique (EJP Tarif Jaune, réf. IFREMER NOIRMOUTIER) mais des différences pourraient intervenir entre sites.

Si l'on pouvait employer des pompes conformes au relevage effectué, les systèmes seraient alors équivalents sur le plan énergétique.

Les investissements pour l'acheminement de l'eau aux bassins d'élevage ne sont pas pris en compte ici. Ils génèreraient d'autres différences entre les systèmes. L'objet de cette note est limité à l'appréciation critique de ce qui peut être entrepris à l'aide des eaux souterraines.

Il apparait ensuite que, grâce à de meilleures performances pendant l'hiver, l'usage de l'eau de forage devrait être intensifié pour optimiser le résultat zootechnique, tant sur le plan de la croissance que sur celui du coût énergétique. Il conviendrait donc de vérifier l'hypothèse trois, en soumettant des animaux à l'eau de forage seule pendant plus de 50 jours, maximum réalisé dans les expériences menées en 1986 (hypothèse deux).

4. Conclusion.

Globalement, les résultats zootechniques obtenus en nourricerie de turbot à l'aide de l'eau de forage sont très positifs. Il faut noter que l'utilisation l'été de l'eau de forage peut s'envisager pour cette espèce, pour tempérer les excès thermiques de l'eau de mer disponible dans les marais atlantiques.

Cela devrait améliorer aussi les performances zootechniques sur cette phase, notamment la survie.

Dans cette utilisation en nourricerie intensive de turbot toute l'année, les ressources en eau souterraine sont compatibles avec les besoins d'une installation en vraie grandeur.

Il faudra cependant soigner le choix des outils de relevage de l'eau de mer et de l'eau de forage pour ramener le coût énergétique de l'eau à des valeurs plus concurrentielles.

Bibliographie

Alderson, R. 1979. The effect of ammonia on the growth of juvenile dover sole, *Solea solea* (L.), and turbot, *Scophthalmus maximus* (L.). AQUACULTURE, 17 (1979) 291-309.

Eliot, C. 1986. Etude technique et économique des différents facteurs de production en élevage intensif de bar, daurade et turbot. MFE ISA LILLE/IFREMER GRAVELINES.

Brini, B. 1984. Contribution à la connaissance des conditions d'élevage et de l'alimentation des juvéniles de turbot. MFE INA TUNIS/IFREMER BREST.

Ferrat, D. 1986. Etude de la qualité de l'eau et de l'aliment sur le grossissement du turbot. MS IFREMER NOIRMOUTIER.

Leclercq, D. 1988. Notes techniques AQUALIVE 1988

- 1 Situation énergétique à AQUALIVE/IFREMER NOIRMOUTIER. Etude du pompage et de la fourniture en énergie. Mai 1988.
- 2 Traitement de l'eau souterraine à AQUALIVE/IFREMER NOIRMOUTIER, Partie 1 : Dégazage sur colonne. Mai 1988.
- 3 Traitement de l'eau souterraine à AQUALIVE/IFREMER NOIRMOUTIER, Partie 2 : traitement du fer. Juin 1988.

ANNEXE 7

NOTE TECHNIQUE DL/ 1988-7

EVALUATION TECHNIQUE DE L'HIVERNAGE INTENSIF DU BAR
A L'AIDE DE L'EAU SOUTERRAINE SALEE.

APPROCHE DU COUT DE L'EAU.

JUILLET 1988

Suite aux travaux engagés sur l'exploitation des eaux de forage salées en nurserie de poisson à la station AQUALIVE/IFREMER de Noirmoutier, il est apparu que l'eau souterraine était susceptible de permettre l'hivernage de bars juvéniles en conditions intensives.

Des essais ont été mis en place de 1986 à 1988 inclus afin de cerner les conditions zootecniques de réalisation de cet hivernage.

Il ressort des résultats de ces essais que :

- l'eau de forage dégazée permet une survie excellente du cheptel en conditions intensives (>98%), même en utilisation exclusive.

- la croissance des bars est nulle si l'eau de forage ne sert que d'appoint thermique.

- l'eau de mer réchauffée sur échangeur avec de l'eau de forage n'apporte pas de plus value intéressante ni en survie ni en croissance par rapport à l'eau souterraine dégazée (traitement primaire du fer et traitement secondaire des gaz dissous, voir N.T. DL/1988-2 et -3). Son coût étant plus élevé, son usage ne sera pas préconisé en hivernage de bars.

- en utilisation pure, et pendant toute la durée de l'hivernage (150 jours), l'eau souterraine semble permettre une croissance significative des animaux. Cependant l'analyse des résultats montre deux phases distinctes qui seront étudiées au paragraphe 2. Cette croissance reste modeste en regard de la durée de l'hivernage mais pourrait apporter un gain de temps suffisant pour améliorer les résultats de la deuxième année de grossissement semi-intensif. Des essais sont en cours pour le démontrer et leurs résultats seront disponibles fin 1988.

1. ANALYSE DES DIFFERENTS ESSAIS

a. eau de mer

Le tableau 1. présente les résultats obtenus lors des différents essais d'hivernage intensif du bar.

Les essais A et F montrent que l'utilisation d'eau souterraine comme seul appoint thermique amène à une température moyenne de 9.5°C ce qui est insuffisant pour obtenir une quelconque croissance, mais permet de maintenir sensiblement le poids initial et d'assurer une survie excellente au cheptel. Le redémarrage printannier, qui sort du champ de cette étude, est bon dans les deux cas.

Le coût alimentaire pour 150 jours est de 0.12 FFHT par animal de première année (1+) et de 0.5 FFHT par animal de deuxième année (2+). Le coût de l'eau en considérant environ 100 jours d'utilisation d'eau de forage, au quart des besoins des animaux, s'établit à 0.09 FFHT par animal 1+ et 0.30 FFHT par animal 2+.

TABLEAU 1. Essais d'hivernage intensif de bars. Résultats zootechniques.

Essais :	A	B	C	D	E	F
1.Pm i (g)	42.7	40.2	40.4	41.5	61.5	282
2.Pm f (g)	39.8	49.5	54.7	46.5	69.6	289
3.t°C	9.5	12.6	13.6	13.2	12.5	9.8
4.mini-maxi	4.5-15			6-14.2	12-13.4	4.5-15
5.durée (j)	138	138	138	85	171	166
6.TCJ %	<0	0.15	0.22	0.14	0.07	0.015
7.IN %	0.36	0.56	0.6	0.6	0.4	0.22
8.TCA	∞	3.7	2.7	4.4	5.8	15
9.Q Al/ind	20	34.4	38.7	22	47	105
10.idem/jour	0.15	0.25	0.28	0.26	0.27	0.63

LEGENDE

A,F : essais d'hivernage intensif en eau de mer et appoint eau de forage pour température minimum de survie.

B : essai d'hivernage intensif en eau de mer régulée thermiquement par échange de chaleur avec l'eau de forage.

C,D,E : essais d'hivernage intensif en eau de forage dégazée avec une phase d'adaptation progressive de l'eau de mer à l'eau de forage incluse.

1. et 2. poids moyen initial et final en grammes

3. et 4. températures en degré centigrade, moyenne, minimum et maximum.

5. durée de l'essai en jours. L'essai D paraît court par rapport à la durée de l'hiver car il a été interrompu accidentellement.

6. Taux de croissance spécifique journalière.

7. Taux de nourrissage moyen de la période.

8. Taux de conversion alimentaire (sec/frais) brut.

9. Quantité d'aliment distribué par individu et pour la durée de l'essai, en gramme.

10. Quantité moyenne d'aliment distribué par individu et par jour.

TABLEAU 2. Essais d'hivernage intensif en eau de forage dégazée.

Essais :	C1	C2	D1	D2
1.Pm i	40.4	39.7	41.5	41.7
2.Pm f	39.7	54.7	41.7	46.5
3.t°C	13.1	13.6	12.8	14
4.mini-maxi	7.3-14	12-14	6-14	13.5-14.5
5.durée (j)	76	64	56	29
6.TCJ %	<0	0.5	0	0.36
7.TN %	0.6	0.55	0.5	0.75
8.TCA	∞	1.09	∞	2.05
9.Q AL/ind	18.5	16.5	12	9.8
10.idem/jour	0.24	0.26	0.21	0.33
11. date charnière	9/02		15/01	

LEGENDE

L'essai C et l'essai D du tableau précédent sont décomposés en deux phases, selon les échantillonnages effectués.

On distingue une phase d'amaigrissement (1) et une phase de croissance (2).

Chaque colonne représente la moyenne des résultats obtenus sur deux lots de poissons soumis à l'essai. Ces moyennes sont représentatives du comportement des deux lots.

La date charnière correspond à l'échantillonnage intermédiaire entre phase 1 et 2, pour chaque essai.

1. à 10. : voir intitulés page 4.

Ces valeurs, on le verra au § 2, s'approchent des normes utilisées en hivernage semi-intensif. Ces deux modes d'hivernage sont donc comparables.

b. eau échangée

L'utilisation d'eau de mer échangée, illustrée par l'essai B, donne des résultats inférieurs à ceux obtenus en eau de forage dégazée. La perte thermique liée au rendement de l'échangeur induit un manque de croissance. Le taux de croissance est inférieur de 50 % pour seulement un degré d'écart en température, ce qui montre à quel point les températures de 12 à 14 °C représentent bien la limite de croissance et de non croissance de l'espèce.

Indépendamment des résultats zootechniques, le coût de l'eau échangée dépasse de beaucoup celui de l'eau dégazée et rend son usage inintéressant.

c. eau dégazée.

Les résultats des essais C, D, E, illustrent l'usage de l'eau dégazée. Les essais C et D ont eu lieu à l'intérieur d'un bâtiment ce qui a permis de bénéficier de températures moyennes très proches de celle de l'eau de forage. L'essai E a eu lieu à l'extérieur ce qui a occasionné des pertes thermiques faibles mais significatives (12.5°C contre 13.5°C).

Les résultats globaux montrent des croissances significatives des animaux et des taux de conversion bons à moyens. Afin de distinguer l'influence des phases d'adaptation à l'eau de forage, qui génèrent des températures faibles en début d'hivernage, on a décomposé les essais C et E, qui le permettaient, en deux phases. L'échantillonnage intermédiaire permet de présenter les données du tableau deux.

Pour les deux essais, la phase 1 comprend une période courte d'adaptation pendant laquelle l'utilisation de l'eau de mer et de l'eau de forage en mélange génère des températures faibles (6 à 8°C pendant 10-15 jours). Ensuite l'utilisation exclusive d'eau de forage permet de remonter la température moyenne de la phase à 13°C environ.

La phase 2 se déroule exclusivement en eau de forage.

Le comportement des animaux dans ces deux essais est très similaire et, pour chaque essai, deux lots ont donné des résultats parallèles. On observe une phase de décroissance ou de stagnation du poids, pendant laquelle l'aliment distribué ne génère pas de croissance. Dans les deux essais la date comparable de l'échantillonnage laisse penser que cette période de l'année induit un changement de comportement "biologique" de l'espèce. Cependant, le protocole utilisé ne permet pas vraiment d'accréditer une hypothèse unique. En effet, on peut aussi supposer que la courte période d'adaptation et de température basse induit un amaigrissement plus marqué qui se trouverait déjà compensé par une croissance significative avant le 15/01.

On observe ensuite une phase de croissance active pendant laquelle l'aliment est correctement transformé. Pourtant ni le nourrissage, ni la température ne semblent radicalement différents.

Il serait intéressant à l'avenir de mettre en place un protocole

d'expérimentation qui permette de disposer de points d'échantillonnage plus rapprochés et plus précis, notamment en Novembre et Décembre. On dispose maintenant de techniques d'anesthésie qui permettent de le faire sans crainte. De même, il faudrait essayer d'éliminer la période d'adaptation et de température faible en passant un lot d'animaux plus tôt en eau de forage seule, à 14°C.

Ces précisions ne modifieront pas les résultats déjà obtenus, mais faciliteront leur compréhension.

Le coût de l'aliment est de 0.20 FFHT par animal (1+) mais trouve sa compensation dans le gain de croissance, soit, pour un kilogramme de gain de poids, environ 20 FFHT. On note que ce coût pourrait se réduire si la phase 1 était mise à profit pour réduire la quantité d'aliment distribué non transformé.

La quantité d'eau nécessaire peut être estimée à 7 m³ par animal (1+) hiverné et à 480 m³ par kilogramme de gain de poids pour des animaux (1+). Compte tenu des éléments de coût discutés dans la note technique AQUALIVE DL/1988-1., cela donne :

0.32 FFHT /animal (1+) hiverné

22.5 FFHT/ Kg gagné.

Cela apparaît raisonnable sur le plan technique comparé à ce qui est obtenu sur d'autres sites, mais onéreux compte tenu de la performance énergétique médiocre des pompes affectées au pompage de l'eau souterraine à AQUALIVE. Par exemple sur le site de Gravelines, d'après BLIOT 1986, on peut estimer pour la phase d'hivernage (1+) à 17 m³ et 0.30 FFHT le coût par individu et 480 m³ et 8.55 FFHT le coût par Kg de gain de poids.

2. NOTICE DE CALCUL, pour trois hypothèses d'hivernage intensif sur eau de forage et comparaison avec l'hivernage semi-intensif.

L'hivernage est fixé à 150 jours, du 15/11 au 15/4. La période tarifaire EDF qui recouvre cette période est "l'hiver". Le prix du KWh est fixé à la valeur moyenne de 0.6 FFHT (voir N.T. AQUALIVE DL/1988-1).

Les besoins en eau sont fixés d'après les normes de débit spécifique pratiquées en élevage à 14°C, et d'après le stock moyen sur la période.

Pour les élevages semi-intensifs, (hypothèse D et E), le calcul s'appuie sur les éléments suivants :

- Renouvellement en eau de mer : 30 %/jour du volume d'élevage.
- Débit d'eau de forage : 150 m³/h/ha pendant 21 Jours.
- Densité d'élevage : 5 individus/m².
- Le gain de poids des animaux n'est pas significatif.
- La nourriture distribuée correspond aux résultats d'essais menés à AQUALIVE en 1987-88, mais est susceptible d'évoluer à la baisse dans le futur.

Dans les résultats du tableau 3, on voit que la comparaison, limitée aux frais de fonctionnement eau/aliment, apparaît à l'avantage du système semi-intensif.

Pour des animaux 2+ (150 g et +) le gain de poids obtenu en filière intensive changera peu la date de commercialisation finale des animaux ni la proportion des animaux vendus. De ce fait la solution de

l'hivernage semi-intensif s'avère plus avantageuse.

Pour de petits animaux 1+ (40 à 80 g.) l'hivernage intensif, moyennant l'utilisation exclusive de l'eau de forage pendant 5 mois, sous abri, permet de gagner quelques grammes par individu à un coût acceptable. Ce gain de poids peut permettre de faire l'économie de l'hivernage 2+ grâce à une commercialisation plus précoce, totale ou partielle, du cheptel. Des expérimentations sont en cours dans ce sens. Si cette hypothèse est confirmée, l'hivernage intensif de petits animaux 1+ en eau de forage trouvera là sa justification économique.

3. DISCUSSION.

Le bar est une espèce pour laquelle les températures de l'eau de forage du littoral Vendéen sont trop faibles pour assurer une véritable croissance en système intensif, et la valorisation des investissements qu'il nécessite.

Le coût de l'eau dans l'option "survie" (eau souterraine en appoint thermique, voir \$ 1.a.) sera plus élevé que dans un hivernage en bassin de terre.

Le coût de l'eau dans l'option "croissance" (eau souterraine seule et en continu, voir \$ 1.c.) sera élevé en regard du gain de poids obtenu et en comparaison d'autres systèmes d'élevage, essentiellement par la performance médiocre du système de pompage utilisé qui pourrait s'améliorer.

Cependant, en termes techniques, le système étudié peut soutenir la comparaison avec l'hivernage sur d'autres sites.

Il faudrait l'étudier dans le cadre d'une filière intensive complète pour laquelle les investissements sont valorisés par la phase de croissance estivale. Dans le cadre d'une filière semi-intensive, l'hivernage intensif sur eau de forage est possible, mais sa rentabilité propre est douteuse.

L'intérêt de la nurserie intensive de bars dans la filière d'élevage du littoral atlantique ne pourra se justifier que si des croissances significatives sont obtenues en circuit thermorégulé et avec recyclage de l'eau. L'eau de forage, grâce à sa température de "bonne survie", supérieure à celle de l'eau de mer, peut servir de base au fonctionnement de ce circuit fermé pour assurer tous les appoints, renouvellements, lavages, rechargements, etc.. Ces principes ont été mis en oeuvre dès 1988 par AQUALIVE avec succès, et feront l'objet d'autres mises au point.

TABLEAU 3 Comparaison des coûts de fonctionnement (eau & aliment), en hivernage de bars. Système intensif/eau de forage (Hyp. A,B,C) et semi-intensif/eaux de mer et de forage (Hyp. D & E).

HYPOTHESE	A	B	C	D	E
1.Pm i	40	80	160	60	150
2.Pm f	54	100	185	62	155
3.t°C	14	14	14	7-9	7-9
4.mini-maxi	.....13-14.5.....			..3-15.5...	
5.durée	.....150 jours.....				
6.TCJ %	0.2	0.15	0.1	n.s.	n.s.
.....ALIMENT.....					
7.TN %	0.4	0.44	0.39	0.24	0.2
8.TCA	2	3	4	n.s.	n.s.
9.Q Al/ind	28	60	100	22.4	45.8
10.FFHT/ind	0.14	0.30	0.51	0.11	0.23
11.FFHT/Kg gain de poids	10	15.2	20.3	∞	∞
.....EAU.....					
12.Débit Spécifique	0.04	0.036	0.030	n.s.	n.s.
13.V. EDM/ind	0	0	0	7.7	7.7
14.V. EDF/ind	6.8	11.7	18.7	1.5	1.5
15.FFHT/ind	0.31	0.54	0.85	0.13	0.13
16.FFHT/Kg gain de poids	22.5	26.9	34.4	∞	∞
.....RECAPITULATIF.....					
17.FFHT/ind eau + aliment	0.45	0.84	1.36	0.24	0.36
18.FFHT/Kg gain de poids	32.5	42.1	54.7	∞	∞

Légende :

1 à 9 : voir page 3.

- 10 : Coût de l'aliment dans l'hivernage d'un individu
- 11 : Coût de l'aliment par Kg de poisson produit.
- 12 : débit spécifique en m³/h/Kg
- 13 : Volume d'eau de mer utilisé pour l'hivernage.
- 14 : Volume d'eau de forage utilisé pour l'hivernage.
- 15 : Coût de l'eau dans l'hivernage d'un individu.
- 16 : Coût de l'eau par Kg de poisson produit.
- 17 : Coût eau + aliment, par individu.
- 18 : Coût eau +aliment, par Kg de poisson produit.

ANNEXE 8

NOTE TECHNIQUE DL/ 1988-8

EVALUATION TECHNIQUE DE L'HIVERNAGE INTENSIF DE LA
DAURADE A L'AIDE DE L'EAU SOUTERRAINE SALEE.

JUILLET 1988

Suite aux travaux engagés sur l'exploitation des eaux de forage salées en nurserie de poisson à la station AQUALIVE/IFREMER de Noirmoutier, il est apparu que l'eau souterraine était susceptible de permettre l'hivernage de daurades juvéniles en conditions intensives.

Des essais ont été mis en place en 1988 afin de cerner les conditions zootechniques de réalisation de cet hivernage. Les animaux disponibles étaient issus d'élevages larvaires extensifs tardifs, exceptionnellement petits au début de l'essai.

Il ressort des résultats de ces essais que :

- l'eau de forage dégazée permet une survie correcte du cheptel en conditions intensives, même en utilisation exclusive. Cependant la petite taille initiale des animaux a induit des pertes liées à l'agressivité des daurades entre le sevrage et le poids approximatif de 3 g. Celle-ci s'exprime d'autant mieux que le lot est hétérogène (non trié).

- l'eau de mer réchauffée sur échangeur avec de l'eau de forage n'a pas été testée. Ses effets sur le bar et le turbot avaient été jugés insuffisants.

- en utilisation pure, et pendant toute la durée de l'hivernage (150 jours), l'eau souterraine semble permettre une croissance significative des animaux.

Cette croissance reste modeste en regard de la durée de l'hivernage mais pourrait apporter un gain de temps suffisant pour améliorer les résultats de la deuxième année de grossissement semi-intensif.

1. ANALYSE DES DIFFERENTS ESSAIS

a. eau dégazée.

Les résultats des essais A, B, et C illustrent l'usage de l'eau dégazée. Les essais ont eu lieu à l'intérieur d'un bâtiment ce qui a permis de bénéficier de températures moyennes très proches de celle de l'eau de forage, après la phase d'adaptation. Celle-ci a d'ailleurs été raccourcie à quelques jours pour l'essai C. Pour les essais A et B, la température minimum est de 7.9°C, cependant, le nombre de jours à des températures inférieures à 12°C n'a été que de 9 jours sur toute la période. Malgré un début d'hivernage précoce (12/11 pour ces deux essais) on n'observe pas de phase de décroissance marquée du poids moyen lors de l'échantillonnage intermédiaire (12/01), comme cela fut le cas lors des élevages de bars 87-88 (voir note technique 1988-7). Cela semblerait accréditer l'hypothèse envisagée que l'amaigrissement observé chez les bars est lié à une phase trop longue de températures inférieures à 12-13°C au début de l'hiver plutôt qu'à un phénomène lié à la photopériode. Il n'est pas exclu non plus que les deux espèces aient un comportement différent.

Nous retiendrons qu'un passage rapide en eau souterraine dégazée est possible et souhaitable, même pour des daurades d'un poids inférieur au gramme, et qu'il permet une croissance significative des animaux.

a. Croissance

Si la croissance observée est positive, il faut signaler qu'elle est environ 6 à 8 fois plus faible qu'à la température de 24-26°C.

L'homogénéité des résultats, partiels et finaux, obtenus dans ces essais nous ont permis de calculer l'équation du taux de croissance en fonction du poids moyen, à 14°C, soit :

$$TCJ \% = 0.99 P^{**} - 0.36 \quad r^2 = 0.93$$

Le coefficient r^2 mérite amélioration, mais cette équation peut permettre quelques calculs de croissance prévisionnels dans la phase 0.2-10 g. et à 14°C. Elle peut être comparée à celle obtenue par BLIOT 1986, à 24-26°C soit :

$$TCJ \% = 7.88 P^{**} - 0.417$$

Des croissances aussi lentes dans la phase 0.5-5 g. ne favorisent pas la survie du cheptel, car c'est dans cette phase que les daurades ont un comportement agressif marqué. Il est très important de trier convenablement les animaux avant l'hivernage, afin de réduire les effets de cette agressivité. Celle-ci se réduit vers 3 g. environ.

b. Aliment

Les taux de conversion médiocres s'expliquent par la volonté de l'expérimentateur de limiter l'agressivité des animaux dans cette phase par un apport excédentaire d'aliment. Cependant l'incidence de l'aliment sur le coût de production des animaux de cette taille est négligeable.

Tableau 1. Essais d'hivernage de daurades en eau souterraine dégazée.

Essai Lot	A D871	B D873	C D874
1.Pm i	0.47	2.57	0.5
2.Pm f	1.43	4.48	1.15
3.t°C	13.3	13.3	13.9
4.mini-maxi	..7.9-14.2...		12.4-14.2
5.durée (j)	110	110	86
6.TCJ %	1.04	0.51	0.97
7.TN %	2.7	2.1	n.d.
8.TCA	2.9	4	n.d.
9.Q Al/ind	2.7	7.6	n.d.
10.Survie %	97	99	63

Légende

A, B : Essais d'hivernage intensif. Lots triés en début d'élevage. Le lot médian a été perdu accidentellement (Javel). Les échantillonnages intermédiaires ne montrent pas de différence de comportement entre le début et la fin de l'hivernage.

C : Essai d'hivernage intensif. Lot trié tardivement, en milieu d'hivernage. L'essentiel des pertes est enregistré avant le tri. Celui-ci révèle des écarts de taille de 1 à 20 dans le lot initial. Le poids moyen final présenté est le poids moyen pondéré de deux lots respectivement à 0.61 et 1.28 g.

1. et 2. : poids moyens initial et final en grammes.
3. et 4. températures en °C
5. durée de l'essai en jours. L'essai C a débuté tardivement. Tous les essais ont été interrompus précocement afin d'utiliser le cheptel dans un essai d'hivernage en eau réchauffée recirculée.
6. Taux de croissance spécifique journalière.
7. Taux de nourrissage moyen de la période.
8. Taux de conversion alimentaire.
9. Quantité d'aliment distribué par animal sur la période.
10. Survie nette (comptages) de l'essai.

2. DISCUSSION

Il faut noter que des animaux de 0.5 g. en Novembre n'ont aucune chance de survie dans la filière semi-intensive en marais. La possibilité d'en assurer l'hivernage en eau souterraine dégazée ouvre donc une perspective nouvelle aux éleveurs de cette filière.

Compte tenu des immobilisations de stock qu'elle impose par rapport à un approvisionnement printannier d'animaux équivalents (5 g.), cette solution ne sera retenue que si les alevins sont produits par éclosion extensive/semi-extensive par l'exploitant "filière semi-intensive", ou, si cet approvisionnement très tardif permet d'obtenir des prix attractifs auprès du fournisseur.

Comme il a été dit pour l'hivernage du bar, ce n'est pas directement le succès de l'hivernage en eau souterraine dégazée qui est intéressant, mais les perspectives qu'il ouvre sur la nurserie intensive hivernale en eau rechauffée recyclée sur base d'eau de forage. Celle-ci facilite la gestion de ces circuits en mettant à disposition une eau saine, non chargée en matières en suspension, à une température suffisante pour la survie des animaux, qui peut intervenir aussi bien dans les processus de lavage de filtre, de rinçage de circuits, que comme fluide d'élevage. L'essai en cours à AQUALIVE/IFREMER est très encourageant sur ce point.

BIBLIOGRAPHIE

Phelepp C. et al., 1983. Prégrossissement de daurades en technique intensive. Contrat CNEXO 83/2932. Fondation océanographique RICARD.

Denigot A., 1988. Prégrossissement de daurades royales en circuit fermé thermorégulé. Rapport de stage IFREMER/INTECHMER.

ANNEXE 9

DOCUMENTS AQUALIVE SUR LE THEME DES EAUX SOUTERRAINES

- . Anonyme, 1984. Demande d'aide à l'innovation pour la mise au point d'un pilote de traitement de l'eau salée souterraine de la nappe de Noirmoutier en vue de son utilisation en aquaculture
- . Anonyme, 1985. Demande d'aide à l'innovation pour la mise au point d'un pilote de traitement de l'eau salée de la nappe de Noirmoutier en vue de son utilisation en aquaculture
Dossier complémentaire
- . Anonyme, 1987. Résultats préliminaires des premières expérimentations d'après le rapport de D. FERRAT. Rapport partiel. Contrat A 84 11 134 R ANVAR / IFREMER
- . CALVAS J., LE MOINE O., 1985. Utilisation de l'eau souterraine en aquaculture : l'expérience d'AQUALIVE
Groupe de Travail Traitement de l'eau de mer
Document IFREMER, Sept. 1987
- . HUSSENOT J., 1981. Use of salt well-water in the winter growth and survival of marine fishes : turbot, sole and sea-bass. Contributed paper.
World Conference on Aquaculture, Venice, 21-25 september 1981
- . HUSSENOT J., 1984. Caractéristiques générales des eaux de la nappe superficielle présente dans la zone des marais
- . LE MOINE O., 1988. Résultats des essais de grossissement en nourricerie sur eau souterraine du bar
Dicentrarchus labrax
Rapport partiel. Contrat A 84 11 134 R ANVAR / IFREMER
- . LECLERCQ D., 1988. Traitement de l'eau souterraine à AQUALIVE / IFREMER Noirmoutier
Partie 1 : Dégazage sur colonne
Note technique AQUALIVE 1988-2, 7 p
- . LECLERCQ D., 1988. Traitement de l'eau souterraine à AQUALIVE / IFREMER Noirmoutier
Partie 2 : Traitement du fer
Note technique AQUALIVE 1988-3, 3 p

- . LECLERCQ D., 1988. Traitement de l'eau souterraine à AQUALIVE / IFREMER Noirmoutier.
Partie 3 : Nitrification en filtre biologique
Note technique AQUALIVE 1988-4, 7 p
- . LECLERCQ D., 1988. Situation énergétique à AQUALIVE / IFREMER Noirmoutier. Etude du pompage et de la fourniture en énergie.
Note technique AQUALIVE 1988-1, 10 p
- . LECLERCQ D., 1988. Mesure de l'ammoniaque dans les eaux. Particularités à prendre en compte à la station AQUALIVE et précautions d'usage.
Note technique AQUALIVE 1988-5, 6 p
- . LECLERCQ D., 1988. Evaluation économique du prégrossissement de turbots en eau souterraine salée. Coût de l'eau.
Note technique AQUALIVE 1988-6, 5 p
- . LECLERCQ D., 1988. Evaluation technique de l'hivernage intensif du bar à l'aide de l'eau souterraine salée. Approche du coût de l'eau
Note technique AQUALIVE 1988-7, 9 p
- . LECLERCQ D., 1988. Evaluation technique de l'hivernage intensif de la daurade à l'aide de l'eau souterraine salée.
Note technique AQUALIVE 1988-8, 5 p

DOCUMENTS DIVERS SUR LE THEME DES EAUX SOUTERRAINES

- . ALIX Y., 1987. Recherches hydrogéologiques liées à l'aquaculture : résultats des campagnes 1986-1987.
Document D.D.A Loire-Atlantique, 2 p
- . BRESSON G., 1982. Etude des eaux souterraines pour l'aquaculture : projet de construction d'une station de pompage à gros débit à Noirmoutier.
Rapport D.D.A Vendée, 5 p
- . BRESSON G., 1982. Recherche en eau souterraine pour l'aquaculture : compte-rendu des travaux de forages de reconnaissance hydrogéologique. Campagne 1981.
Rapport D.D.A Vendée / Syndicat Mixte d'Aménagement des Marais de Noirmoutier, 33 p
- . BRESSON G., 1982. Projet de réalisation d'une station de pompage à Noirmoutier pour l'exploitation expérimentale des eaux souterraines pour l'aquaculture.
Rapport D.D.A Vendée, 8 pièces
- . BRESSON G., 1984. Eaux de forages de Bouin : caractéristiques et utilisation biologique.
Rapport D.D.A Vendée / IFREMER, 25 p
- . BRESSON G., 1984. Recherches en eau souterraine salée pour l'aquaculture à Noirmoutier : station de pompage expérimentale au Terrain-Neuf (commune de l'Epine)
Document D.D.A Vendée, 4 p
- . BRESSON G., 1985. Recherche en eau souterraine salée pour l'aquaculture.
Document D.D.A Vendée, 14 p
- . BRESSON G., 1986. Etude des eaux souterraines salées pour l'aquaculture. Station de pompage expérimentale de Noirmoutier (Le Terrain Neuf, l'Epine) : résultats et perspectives des pompages d'essai.
Rapport D.D.A Vendée, 75 p
- . BRESSON G., 1987. Programme de recherche en eau souterraine salée pour l'aquaculture : état d'avancement des travaux.
Document D.D.A Vendée, 3 p

RAPPORTS DE STAGES SUR LE THEME DES EAUX SOUTERRAINES

- . ARNOLD F., 1982 . Rapport de stage FRANCE AQUACULTURE / ISTOM

- . BRUN J., 1986 . Suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau souterraine à la station de pompage du SMAM.
Etude dans le cadre d'un T.U.C Syndicat Mixte pour l'Aménagement des Marais de Noirmoutier / IFREMER, 23 p

- . DENIGOT A., 1988 . Prégrossissement de daurades royales en circuit fermé thermorégulé.
Rapport de stage IFREMER / INTECHMER Cherbourg, 62 p

- . FABERES D., 1982 . Contribution à l'épuration d'une eau salée souterraine à des fins aquacoles.
Rapport de stage FRANCE AQUACULTURE / ISIMSTE

- . FERRAT D., 1986 . Etude de la qualité d'eau et d'aliment sur le grossissement du turbot Scophthalmus maximus.
Rapport de stage IFREMER, 23 p

- . KUMMER A., 1980 . Rapport de stage FRANCE AQUACULTURE / ENSIAA

- . PALVADEAU H., 1988. Traiter l'eau souterraine : une chance pour l'aquaculture. Etude de la nitrification en filtre biologique.
Rapport de stage IFREMER / CREUFOP, 26 p

- . POQUILLON P., 1983. Aquaculture en eau salée souterraine : Traitement et élevage hivernal du turbot Scophthalmus maximus et de la truite arc-en-ciel Salmo gairdneri.
Rapport de stage FRANCE AQUACULTURE / ESITA Rennes, 102 p

- . RUELLE F., 1983 . Aquaculture en eau salée souterraine :
. Le dégazage : effets sur CO₂, pH, O₂,
. Son intégration dans une chaîne de traitement mise en route pour l'hivernage 1983-1984
Rapport de stage FRANCE AQUACULTURE / INTM Cherbourg, 59 p

- . VILLETARD V., 1980. Etude des eaux de forage à la station AQUALI-VE, île de Noirmoutier (Vendée)
Rapport de stage FRANCE AQUACULTURE, 22 p

ANNEXE 10

UNIVERSITE DES SCIENCES ET
TECHNIQUES DE MONTPELLIER

STATION AQUALIVE
DE NOIRMOUTIER

STATION DE BIOLOGIE
MARINE ET LAGUNAIRE
DE SETE

T R A I T E R L ' E A U S O U T E R R A I N E :
U N E C H A N C E P O U R L ' A Q U A C U L T U R E

ETUDE DE LA NITRIFICATION
EN FITRE BIOLOGIQUE

DIPLOME DE TECHNICIEN
SPECIALISE EN AQUACULTURE
6 eme PROMOTION

PALVADEAU HUBERT
06.87 / 02.88

S O M M A I R E

. Avertissement, Remerciements

. Introduction

1. L'EAU SOUTERRAINE A NOIRMOUTIER

1. 1. DISPONIBILITE EN EAU SOUTERRAINE

1. 2. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

2. TRAITEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

2. 1. TRAITEMENT PRIMAIRE : DEFERRISATION

2. 1. 1. PRINCIPE

2. 1. 2. MISE EN OEUVRE TECHNIQUE ET
FONCTIONNEMENT

2. 1. 3. RESULTATS ET COMMENTAIRES

2. 2. TRAITEMENT SECONDAIRE : DEGAZAGE

2. 2. 1. PRINCIPE

2. 2. 2. MISE EN OEUVRE TECHNIQUE ET
FONCTIONNEMENT

2. 2. 3. RESULTATS ET COMMENTAIRES

2. 3. NITRIFICATION

2. 3. 1. PRINCIPE

2. 3. 2. DESCRIPTIF ET CONCEPTION

2. 3. 3. FONCTIONNEMENT

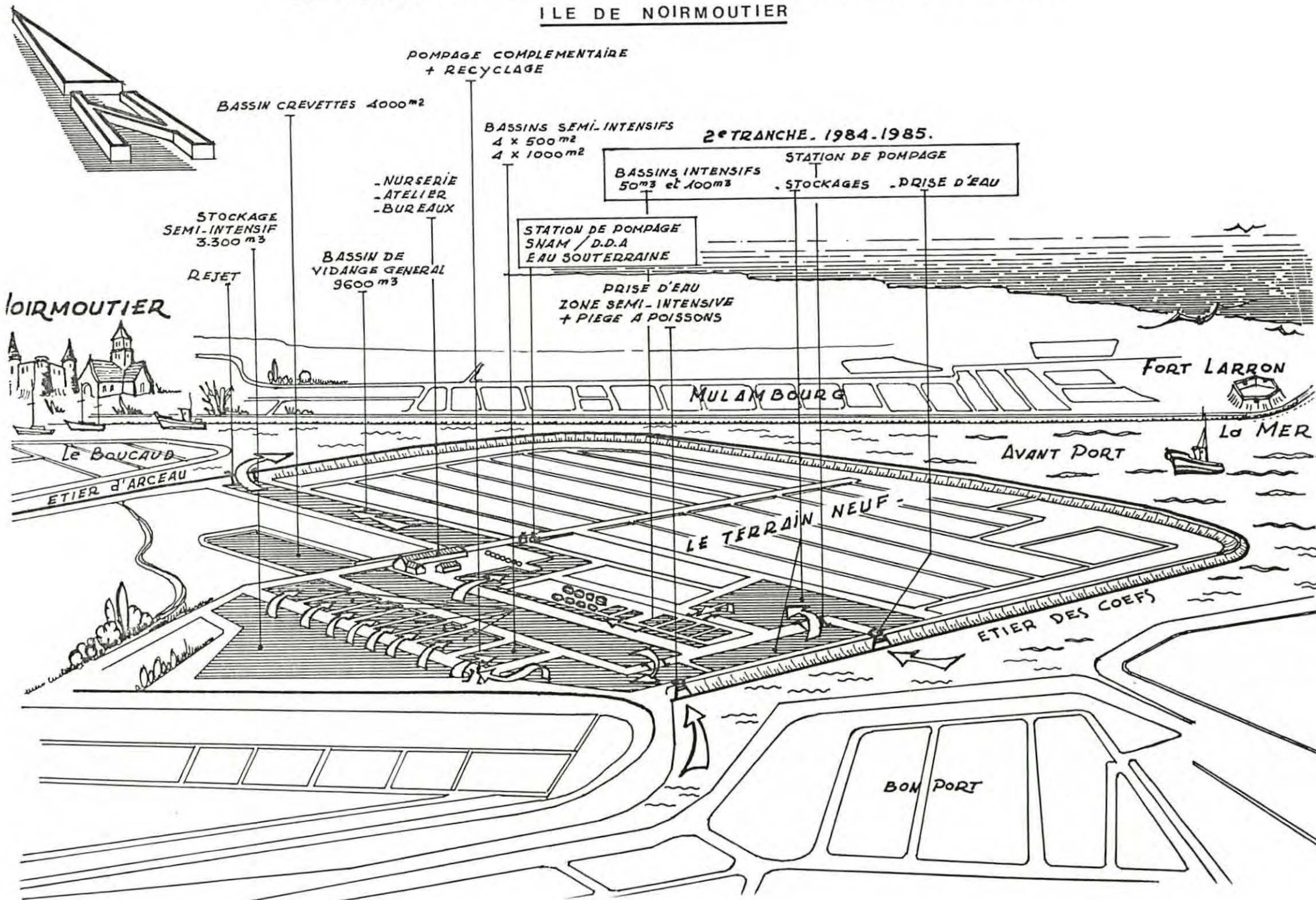
2. 3. 4. RESULTATS ET COMMENTAIRES

3. CONCLUSION GENERALE

. Bibliographie

. Annexes

LA STATION EXPERIMENTALE D'AQUACULTURE C.N.E.X.O - AQUALIVE.
ILE DE NOIRMOUTIER



BASSIN CREVETTES 4000 m²

POMPAGE COMPLEMENTAIRE
+ RECYCLAGE

BASSINS SEMI-INTENSIFS
4 x 500 m²
4 x 1000 m²

2^e TRANCHE. 1984-1985.

BASSINS INTENSIFS
50 m³ et 100 m³ STATION DE POMPAGE
STOCKAGES PRISE D'EAU

STOCKAGE
SEMI-INTENSIF
3.300 m³

- NURSERIE
- ATELIER
- BUREAUX

STATION DE POMPAGE
SNAM / D.D.A
EAU SOUTERRAINE

BASSIN DE
VIDANGE GENERAL
9600 m³

PRISE D'EAU
ZONE SEMI-INTENSIVE
+ PIEGE A POISSONS

REJET

NOIRMOUTIER

MULAMBourg

FORT LARRON

La MER

Le BAUCAUD

AVANT PORT

ETIER D'ARCEAU

LE TERRAIN NEUF

ETIER DES COEFS

BOM PORT

AVERTISSEMENT. REMERCIEMENTS.

L'exposé suivant qui concerne un procédé de traitement de l'eau de forage, est l'aboutissement de travaux menés sur la station AQUALIVE de NOIRMOUTIER, repris et exploités dans le cadre d'une formation de technicien spécialisé en aquaculture à l'université de MONTPELLIER. Il va sans dire que ce travail n'aurait pu se concevoir sans l'accord, l'aide, le soutien et les encouragements de tous ceux qui à leur manière, l'ont permis et y ont largement contribué.

De même il faut souligner que les conditions matérielles favorables et la logistique disponible sur le site de la station ont été déterminants.

Mes remerciements iront tout d'abord à messieurs HUSSENOT, CALVAS, et HATT, qui chronologiquement ont déclenché mon souhait de formation complémentaire, et l'ont encouragé. Leur disponibilité et leur volonté n'auraient pu se concrétiser sans l'accord de monsieur PERROT. P. D. G. de FRANCE AQUACULTURE qui par une démarche auprès du FONGECIF a su trouver les arguments pour faire valoir le bien fondé d'un congé formation.

Je remercie également tous les enseignants et intervenants de la formation CREUFOP de MONTPELLIER qui ont su à tout moment communiquer non seulement leur savoir mais aussi leur enthousiasme pour cette technologie nouvelle qu'est l'aquaculture.

J'aurais une intention particulière pour tous ceux qui sur la station m'ont entouré de leurs attentions et de leurs conseils précieux, ceux là même qui m'ont guidé, aidé à parfaire mon travail et à pouvoir enfin le présenter.

Je remercie à ce titre :

Monsieur LECLERCQ	ingénieur biologiste
LE MOINE	biologiste
PENISSON	technicien logistique
FOUASSON	technicien poissons
CRIELOUE	technicien crevettes
Madame DUPUY	secrétaire

Ce travail est l'aboutissement d'une étude sur la station de NOIRMOUTIER, concluant une formation de technicien spécialisé en aquaculture, accordée dans le cadre du congé individuel de formation et financé par le FONGECIF des PAYS de LOIRE.

INTRODUCTION

En l'absence de traitements adaptés, l'utilisation de l'eau souterraine de NOIRMOUTIER aurait un intérêt marginal pour l'aquaculture.

C'est pourquoi dès les premiers développements de la station AQUALIVE, ses responsables se sont, d'emblée, préoccupés de rechercher, voire d'adapter des méthodes de traitement des eaux de forage.

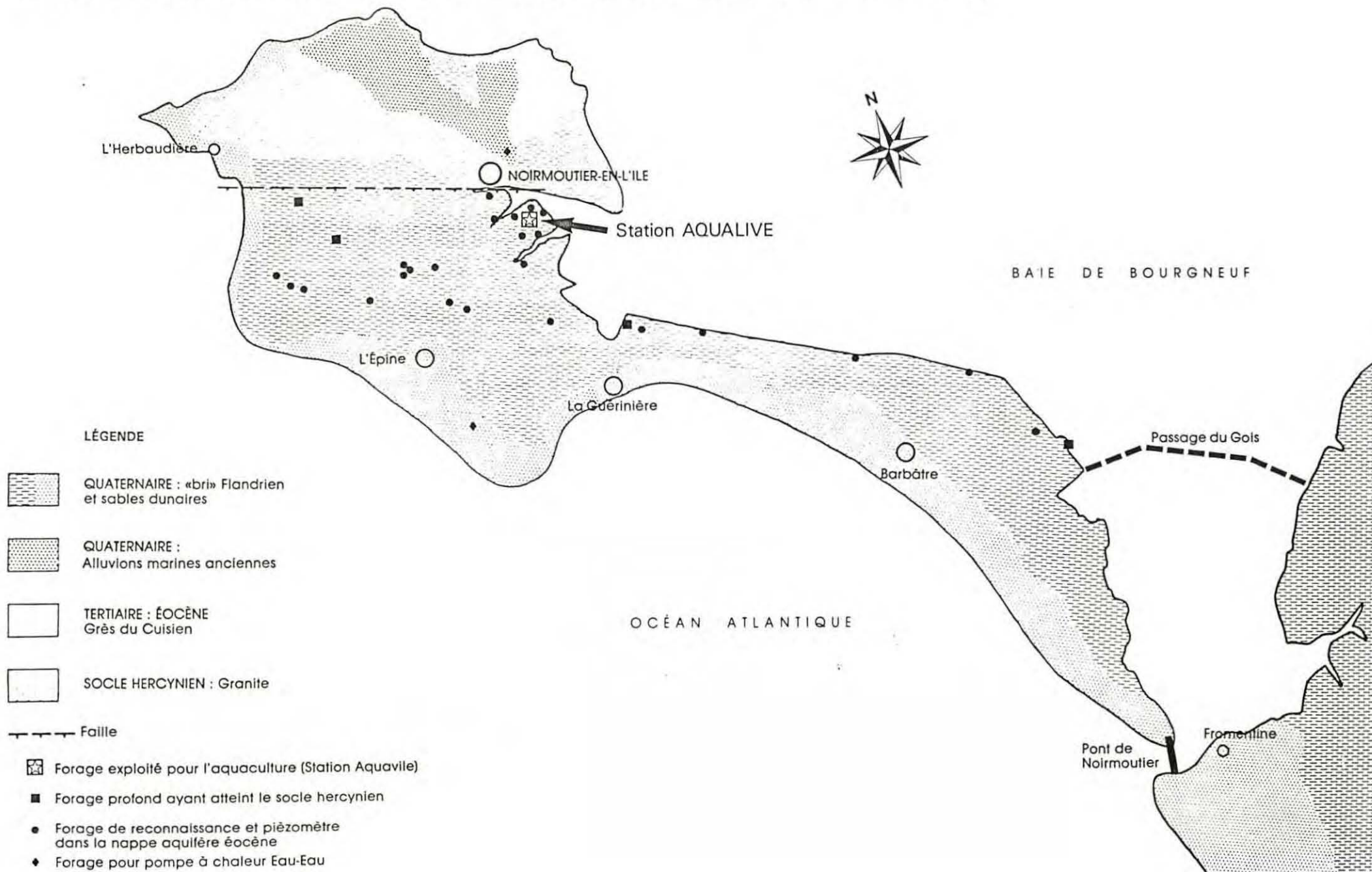
De multiples expériences ont été menées dans ce but, rapportées par POQUILLON, RUELLE, FABERES 1983. Elles ont permis d'améliorer de façon significative la qualité de ces eaux pour élargir le champ des applications et accroître les performances de la station.

Cependant il restait à produire de l'eau dont les caractéristiques physico-chimiques soient aussi proches que possible de l'eau de mer.

La solution technique qui va donc vous être présentée complète la série des dispositifs qu'il fallait requérir pour exploiter le plus largement les possibilités offertes par les eaux souterraines.

FIGURE N° 2

CARTE GÉOLOGIQUE DE L'ILE DE NOIRMOUTIER (Implantation des forages)



1. L'EAU SOUTERRAINE A NOIRMOUTIER

1. 1. Disponibilité en eau souterraine

En juin 1980, un premier forage a été effectué à l'initiative de Mr HUSSENOT sur le site de la station AQUALIVE pour le compte du CNEXO. Il fut équipé d'un pompage de 100 m³ h⁻¹, et fit l'objet d'un suivi physico-chimique.

En 1981, le S.M.A.M (Syndicat Mixte pour l'Aménagement des Marais), avec l'appui technique de la D.D.A, mettait en évidence l'étendue de la nappe phréatique salée dans les calcaires de Noirmoutier.

Suite aux premières études d'exploitation de ces eaux pour l'aquaculture (A. KUMMER, 1980; J. HUSSENOT, 1982; D. FABERES, 1982; P. POQUILLON, 1983; F. RUELLE, 1983). Une étude de la D.D.A était entreprise en 1985/1986, et permettait de confirmer l'exploitation de la nappe pour des débits élevés (200 m³ h⁻¹) et des longues durées (plusieurs mois).

1. 2. Caractéristiques physico-chimiques

Depuis 1980, date des premiers pompages d'essai on peut dire que les caractéristiques physico-chimiques n'ont pratiquement pas varié. La température constante toute l'année se situe entre 13,5-14,5 °C.

La salinité varie entre 3,0 et 3,7 % selon l'implantation des forages .

Le pH oscille entre 6,7 et 7 soit un pH acide très inférieur à celui de l'eau de mer.

La teneur en oxygène dissous reste très faible : < 1mg/l.

L'azote ammoniacal total (N - NH₄) est très élevé, soit 1 - 4 mg/l.

La teneur en fer est très variable et se situe dans une fourchette de 0 à 1 mg/l .

Quant aux sels nutritifs, leurs teneurs sont très élevées (voir tableau).

CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES EAUX

A LA STATION AQUALIVE

TABLEAU 1

TYPE EAU	FORAGE	T°C	S%.	pH	NH4
Eau de mer		-2 - 30	25-40	8,1-8,4	0 - 0,10
Eau de forage brute	F2	14,3	36-37	6,6-6,8	3 - 4
Eau déferrisée	F2	14,3	36-37	6,8-7,0	* 1,5 - 4
Eau déferrisée dégazée	F2	14,3	36-37	7,1-7,4	* 0,8 - 2,2
Eau déferrisée dégazée biofiltrée	F2	14,3	36-37	7,3-7,4	* 0,02 - 0,10
Eau de forage brute	F4	13,7	30-33	6,9-7,0	1 - 2
Eau dégazée	F4	13,7	32-33	7,4-7,5	1,2 - 1,4
Eau déferrisée dégazée ventilation forcée	F2	14,3	36-37	7,3-7,4	* 0,8 - 2,2

REMARQUES : F4 forage exploité depuis peu en discontinu.

F2 forage exploité depuis sept ans en continu.

* Les teneurs sont fonction du taux de réinjection dans le système.

QUALITE DE L'EAU DE FORAGE SUR LA STATION

TABLEAU 2	F2		F3	
	Forage de 17 m le 12.06.80		Forage de 5 m le 29.07.80	
f. Température	15 ± 1 °C	14 ± 1 °C		
f. Salinité	36,3 g/l	36,5 g/l		
f. Oxygène		0,6 mg/l		
f. pH	6,93	7,10		
§ Alcalinité	296° F			
§ Chlorures	20 800 mg/l			
§ Magnésium	1 250 mg/l			
§ Calcium	470 mg/l			
§ Potassium	480 mg/l			
§ Manganèse	2 mg/l			
§ Sodium	11,4 g/l			
Azote :				
f. (NH ₄ ⁺ +NH ₃)	255 / ^U atg N/l	207 / ^U atg N/l		
f. NH ₃	14,3 / ^U atg N/l	0,82 / ^U atg N/l		
g. NO ₂ ⁻	0,12 / ^U atg N/l			
g. NO ₃ ²⁻	0,28 / ^U atg N/l			
g. SiO ₄ ⁴⁻	102 / ^U atg/l			
g. Fer	0,30 mg/l			
g. PO ₄ ³⁻	3,03 / ^U atg/l			
§ Turbidité	22			
§ Dureté	698° F			
§ Résistivité	25 ohm/m			
§ Matières organiques	3,25 en MgO			
f. Chlorophylle A		0,448 mg/l		
f. Phaeopigments		0,448 mg/l		
f. débits	100 m ³ /h	0,5 m ³ /h		

§ Laboratoire Départemental d'Analyses Vétérinaires - LA ROCHE SUR YON

g. I.S.T.P.H. - NANTES

f. Station Aquative - NOIRMOUTIER

VILLETARD 1980

TABLEAU 3

COMPARAISON DES METAUX LOURDS CONTENUS DANS LES EAUX
SALEES SOUTERRAINES DE L'ILE DE NOIRMOUTIER ET DANS LES EAUX
COTIERES DE LA BAIE DE BOURGNEUF, EXPRIMES EN µg / l

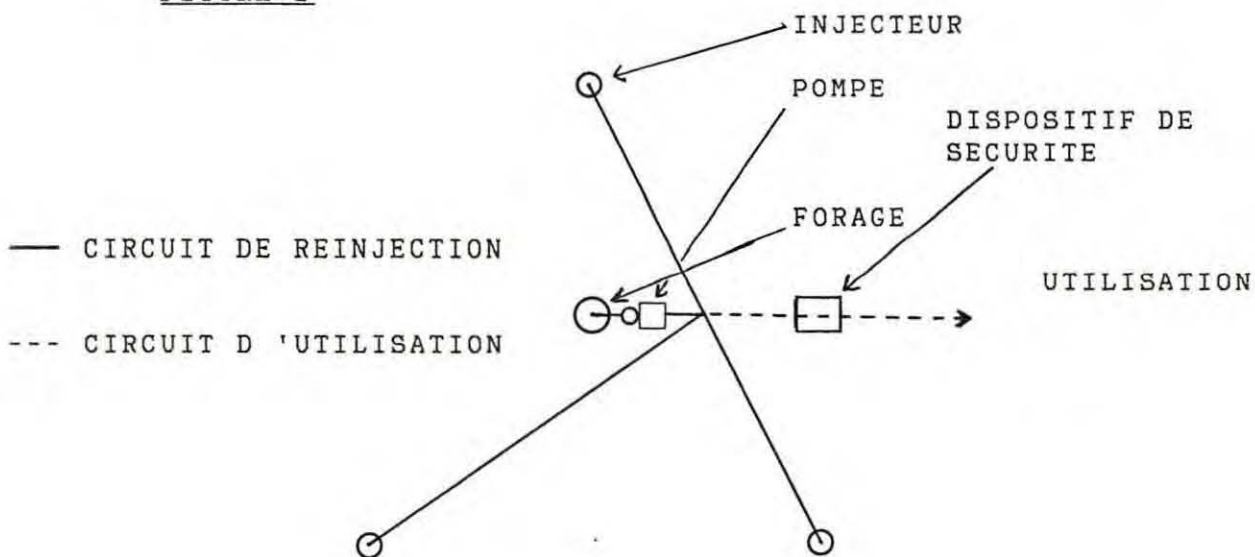
	EAUX SOUTERRAINES DE L'ILE DE NOIRMOUTIER *			FORAGE FA2 AQUALIVE MOYENNE	EAUX COTIERES BAIE DE BOURGNEUF **			R.N.O MAXI DES EAUX MARINES
	MINI	MAXI	MOYENNE		MINI	MAXI	MOYENNE	
CADMIUM	0,014	4,740	0,565	0,262	0,030	0,312	0,111	D'APRES 0,1-1
PLOMB	0,10	30,80	2,27	0,42	0,15	2,39	0,65	HUSSENOT 0,5-5
CUIVRE	0,96	5,84	1,87	2,45	0,52	2,92	1,15	1-10
ZINC	1,93	89,90	16,45	3,69	2,64	22,59	7,90	5-50

Analyses sur eaux filtrées à 0,45 µm et fixées par HCl Suprapur, traitées pour l'ensemble des échantillons par le Centre des Eléments Traces de Nantes.

* : Campagne II et III SMAM Noirmoutier / AQUALIVE
** : AMIARD et AMIARD-TRIQUET (Communication personnelle)
Ile Bergère - Mars à Novembre 1982

SCHEMA DE L 'INSTALLATION DE TRAITEMENT PRIMAIRE

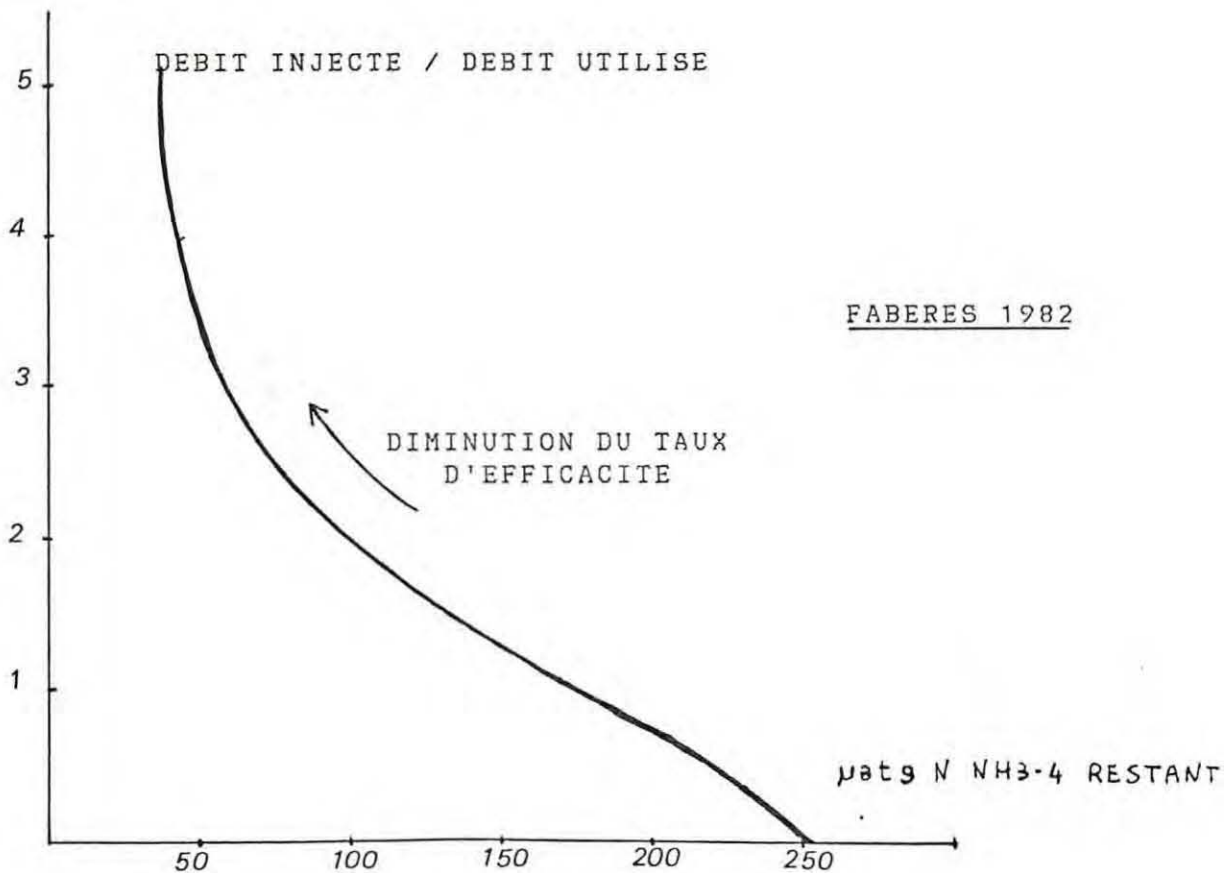
FIGURE 3



NITRIFICATION EN FONCTION DU RAPPORT :

DEBIT D'EAU REOXYGENEE INJECTEE
DEBIT D 'EAU UTILISEE

COURBE 1



2. TRAITEMENTS DES EAUX SOUTERRAINES

2. 1. TRAITEMENT PRIMAIRE (DEFERRISATION)

2. 1. 1. PRINCIPE

Le principe de déferrisation utilisé à la station AQUALIVE est dérivé du procédé VYREDOX.

Il s'agit d'un traitement in situ où le fer dissous sous forme ferreux (FE⁺⁺) est oxydé et précipité sous la forme ferrique (FE⁺⁺⁺).

Le calcaire joue alors le rôle de filtre mécanique et piège le précipité .

2. 1. 2. MISE EN OEUVRE TECHNIQUE ET FONCTIONNEMENT.

L'installation de pompage comprend une pompe principale de marque GUINARD et de type NX , le débit nominal est de 90 m³/h pour une hauteur manométrique totale de 18m .

Une pompe auxiliaire de type SP 50 est branchée sur la même aspiration et sert au réamorçage et à la sécurité.

L'eau souterraine pompée dans le forage principal est réinjectée partiellement dans les forages périphériques une fois oxygénée .

L'installation de réinjection comprend trois forages situés en étoile à 15 m du forage d'exploitation de diamètre 180 mm. (figure3).

L'oxygénation est obtenue par simple chute dans un tube de diamètre 140 mm qui prolonge le tubage des trois forages jusqu'à 2 m au dessus du sol.

Un système de vannage permet de faire varier la quantité d'eau réinjectée sur chaque forage .

Un dispositif de sécurité comprenant un contacteur à mercure placé dans une cuve tampon sur le réseau utilisation est relié à une alarme et permet d'être averti des pannes éventuelles.

RESULTATS ET COMMENTAIRES

En 1980 date du commencement du pompage, le fer était présent à une concentration de 0,3 mg/l et présentait une gêne pour les élevages . Après la mise en place de l'installation de réinjection, les teneurs en fer ont considérablement diminué (proche de 0).

D'après FABERES, la capacité de traitement du système dépend du rapport de réinjection. Une fraction de 1/5 serait suffisante pour éliminer le fer.

Le rapport de 1/1 utilisé sur la station AQUALIVE a montré une nitrification partielle de 30 %, soit l'élimination de 1 mg/l d'azote ammoniacal.

L'étude de FABERES met en évidence la relation nitrification / rapport de réinjection (voir courbe 1).

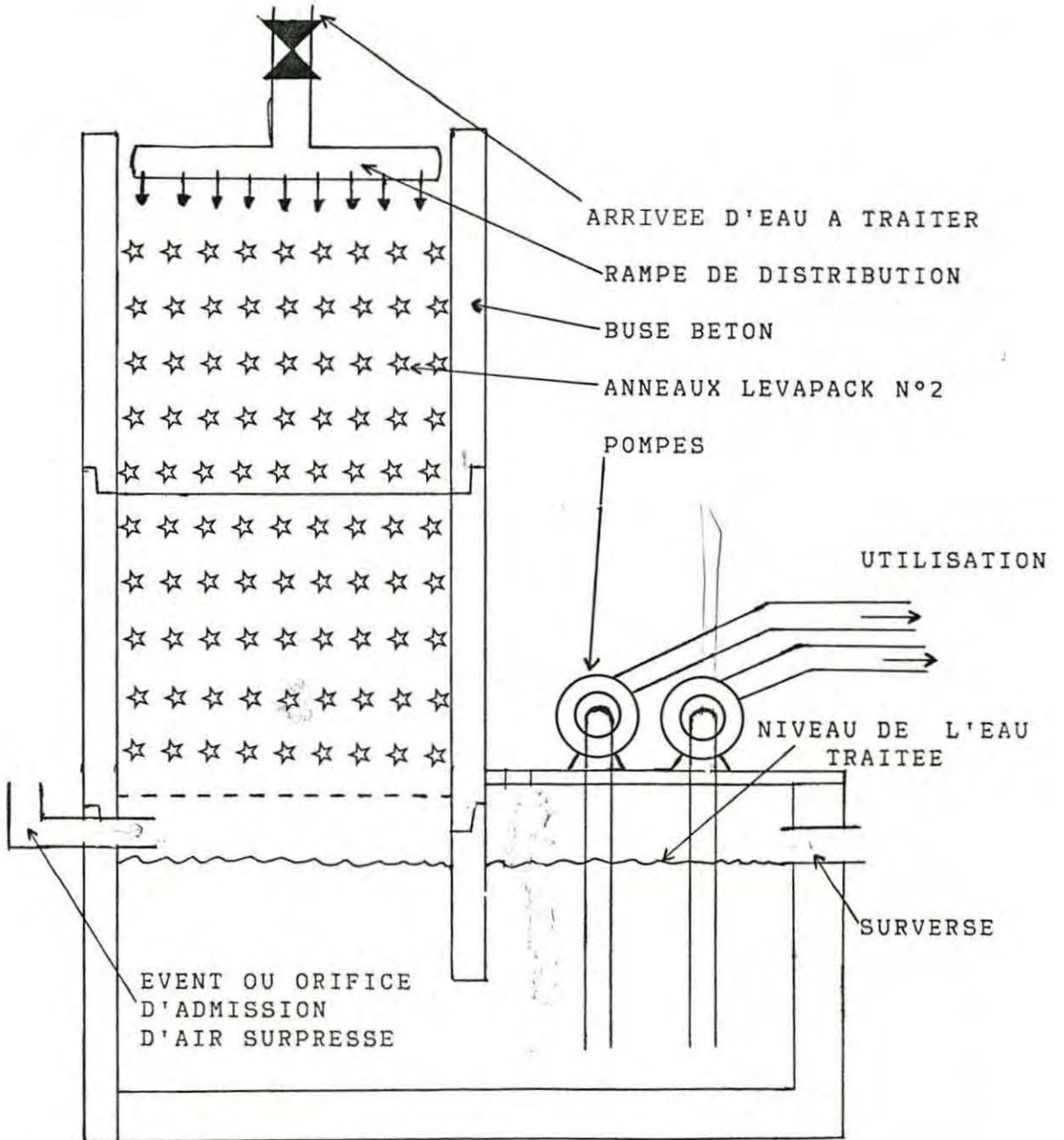
Le nombre des injecteurs et leur distance par rapport au puits d'exploitation ne sont pas définis précisément (sur la station AQUALIVE pour 90 m³/h-1, 3 forages à 15 m ; D.D.A pour 200 m³/h-1, 4 forages à 50 m).

Des problèmes de cavitation, oxydation, électrolyse ont été rencontrés sur cette installation de pompage. En effet, la réinjection d'air et d'eau dans la nappe et l'acidité de l'eau engendrent des dégradations considérables des pièces en contact (turbines, corps de pompe). La pompe retenue initialement n'était pas auto-amorçante et devait être munie d'un clapet de pied. Or, le forage s'est avéré trop faible en diamètre pour introduire ce clapet. Suite à ces observations une solution alternative est appliquée sur un autre forage à AQUALIVE.

Quatre pompes SP 50 auto-amorçantes à corps polyester (dont 1 de secours) sont installées sur un puits de même diamètre et fournissent jusqu'à 100 m³/h-1. Les clapets peuvent être montés à l'aspiration et superposés dans le puits.

COUPE SCHEMATIQUE DE LA TOUR
DE DEGAZAGE NURSERIE

FIGURE 4



Ech: 1/20

2. 2. TRAITEMENT SECONDAIRE (DEGAZAGE)

2. 2. 1. PRINCIPE

La méthode utilisée est le dégazage sur colonne garnie d'anneaux plastiques. L'eau s'étale en film mince sur les anneaux, et les micro-chutes accentuent la mise en équilibre de pression avec l'atmosphère pour tous les gaz (O₂, CO₂, N₂ ...). Ainsi les concentrations des gaz tendent vers leur point de saturation.

2. 2. 2. MISE EN OEUVRE TECHNIQUE ET FONCTIONNEMENT

Une tour réalisée à partir de 3 buses de béton de diamètre 1 m a servi d'enveloppe à notre colonne.

Un revêtement intérieur et extérieur en polyester assure l'étanchéité. Une fosse de reprise, en béton étanche munie d'une surverse, récupère les eaux dégazées pour leur reprise par les bacs d'élevage ou le biofiltre.

Cette colonne est remplie d'anneaux (LEVAPAK 5 cm N°2) arrêtés par une grille de contreplaqué perforé située à 10 cm au dessus du fil d'eau de trop-plein.

Une rampe en PVC assure la dispersion de l'eau à traiter en partie haute.

Deux événements (diamètre 90 mm) devaient permettre la sortie de l'air en partie basse, quand la colonne travaille à la pression atmosphérique. En revanche, la possibilité de créer une ventilation forcée à partir des événements par l'intermédiaire d'une turbine est une seconde forme d'utilisation possible.

2. 2. 3. RESULTATS ET COMMENTAIRES

Les résultats exprimés sur le tableau 4 montrent que l'unité de dégazage d'AQUALIVE est performante pour l'élimination de l'azote. Ainsi, elle passe de 124 % à 102 % pour un débit de 26 m³/h-1, soit une vitesse de passage de 33 m/h.

Ce procédé est également efficace pour augmenter le pH par dégazage du Co₂ libre. Il permet de passer d'un pH acide 6,8 à un pH de 7,2 - 7,3. Il a d'autre part l'avantage de saturer l'eau en oxygène dissous.

Une diminution importante du CO₂ libre est constatée ainsi qu'une nitrification partielle (voir courbes 3 et 4 et tableau 4.)

Toutefois, son rendement n'est pas vérifié pour des débits plus importants. L'utilisation de cette unité, non plus avec ventilation statique, mais avec une ventilation forcée provoque une augmentation sensible du pH (+ 0,2 à + 0,3), ainsi qu'une diminution du CO₂ (voir tableau 4).

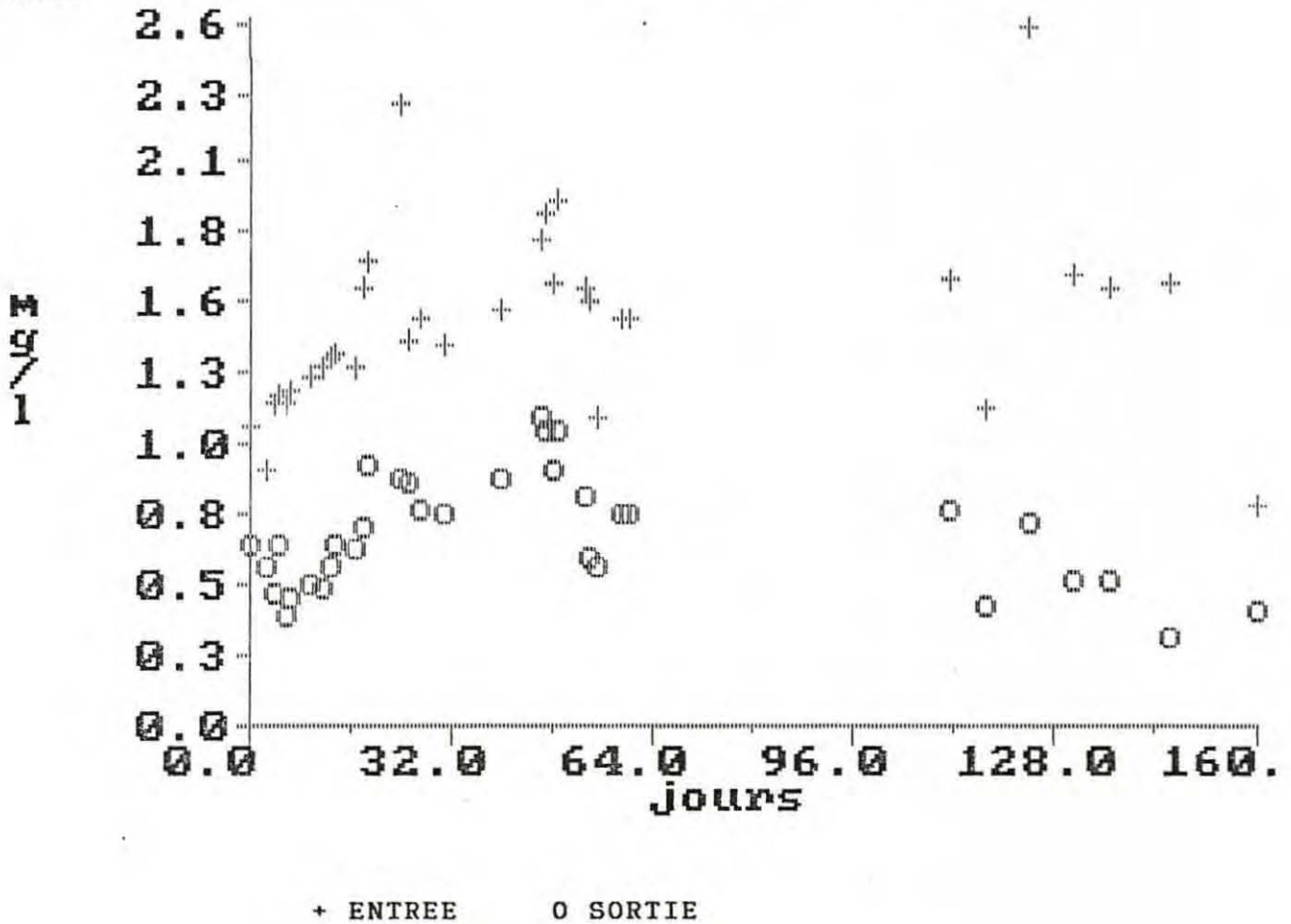
Le fonctionnement de cette unité en continu n'a pas posé de problème particulier.

On peut dire que ce procédé fiable et peu coûteux est bien adapté au traitement des eaux souterraines de Noirmoutier.

L'utilisation de ce procédé est déjà répandu en extérieur sur des élevages de poissons à la station comme chez des producteurs privés. Il est à noter que l'usage ponctuel d'unité de dégazage pour l'hivernage de poissons n'offre pas l'avantage de la nitrification partielle car la mise en place de la flore nitrifiante s'avère très longue (plusieurs mois) .

RELEVES NH4 DANS L'UNITE DE DEGAZAGE

COURBE 2



PROFIL D'ELIMINATION DU CO2 LIBRE

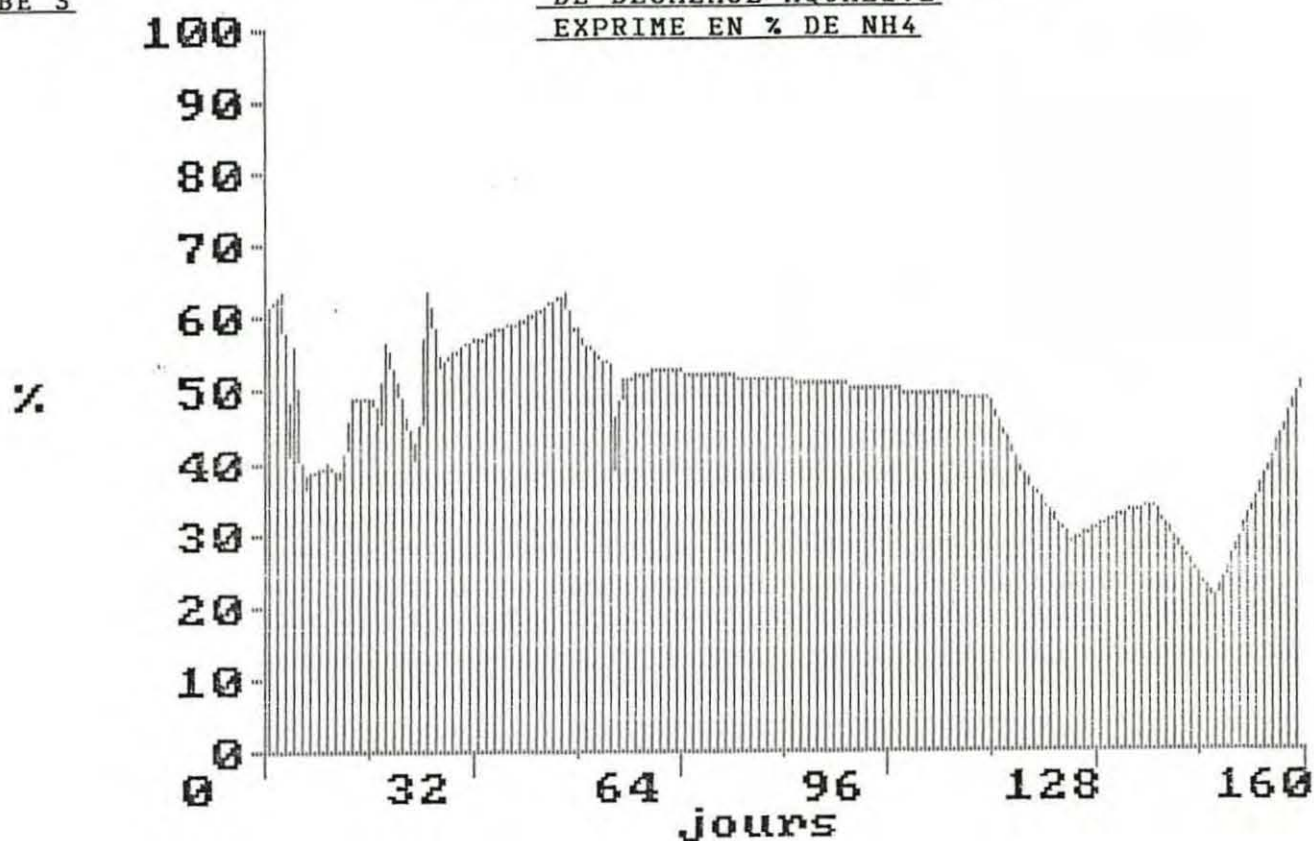
AVEC ET SANS AERATION DANS L'UNITE DE DEGAZAGE

TABLEAU 4

	<u>SANS VENTILATION</u>		<u>AVEC VENTILATION FORCEE</u>		
	pH	CO2	pH	CO2	AZOTE %
<u>ENTREE</u>	6,85	77	6,85	77	124
<u>SORTIE</u>	7,05	56	7,18	46,7	102

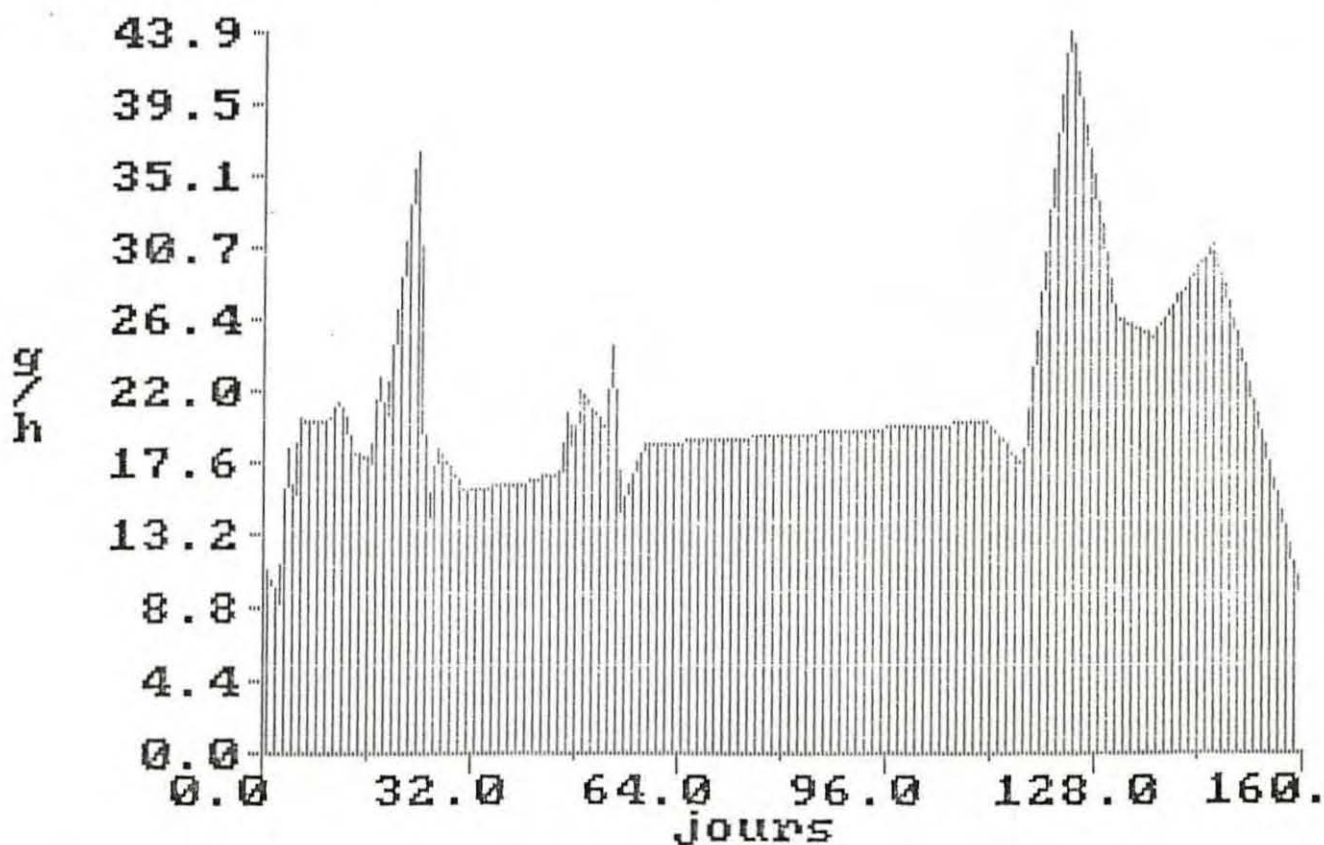
COURBE 3

PROFIL D'EFFICACITE DE L'UNITE
DE DEGAZAGE AQUALIVE
EXPRIME EN % DE NH4



COUBE 4

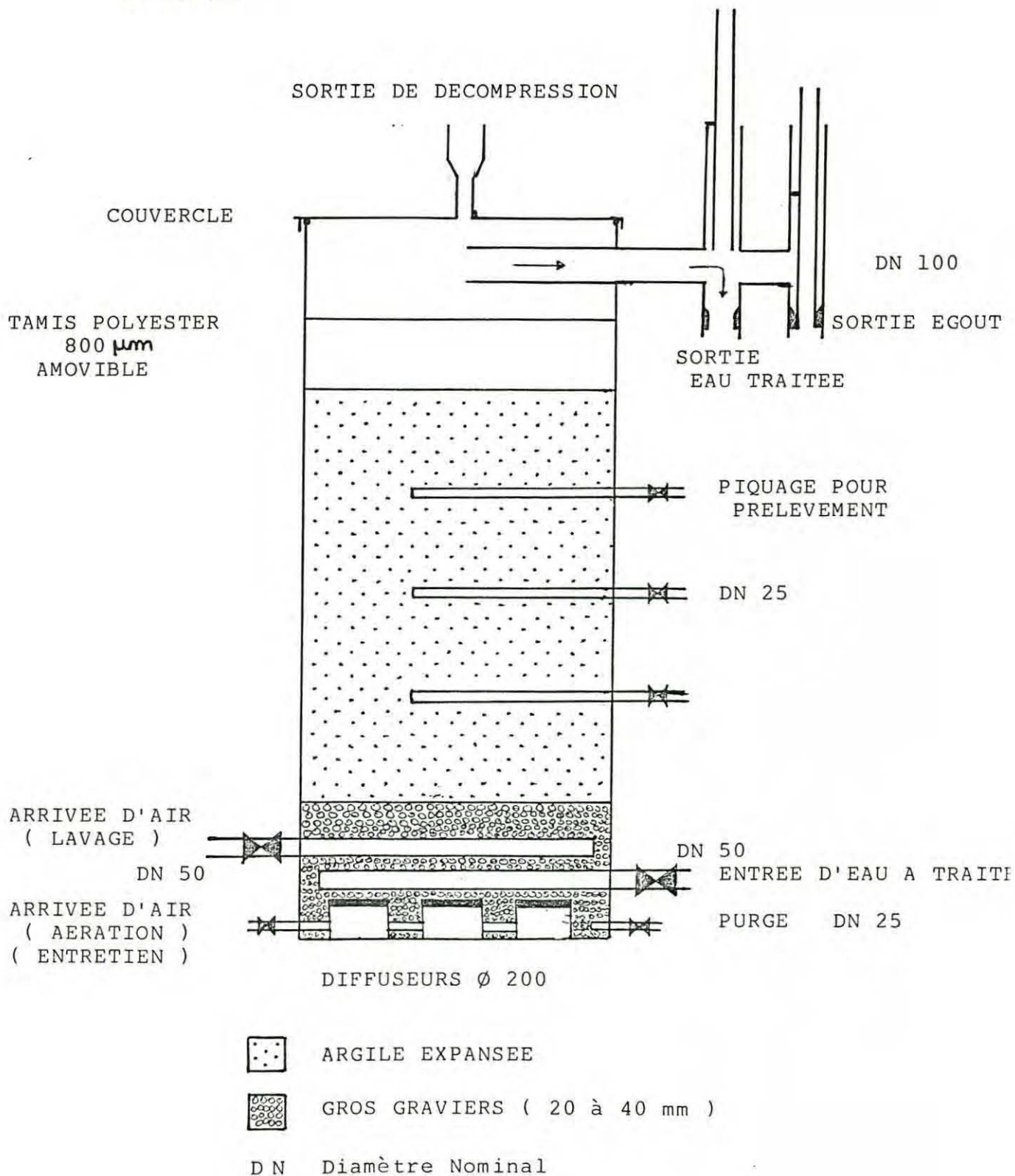
PROFIL D'ELIMINATION DE NH4
EXPRIME EN GRAMME PAR HEURE



SCHEMA DU FILTRE AQUALIVE

VERSION 86

FIGURE 5



2. 3. NITRIFICATION

2. 3. 1. PRINCIPE

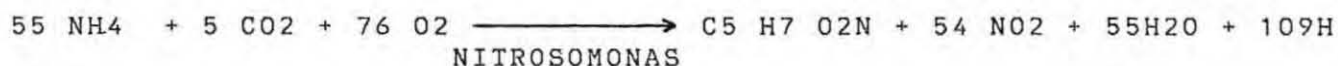
Le principe de la nitrification biologique consiste à utiliser des micro-organismes nitrifiants pour transformer l'ammoniaque en nitrite puis en nitrate; les nitrates étant bien moins toxiques pour les animaux que l'ammoniaque.

Ce sont des bactéries autotrophes qui réalisent la nitrification avec le rendement le plus élevé (MEVEL 1976, ANTHONISEN 1976, SOMVILE 1978) et surtout Nitrosomonas responsable de la première étape (N - NH₃ → N - NO₂) et Nitrobacter agent de la 2^e phase (N - NO₂ → N - NO₃).

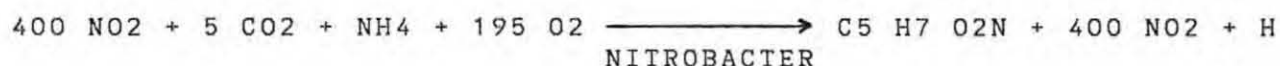
Il se peut qu'une population hétérotrophe nitrifiante soit présente et participe à l'épuration azotée et carbonée du milieu de culture, mais leur activité est faible devant celle des autotrophes. (CHANU 1986)

LES MECANISMES BIOCHIMIQUES

NITRITATION



NITRATATION



Ces équations permettent d'établir les constantes suivantes :

1 gramme d'azote ammoniacal consomme 4,5 grammes d'O₂ et produit 0,1425 gramme d'ions H⁺, 0,15 gramme de cellules pratiquant la nitritation, et 0,025 gramme de cellules pratiquant la nitratation.

2. 3. 2. NITRIFICATION : DESCRIPTIF ET CONCEPTION

Le filtre biologique étudié à été réalisé à partir d'une cuve polyester cylindrique de 2,5 m x 1,05 m (H x O).

Le choix de matériaux composites à été retenu plutôt que le polyéthylène pour faciliter la réalisation des passages de parois.

Dans un souci de fiabilité, toutes les liaisons polyester PVC ont été réalisées avec des tissus de verre et des résines spécifiques.

Le substrat utilisé est de l'argile expansée (BIOGROG).
Le choix d'une faible granulométrie (1,2 à 1,4 mm) était souhaitable pour augmenter l'efficacité relative .

Nous avons préféré un passage d'eau ascendant pour minimiser les risques de tassement du support et éviter les débordements.

L'aération est assurée par un surpresseur de marque FPZ et de type SCL 28 22 et cinq diffuseurs AQUALIVE montés en étoile (voir annexe).

Le réseau lavage est composé d'une rampe en tuyaux PVC perforés voir (photos annexe).

Ce réseau est alimenté avec le surpresseur entretien par un by-pass. C'est une pompe LEROY SOMER SP 30 qui assure l'alimentation en eau par l'intermédiaire d'une rampe semblable au réseau d'air lavage.

Une vanne de purge et deux prélèvements pour échantillons, ont été réalisés pour faciliter le contrôle du filtre.

Ce sont des passages de parois munis de crépines fabriqués à partir de tuyaux PVC et de tamis UGB 800 µm collés à la résine époxy.

En fonctionnement une accumulation d'air sous le couvercle du biofiltre pourrait entraîner des fuites et des perturbations hydrauliques dans le réseau d'évacuation du filtre.

Pour l'éviter, un tuyau PVC de diamètre 90 mm fixé par une bride sur le couvercle du filtre évite toute projection extérieure, en permettant à l'air de s'évacuer par une sortie indépendante de celle de l'eau.

Ceci est d'autant plus utile pendant les lavages où les débits d'air utilisés sont plus importants.

2. 3. 3. FILTRE BIOLOGIQUE : FONCTIONNEMENT

L'eau après avoir été dégazée et saturée en oxygène par l'intermédiaire d'une tour de dégazage est pompée dans une fosse de reprise munie d'une surverse .

Elle est injectée en partie basse dans une rampe PVC et monte avec la pression de la pompe sur l'ensemble de la surface du filtre.

Il en est de même avec l'air d'entretien grâce à une rampe de diffuseurs qui assurent un bullage homogène.

Ces deux réseaux superposés et complémentaires vont de pair dans un traitement optimal à fort besoin en oxygène.

Grâce à l'injection d'air d'entretien, on n'observe pas de déficit en oxygène dissous dans le support et la nitrification se fait bien progressivement sur l'ensemble de la hauteur du filtre.

De plus, l'utilisation continue du bullage offre l'avantage de ne pas avoir à réoxygéner l'eau traitée avant utilisation sur les bacs d'élevage.

En revanche une panne de bullage entraînerait un déficit important en oxygène dans le filtre, et qui plus est, en sortie de filtre, ce qui peut être préjudiciable pour le cheptel.

L'utilisation d'un pressostat sur le réseau d'air relié à une alarme, est donc indispensable, pour garder la sécurité d'un bon fonctionnement.

En régime de croisière, le filtre a fonctionné à 20 m³/h-1 ,mais nous l'avons testé jusqu'à 23 m³/h-1, ce qui correspondait au débit maximum de notre pompe.

Le débit d'air injecté pour l'aération est réglé en fonction du taux d'oxygène de sortie. En régime de croisière, 15 m³/h-1 d'air à 350 grammes de pression étaient nécessaires, pour garder un taux de saturation compris entre 90 et 95% .

Une fois par jour et pendant 10 minutes le filtre est lavé. Un débit d'air d'environ 40 m³h-1 à 350 grammes de pression assure un brassage important, et remet en suspension le BIOGROG. Grâce à un tamis UGB 800 µm fixé en partie haute avec un cerclage inoxydable, le BIOGROG ne risque pas d'obstruer les canalisations.

L'utilisation du by-pass pendant le lavage pour évacuer les eaux à l'égout ne se justifie pas en raison de la très faible turbidité de l'eau à traiter. Le lavage reste avant tout un moyen de lutter contre les tassements du support qui sont à l'origine des passages préférentiels.

2. 3. 4. RESULTATS ET COMMENTAIRES

VITESSE DE MISE EN PLACE DE LA NITRIFICATION

Durant cette période, le débit de 13,5 m³/h-1 est resté constant pour une vitesse de passage de 15 m/h .

On observe dès le premier jour (courbe 5) une nitrification partielle. En effet le support était déjà colonisé d'une flore nitrifiante.

La progression de l'assimilation quotidienne du filtre a duré vingt jours avant d'arriver à un premier palier avec une valeur d'épuration moyenne de 96 %, soit 0,6 à 0,7 mg/l d'ammoniaque assimilé.

C'est à quarante cinq jours que l'équilibre semble atteint avec une valeur d'épuration moyenne de 90 % pour 23 m³/h-1 et une vitesse de passage de 28,7 m/h, soit 17 grammes de NH₄ assimilé par heure.

Pendant cette phase de lancement l'oxygène dissous est resté en sursaturation en sortie de filtre. Un bullage d'entretien important et une consommation encore limitée des bactéries sont la cause de cette sursaturation (courbe 5).

NITRIFICATION : REGIME DE CROISIERE

Des prélèvements in situ à différents niveaux ont montré que la nitrification se faisait progressivement, sur l'ensemble du filtre et que celle-ci était linéaire sur la hauteur du substrat.

Il est à noter la présence de nitrite (0.45 mg de moyenne) en entrée comme en sortie de filtre. Cette présence de nitrite est la conséquence d'une nitrification incomplète dans la tour de dégazage, et cette valeur se retrouve en sortie.

Nous n'avons pas enregistré de variation importante du taux d'oxygène en entrée comme en sortie, (90 - 95 % SAT en sortie) grâce à un bullage permanent dans le filtre. La sursaturation enregistrée durant la phase de lancement n'est plus vraie pour cette période grace à une demande d'O₂ plus importante des bactéries.

Une légère baisse de pH est à signaler en sortie de biofiltre. En effet les réactions de nitrification libèrent des ions H⁺ qui sont facteur d'acidité. Cette observation permet de confirmer une nitrification importante malgré le bullage d'entretien qui tend à augmenter le pH.

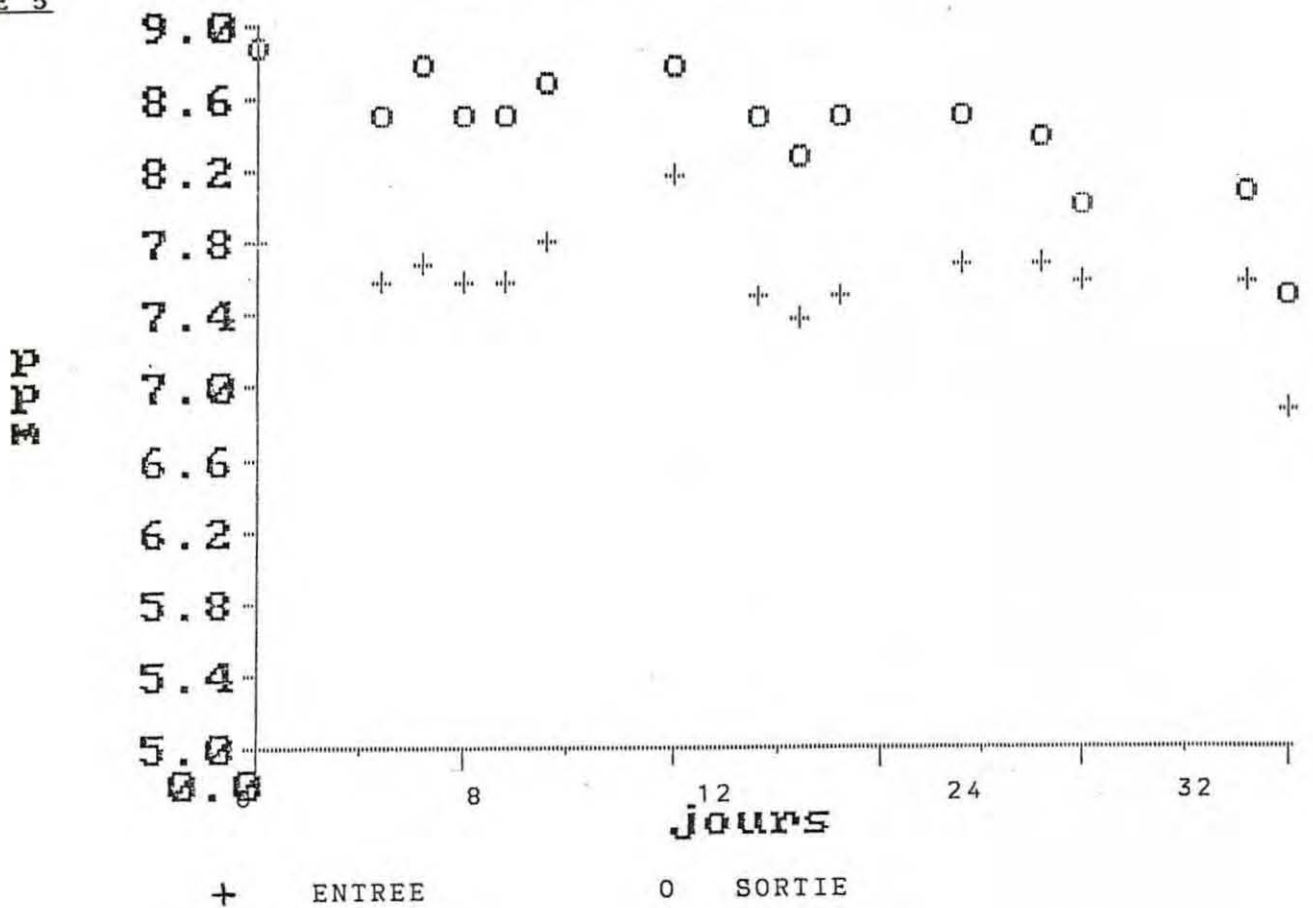
CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU
AVANT ET APRES LE TRAITEMENT
BIOFILTRE NURSERIE
 (Valeur moyenne)

TABLEAU 5

Débit de 10 m ³ h - 1	Entrée	Sortie
T°C	14,4	14,4
S%.	36,6	36,6
O ₂	8,1	7,7
Ph	7,3	7,4
NH ₄	0,7	0,02
NO ₂	0,45	0,00
Débit de 16 m ³ h - 1	Entrée	Sortie
T°C	14,4	14,4
S%.	36,6	36,6
O ₂	8,6	7,7
Ph	7,3	7,4
NH ₄	0,9	0,04
NO ₂	0,43	0,45
Débit de 23 m ³ h - 1	Entrée	Sortie
T°C	14,4	14,4
S%.	36,6	36,6
O ₂	8,5	7,6
Ph	7,3	7,3
NH ₄	0,9	0,07
NO ₂	0,43	0,45

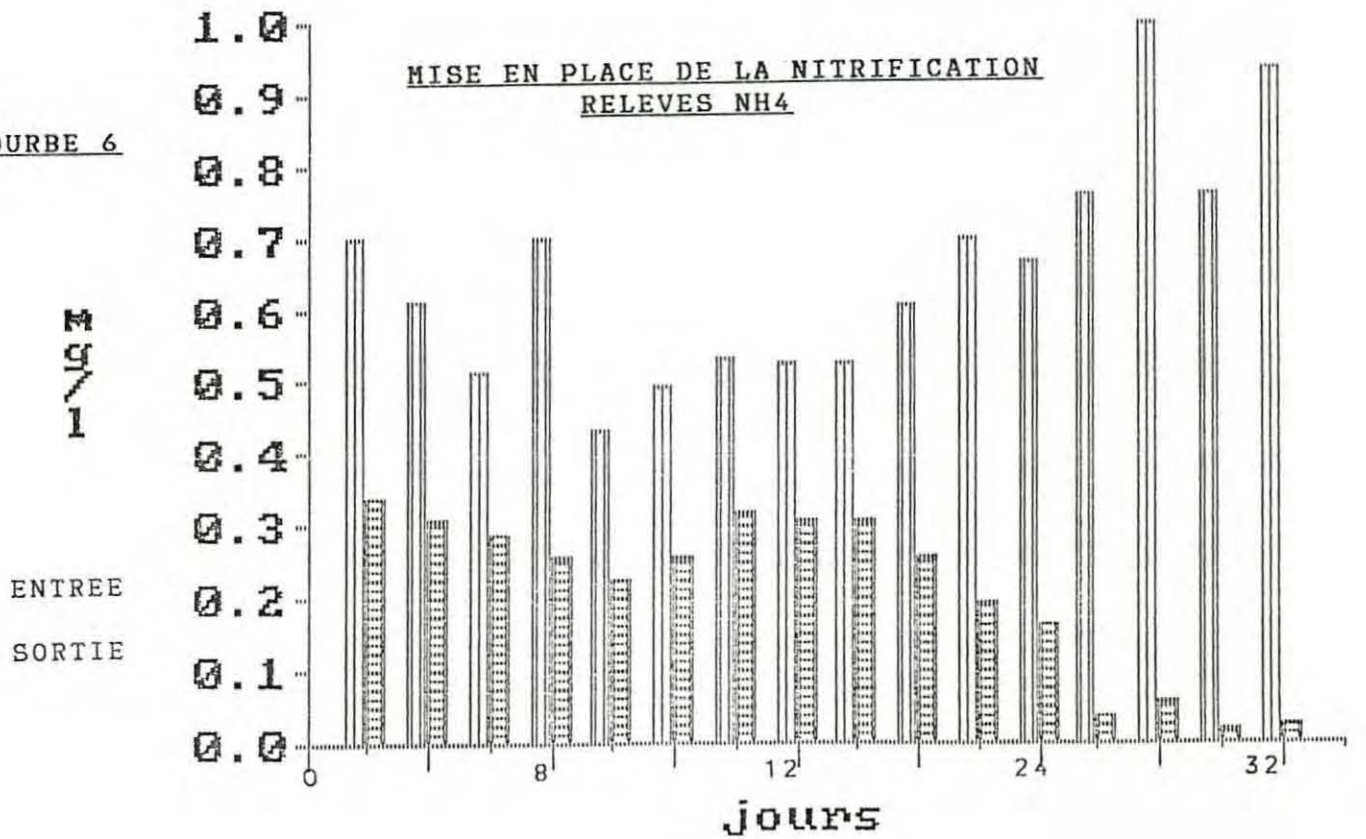
COURBE 5

RELEVES O2 BIOFILTRE



COURBE 6

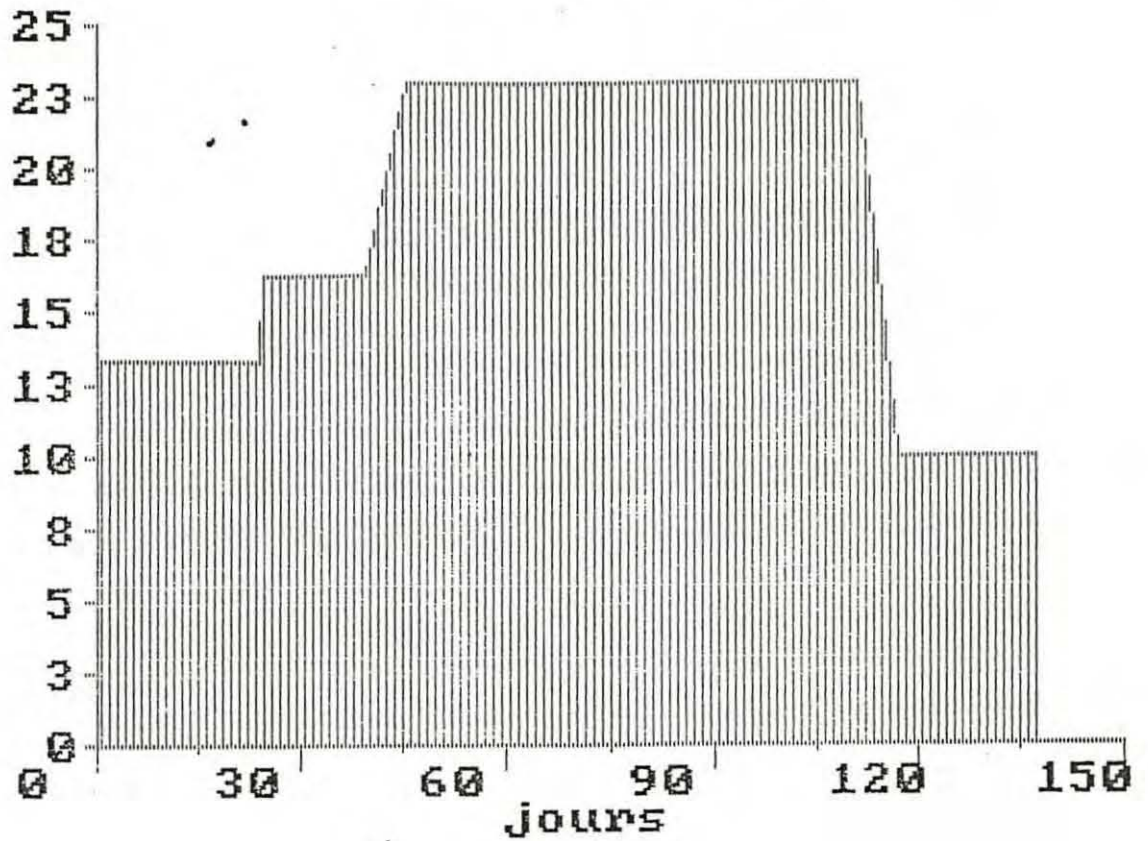
MISE EN PLACE DE LA NITRIFICATION
RELEVES NH₄



DEBIT BIOFILTRE

COURBE 7

M
3
/h



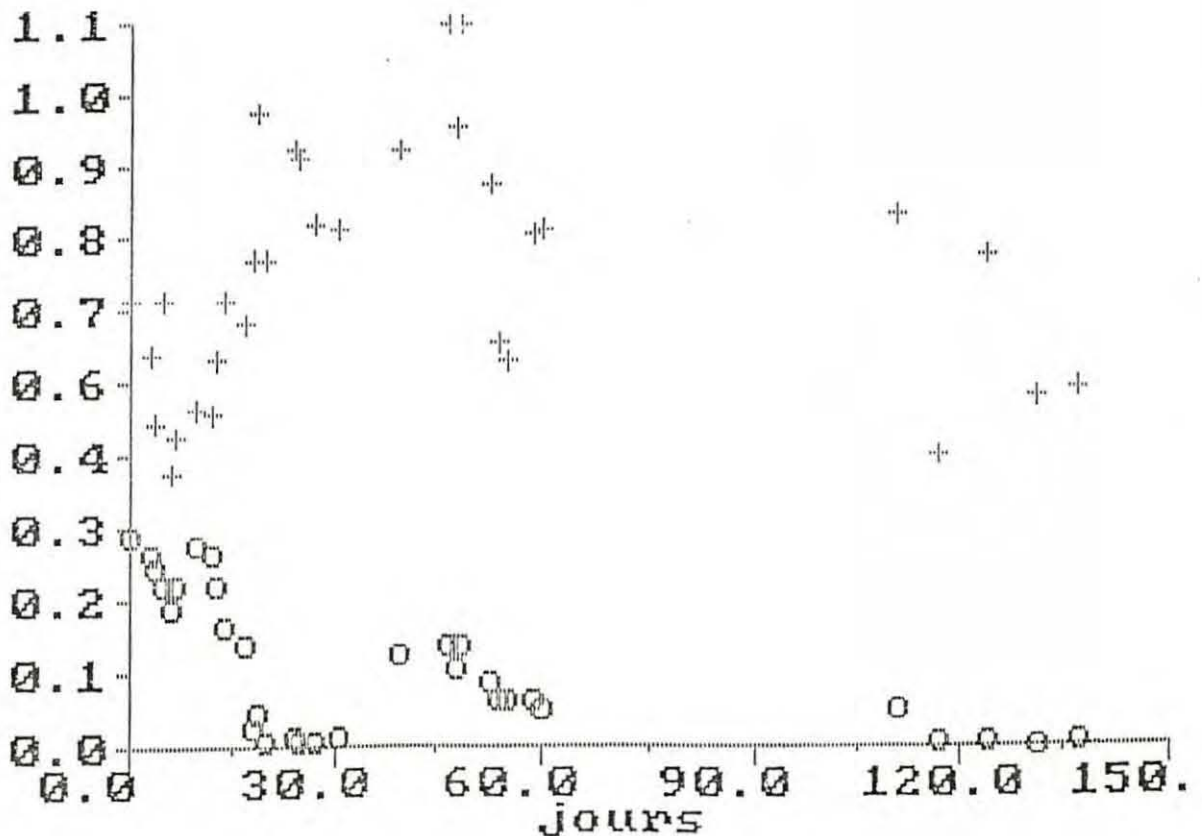
RELEVES NH4 BIOFILTRE

COURBE 8

M
g
/l

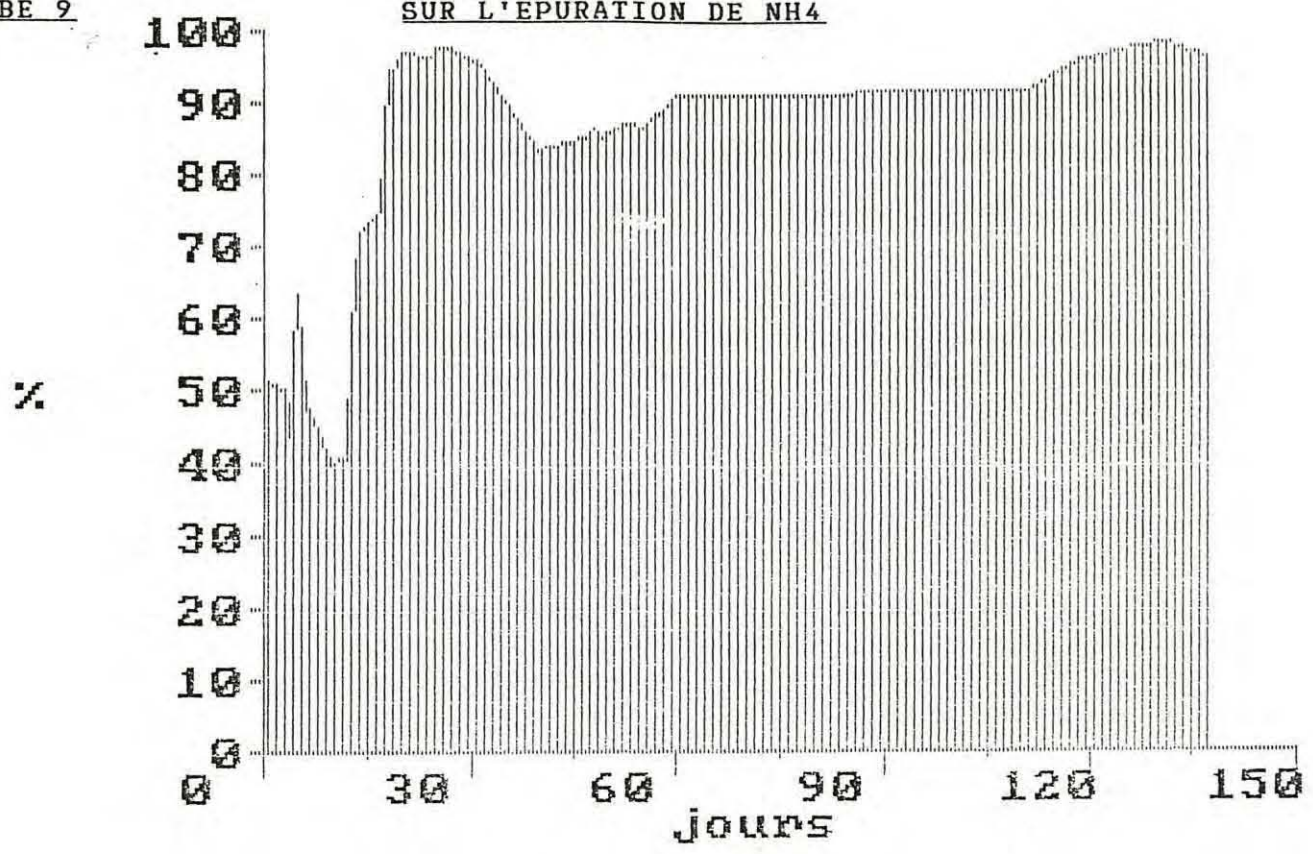
+ ENTREE

o SORTIE



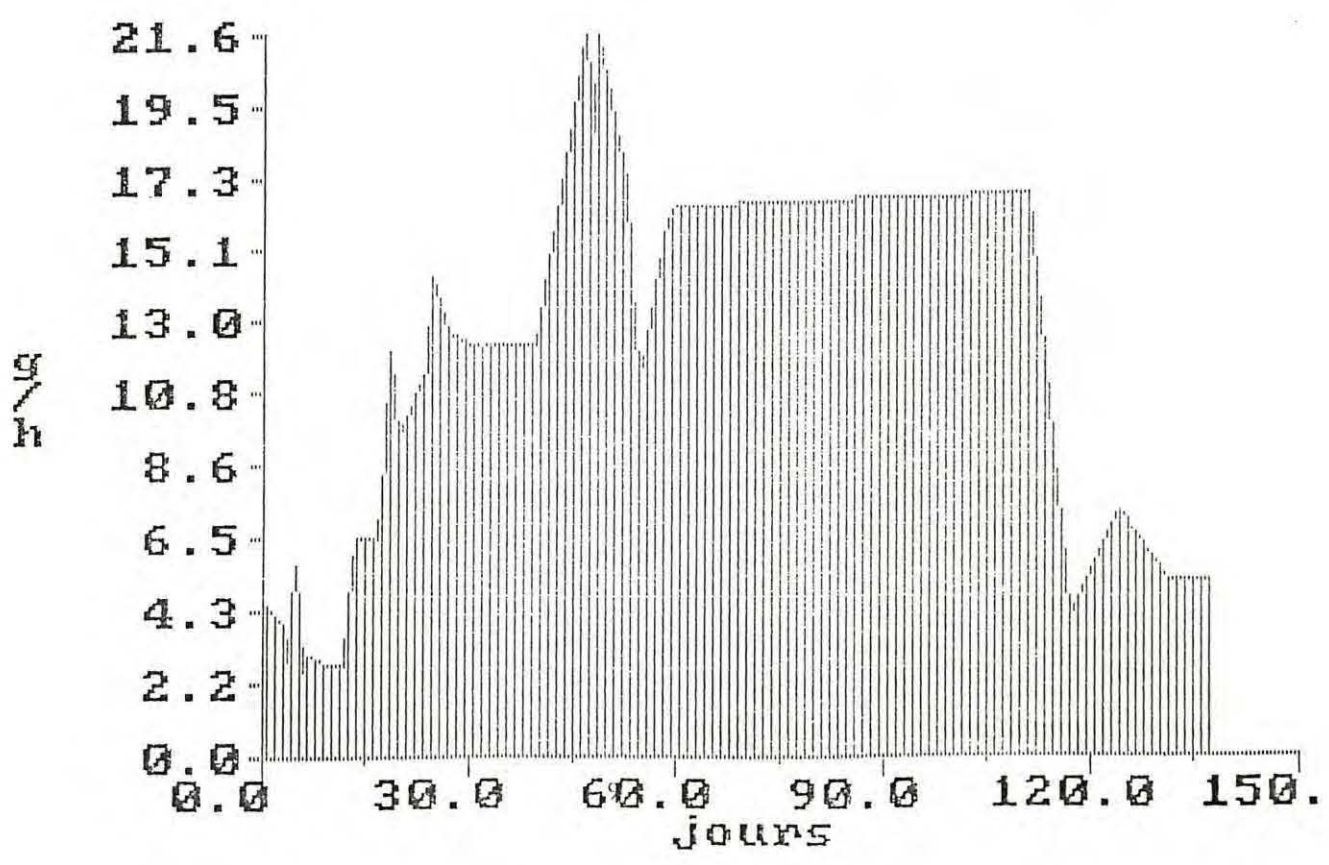
COURBE 9

PROFIL D'EFFICACITE
SUR L'EPURATION DE NH4



COURBE 10

PROFIL D'EPURATION EXPRIME
EN GRAMME DE NH4 PAR HEURE



PROBLEMES RENCONTRES

Nous n'avons pas rencontré de difficulté pendant toute la durée de fonctionnement du filtre. Seul un colmatage partiel du tamis UGB par les plus petits grains de BIOGROG est à signaler, et justifie un léger nettoyage une fois par mois.

AVANTAGE DU PROCEDE DE FILTRATION

- * Faible encombrement au sol et faible volume filtrant.
- * Utilisation simple.
- * Bonne stabilité de fonctionnement dans le temps pour de longues périodes en raison de la possibilité d'un lavage régulier.
- * Entretien réduit (pas de colmatage).
- * Capacité d'élimination de N NH₄ élevée.
- * Possibilité de traiter d'importants volumes rapidement. Consommation énergétique par m³ traité : 0,173 KWh/m³, soit 85 % plus élevé que le m³ d'eau seulement dégazée (D. LECLERCQ, 1988).

INCONVENIENT DU PROCEDE DE FILTRATION

- * Réalisation pratique plus complexe qu'un filtre horizontal ouvert.
- * Nécessité d'une pression supérieure pour élever l'eau dans la colonne.
- * Nettoyages quotidiens.

3. CONCLUSION GENERALE

Les traitements VYREDOX et dégazage sur colonne ont montré qu'ils étaient bien adaptés aux traitements des eaux souterraines.

Ils répondent avec succès aux besoins des utilisateurs qui se limitent pour l'instant à des usages ponctuels (hivernage, stockage).

Cependant l'étendue des applications possibles reste encore mal définie.

Pour la partie nitrification, le biofiltre pilote de la station avait pour mission le traitement de l'ammoniaque. L'objectif est atteint avec succès, on ne reviendra pas sur ses performances. Les conclusions de l'expérience FERRAT (1986) sur le prégrossissement de turbots, ainsi que celle de LE MOINE (1988) sur le prégrossissement hivernal de bars en eau de forage, montrent que l'utilisation de l'eau dégazée est préférable à l'utilisation de l'eau de mer ou de l'eau de mer échangée. C'est en effet l'eau qui offre le coût le moins élevé, et ces deux espèces étudiées ne semblent pas être sensibles au taux d'ammoniaque important que contient cette eau.

Compte tenu de ces observations, il apparaît normal de laisser de côté l'utilisation de l'eau biofiltrée pour ce stade de l'élevage, qui est d'un coût de revient plus élevé que l'eau seulement dégazée et qui n'offrirait pas d'autres avantages.

En revanche l'utilisation de l'eau biofiltrée sur des élevages larvaires mériterait d'être tentée. En effet la très faible turbidité et l'absence de bactérie ou parasite la rendent potentiellement intéressante.

Il n'est pas exclu de penser que cette eau puisse également trouver une autre perspective d'utilisation sur de nouvelles espèces plus sensibles.

A partir du même outil de biofiltration, une seconde forme d'utilisation s'avère prometteuse, c'est l'utilisation en circuit fermé, thermorégulé.

Une expérimentation est engagée dans cette voie et le filtre est déjà l'objet d'une étude en circuit fermé sur trois bacs de daurades royales.

La façon dont évolue ce circuit fermé nous laisse d'ores et déjà présager des résultats très intéressants.

B I B L I O G R A P H I E

- ARNOLD, 1982.
Rapport de stage réalisé à la station AQUALIVE de NOIRMOUTIER (Vendée)
Non publié.
- BLANCHETON JP., CHANU G., DIVANACH P., 1986.
Contribution à l'étude de la nitrification d'effluents aquacoles.
IFREMER / USTL MONTPELLIER.
- BRESSON G., 1981.
Possibilités d'exploitation des eaux souterraines en Vendée pour l'aquaculture.
Pub. D.D.A. Vendée (Février 1982)
- BRESSON G., 1982.
Compte rendu de la troisième campagne de forage réalisée pour le SMAM de NOIRMOUTIER (Vendée) AQUALIVE .
Non publié.
- CALVAS J., LE MOINE O., 1985.
Utilisation de l'eau souterraine salée en aquaculture :
L'expérience d'AQUALIVE .
- CHANU G., 1986.
Etude comparée de la nitrification en eau douce et en eau de mer.
- FABERES D., 1983.
Traitement des eaux salées souterraines de la station AQUALIVE par le procédé " VYREDOX " , efficacité de l'épuration pour le fer, l'azote ammoniacal et les métaux lourds.
Rapport de stage I S I M S T E / AQUALIVE.
Non publié
- FERRAT D., 1986
Etude de la qualité de l'eau et d'aliment sur le grossissement du turbot (Scophthalmus maximus)
- HUSSENOT J.,
Résultats de la seconde campagne de forage.
Rapport S. M. A. M.
Non publié.
- HUSSENOT J., 1983.
Synthèse des recherches entreprises à la station AQUALIVE du C. N. E. X. O. pour l'utilisation des eaux salées souterraines en aquaculture.
Rapport technique 83 - T03

- HUSSENOT J., 1985.
Les nappes salées souterraines des marais atlantiques et leur utilisation aquacole.
Colloque " Aquaculture en milieu de marais " 7 et 8 novembre 1985 - NOIRMOUTIER.
- KUMMER A., 1980.
Rapport de stage effectué à la station AQUALIVE.
ENSIAA / AQUALIVE.
Non publié.
- LAFFINEUR B. et LECLERCQ D., 1980.
Approche expérimentale de la filtration bactérienne en aquaculture, application à l'élevage d'Artemia salina.
I. S. A. Lille / BIOMAP.
Non publié.
- LODOVIS N., 1982.
Etude des eaux de forage sur l'île de NOIRMOUTIER (Vendée)
AQUALIVE.
Non publié.
- POQUILLON P., 1983
Aquaculture en eau salée souterraine : Traitement de l'eau et élevage hivernal du turbot (Scophthalmus maximus) et de la truite arc en ciel (Salmo gairdneri).
- PETIT, 1982.
Rapport d'étude concernant le traitement des eaux de mer du sous-sol à la station AQUALIVE.
Non publié.
- RUELLE F., 1983
Aquaculture en eau salée souterraine.
Station C. N. E. X. O. AQUALIVE (NOIRMOUTIER).
- VILLETARD V., 1980
Etude des eaux de forage à la station AQUALIVE.
Non publié.

METHODES ANALYSES

Les méthodes d'analyses utilisées sont celles décrites dans le manuel des analyses chimiques en milieu marin du CNEOX.

- * Azote ammoniacal (N - NH₄ et N - NH₃)
méthode de KOROLEFF (1969) modifiée en remplaçant l'hypochlorite par du dichloroisocyanurate de sodium C₃ Cl₂ Na N₃ O₃ à 4,63g/l.
- * Azote nitreux (N -NO₂)
méthode de BENSCHNEIDER et ROBENSON (1952).
- * pH, mesuré au pH-mètre (Ref : KNICK à microprocesseur, type 763.
- * Oxygène dissous mesuré à l'oxymètre YSI modèle 57
- * Salinité mesurée au salinomètre KENT EIL 5005
- * CO₂ dosage par méthode volumétrique (décrite par J. RODIER 1975).
- * Gaz dissous totaux mesuré au tensonmètre NOVATECH. (CANADA)

NB : Tous les dosages ont été traités immédiatement après la prise des échantillons.

L'utilisation de la méthode KOROLEFF pour le dosage de NH₃ dans les eaux souterraines de la station a posé quelques problèmes. Une étude a montré, en comparant la densité optique d'échantillon d'eau de mer et d'eau de forage ayant la même teneur en ammonium, que la densité optique après réaction était inférieure de 30% (POQUILLON 1982). IL est apparu que le pH très inférieur à celui de l'eau de mer soit à l'origine de cette réaction incomplète, ce coefficient est cependant variable en fonction de la dilution effectuée (LECLERCQ, 1988). (voir courbe 11).

COURBE 11

AZOTE AMMONIACAL

DENSITE OPTIQUE
COURBE 11
630 nm

0.505
0.45
0.400
0.35
0.325
0.25
0.200
0.15
0.105
0.05

REACTIFS DU: 29/03/88

FORAGE NURSERIE
EFFET DE LA DILUTION
A LIEAU DISTILLEE

20%

30% - 10%

40%

50%

60%

70%

80%

90%

100%

0 5 10 15 20 25 30 X

$\mu\text{M/l}$	$\times 0.014 \rightarrow$	$\text{N-NH}_4 \text{ mg/l}$
"	$\times 0.018 \rightarrow$	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4 \text{ mg/l}$

$\mu\text{Moles/litre}$

NITRIFICATION

TYPE DE FILTRE : Réacteur vertical à cultures fixées.

DIMENSIONNEMENT :

CARACTERISTIQUES :

DIMENSIONS : 1,05 m x 2,50 m

FORME : cylindrique

VOLUME : 2,16 m³

CHARGE HYDRAULIQUE : 460 m³/m³ jour

VITESSE DE PASSAGE : 26,5 m/h

DEBIT UTILISATION : (10 -23) m³ H-1

MATERIAU FILTRANT : VOLUME : 1,2 m³

INDICE DE VIDE : 45 %

SURFACE SPECIFIQUE :
SS > 300 m⁻¹

NATURE : BIOGROG (1,2-1,4mm)

SUIVI DU FILTRE : PHYSICOCHIMIQUE : Mesures NH₄, NO₂, Ph, O₂ .

BIOLOGIQUE : Aucun contrôle bactérien.

RESULTATS : CARACTERISTIQUES EFFLUENT :

	<u>ENTREE</u>	<u>SORTIE</u>
NH4	0,8 - 1,4	0,02 - 0,08
NO2	0,45	0,00 - 0,45
Ph	7,1 - 7,4	7,3 - 7,4
O2	8,1	7,6

EFFICACITE NH4 : 90 - 95 %

TAUX ELIMINATION AMMONIAQUE : MOYEN : 0,34g/l/24 heures

MAXIMUM : Pas étudié

CONCLUSION :

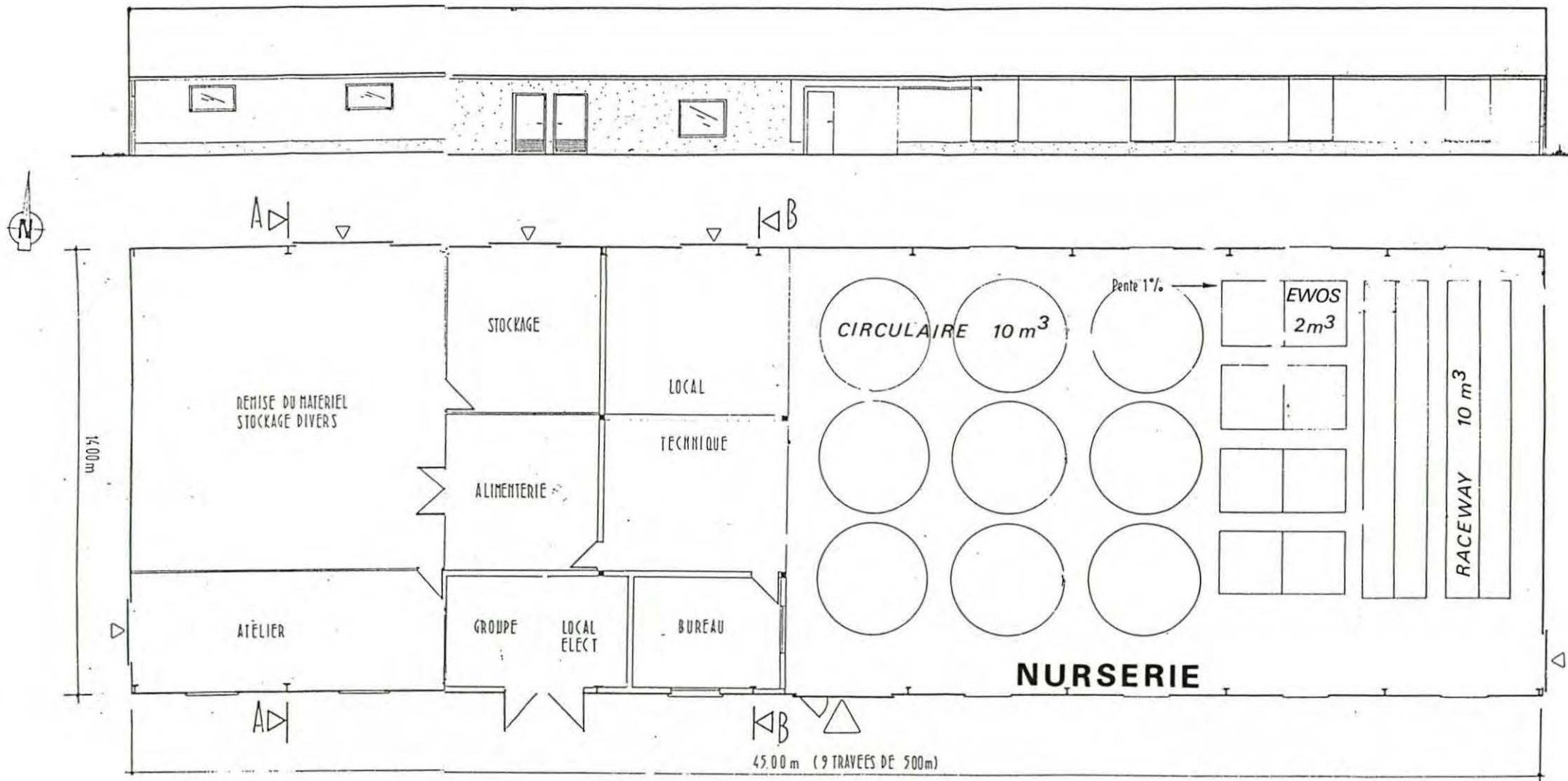
- * Filtre de volume réduit.
- * Utilisation facile.
- * Entretien très réduit.
- * Efficacité fiable pour un traitement élevé.

REFERENCES ET FOURNISSEURS DES MATERIELS
A LA STATION AQUALIVE
(EQUIPEMENT : TOUR DE DEGAZAGE ET BIOFILTRE)

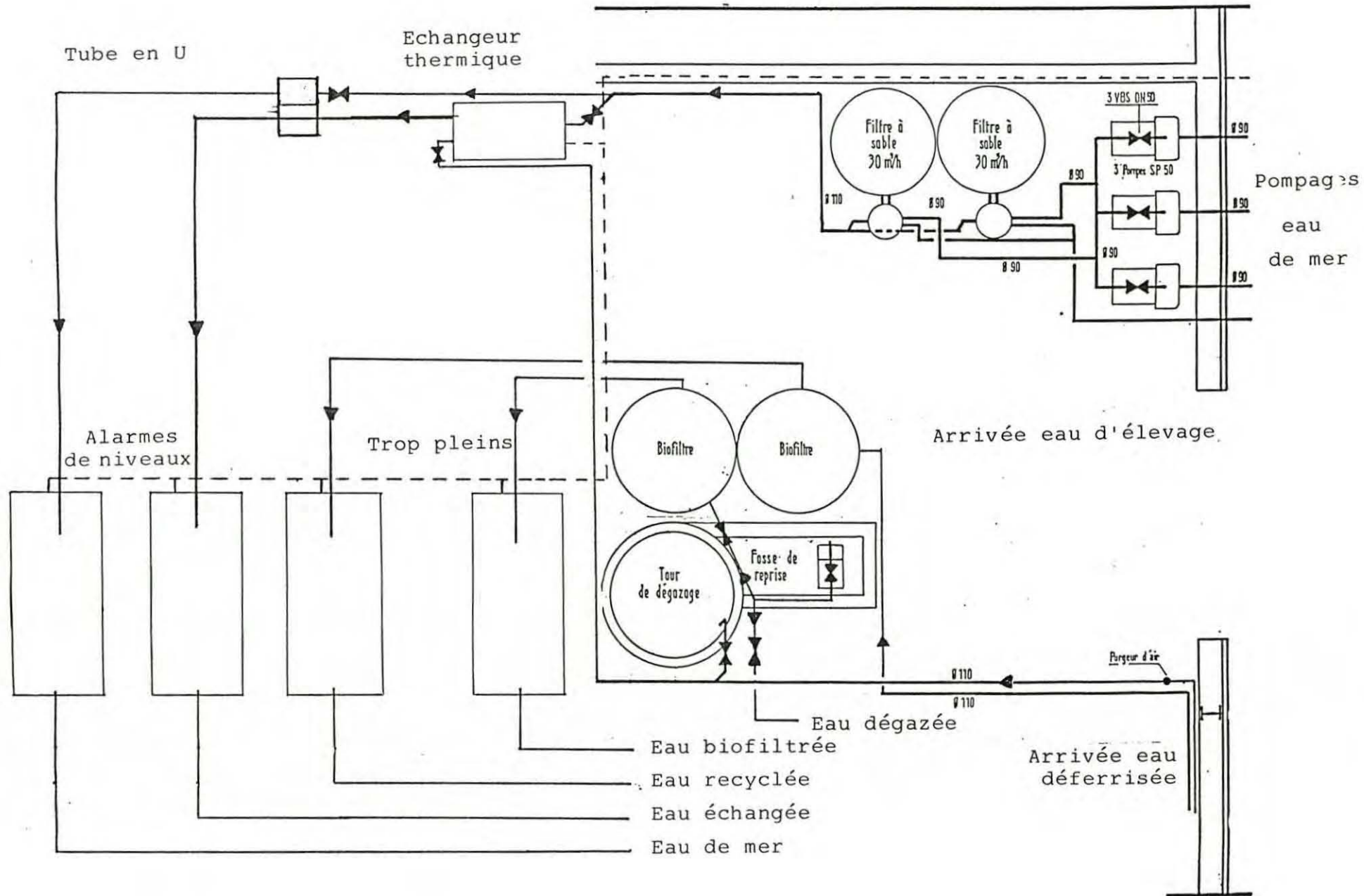
- . Anneaux LEVAPAK
TECHIM
4 rue de la Celle
78150 LE CHESNAY
Tel : (16.1) 39.54.77.32
- . Cuve polyester
Diamètre : 1050 mm
Epaisseur : 8 mm
Hauteur : 2 à 3 m
CHANTIERS NAVALS DE LA PRESQU'ILE
Rue du Pré du Pas
44490 LE CROISIC
Tel : 40.23.14.33
40.23.14.06
- . Pompes SP 30 - SP 50
Moteurs LEROY-SOMER
16015 ANGOULEME Cédex
Tel : 45.91.91.11
- . Manomètre
Série : + 2 000
Ref : 233.50
Diamètre : 100 mm
Gamme : de 0 à 0,6 bar
WIKA INSTRUMENTS S.A.R.L
B.P 229
Evolic 118
95523 CERGY-PONTOISE Cédex
Tel : (16.1) 30.32.13.66
- . Débitmètre à flotteur
pour air
GEMU
B.P 37
2 Allée des Foulons
67381 LINGOLSHEIM Cédex
Tel : 88.78.34.34
- . Tissus 800 µm
L'UNION DES GAZES A BLUTER
B.P 2
42360 PANISSIERES
Tel : 77.28.60.22
- . Diffuseurs d'air
(meules)
(Voir rapports techniques AQUALIVE)
- . Résines d'accrochage
Ref : S 3412 MILC
CHARBONNAGES DE FRANCE CHIMIE RT

- . BIOGROG
Granulométrie : 1,2
à 1,4 mm
 - . SURPRESSEUR
(entretien)
Type S C L 28 / 22
 - . SOUFFLANTE ELECTRIQUE PERFEX
2CF2 052 - 2EA
- ARGILES ET MINERAUX
Clerac
17270 MONTGYUYON
Tel : 46.04.17.11
 - SIEMENS S.A
39 . 47 Bd ORNANO
BP 109
93203 SAINT DENIS CEDEX 1
TEL : 820.61.20
 - 39 Bd Victor
75015 PARIS
TEL : 532. 24. 45

FACADE SUD

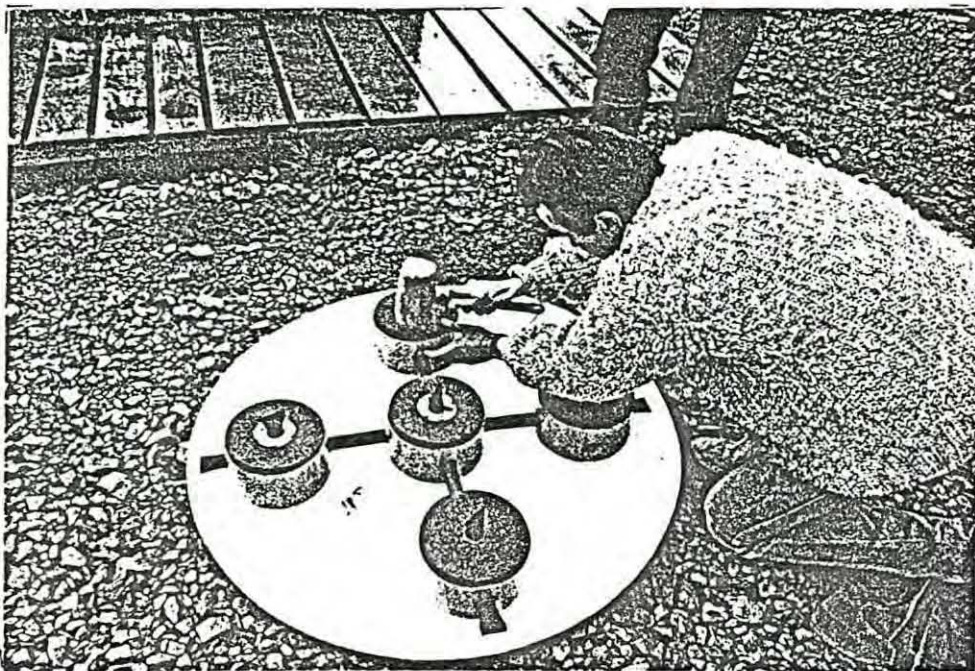
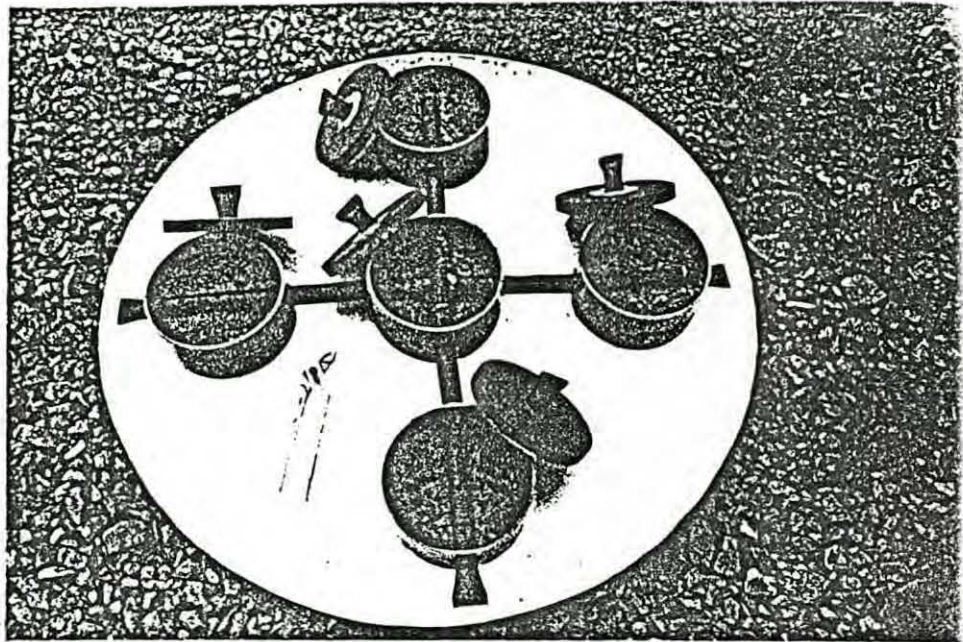


LOCAL TECHNIQUE NURSERIE



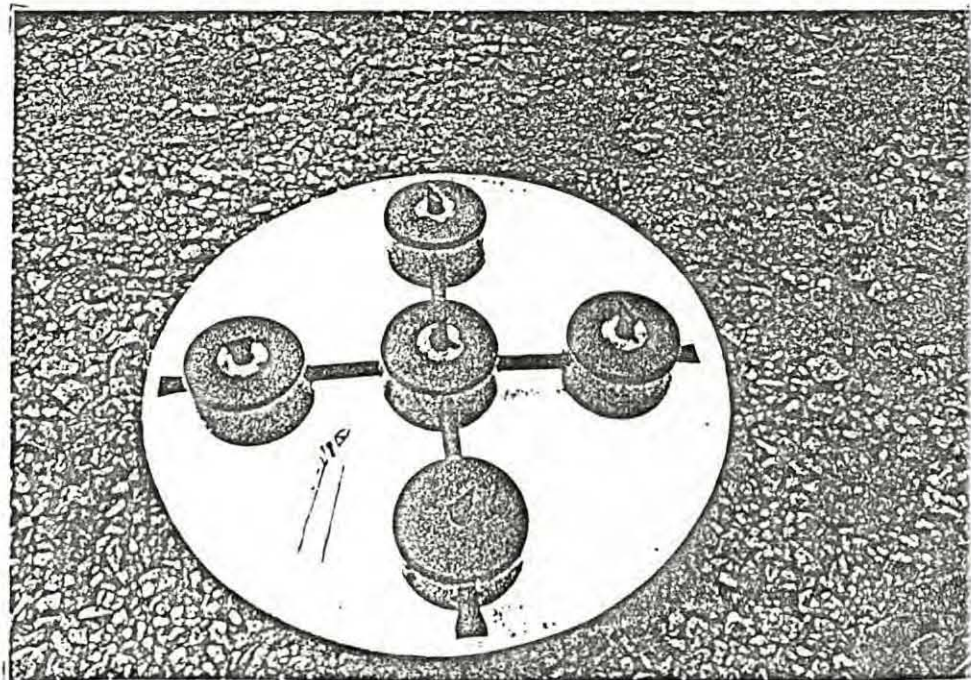
DIFFUSEUR D'AIR POUR
FILTRE BIOLOGIQUE

1. Les canalisations de PVC perforé sont montées sur les manchons de PVC, lestés au ciment.

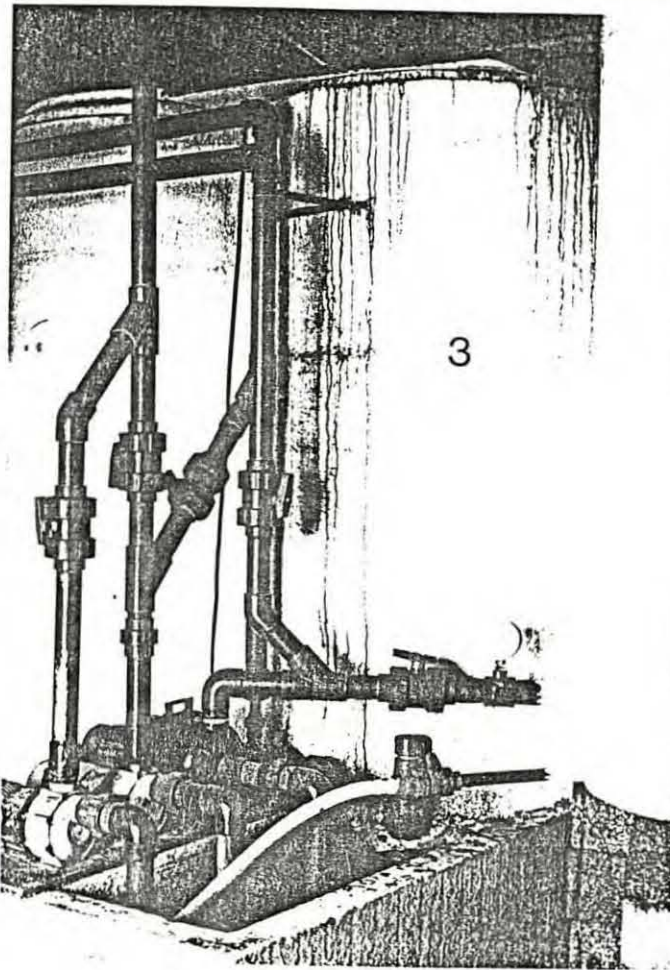
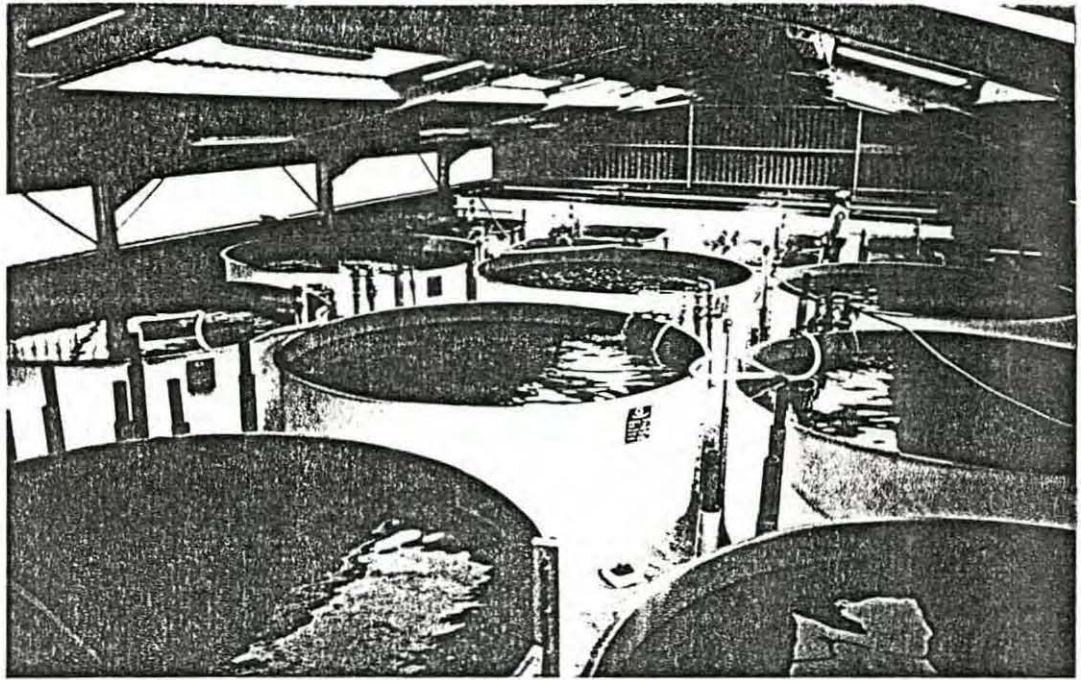


2. Montage des meules d'affutage

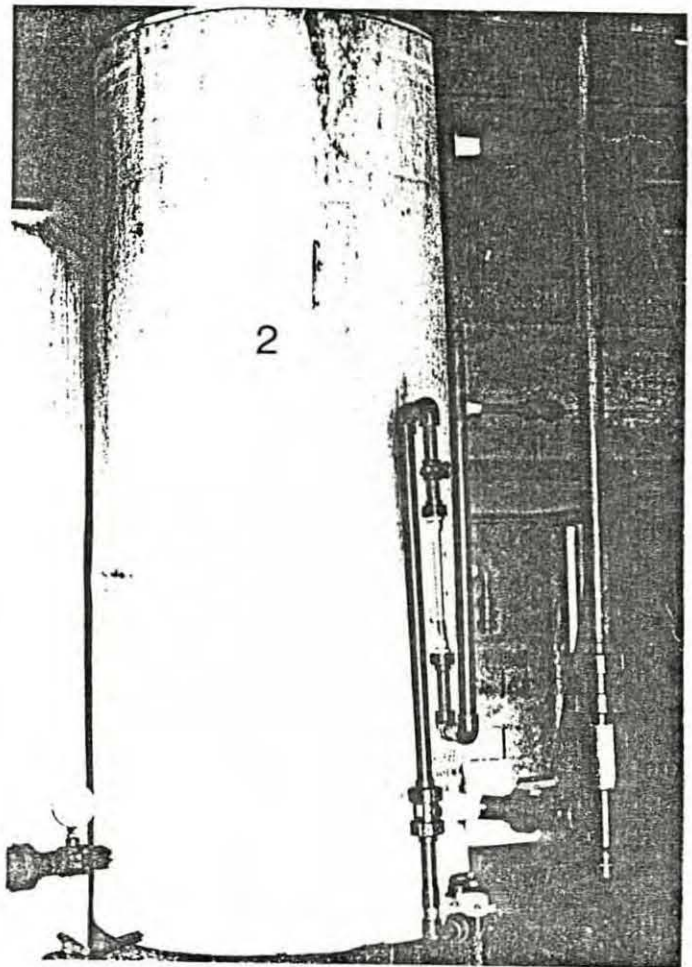
3. Système monté. Il suffit de raccorder la croix au réseau d'air surpressé.



1



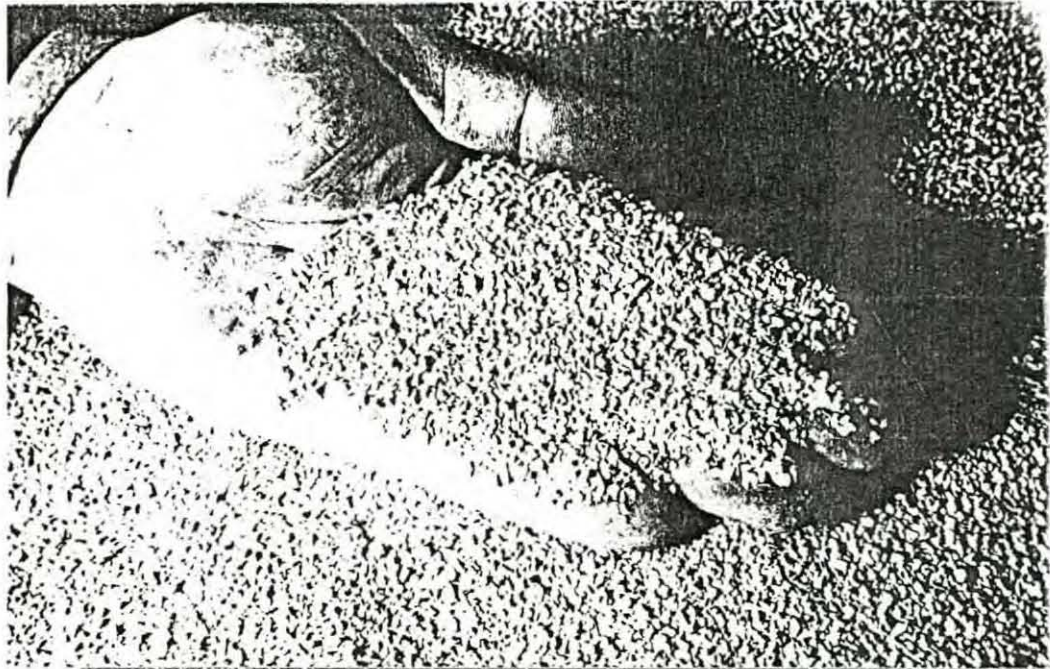
3



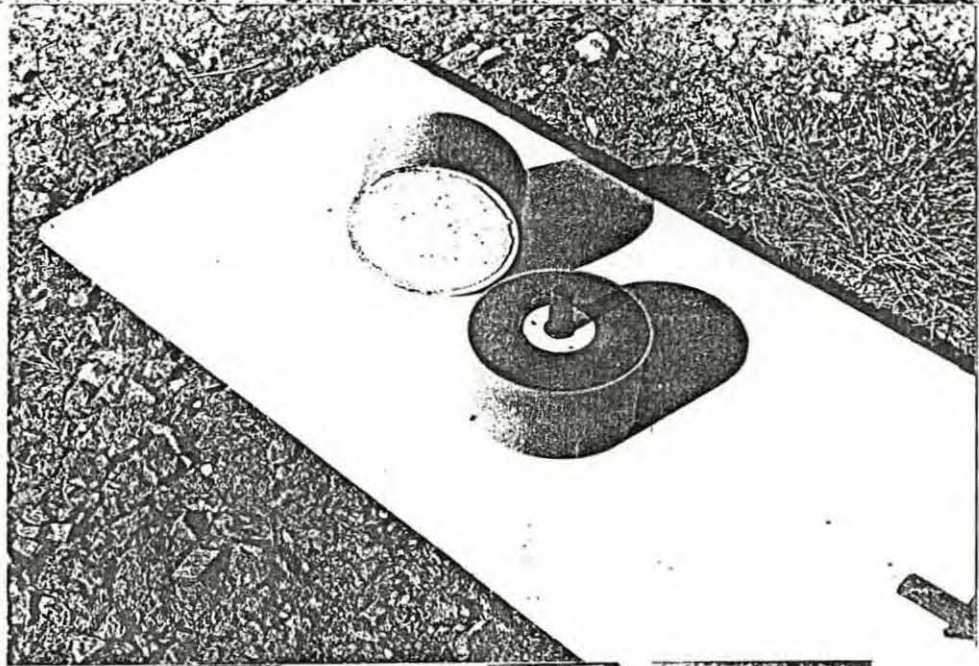
2

1 N U R S E R I E
2 B I O F I L T R E
3 T O U R D E D E G A Z A G E

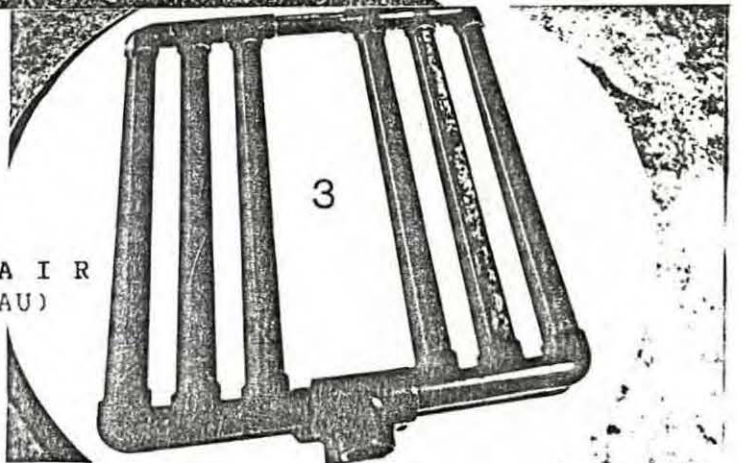
1



2

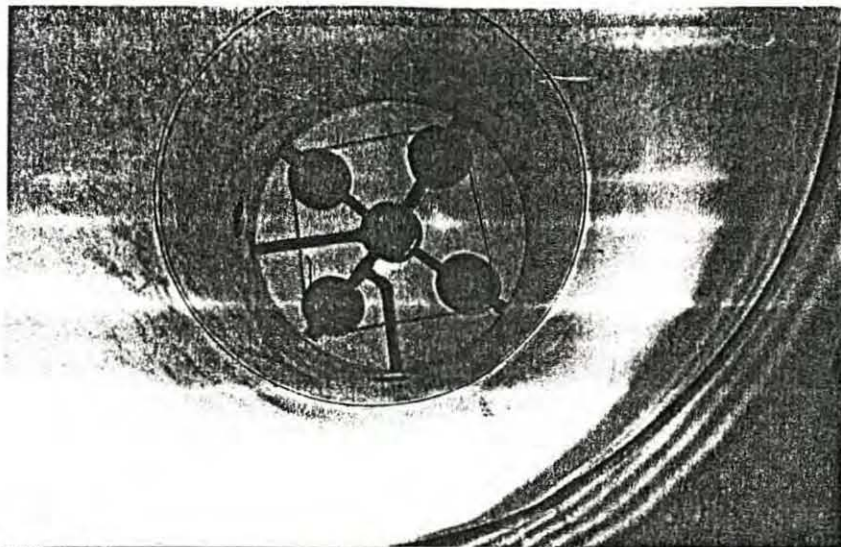


3

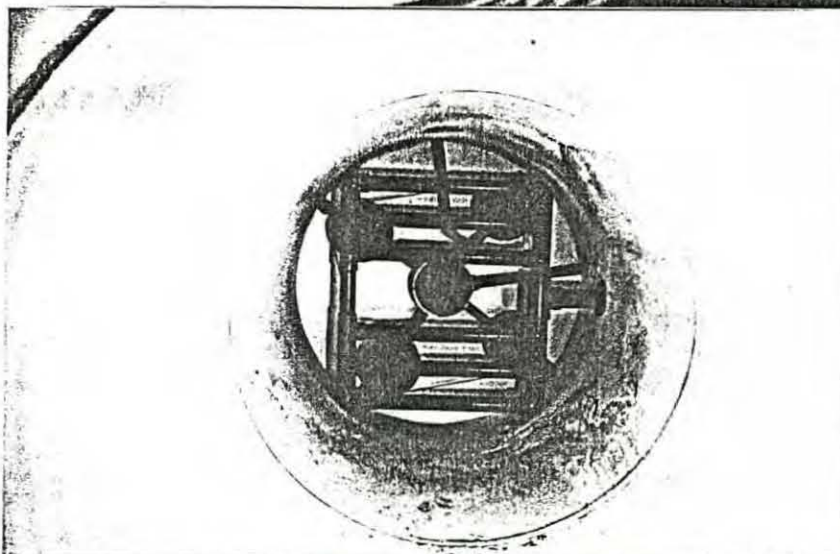


1 B I O G R O G
2 D I F F U S E U R S D ' A I R
3 R A M P E (D I F F U S E U R D ' E A U)

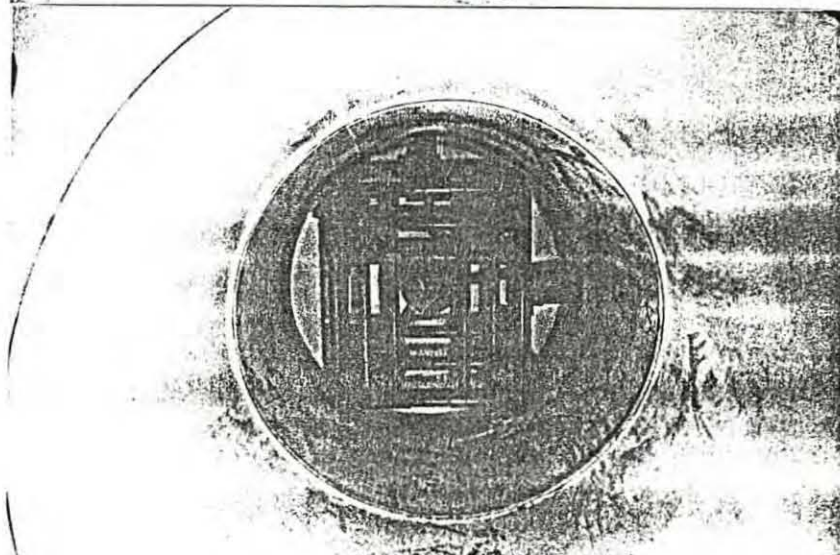
1



2



3



- 1 DIFFUSEURS D'AIR D'ENTRETIEN
- 2 DIFFUSEURS D'AIR D'ENTRETIEN + DIFFUSEURS D'EAU
- 3 DIFFUSEURS D'AIR D'ENTRETIEN + DIFFUSEURS D'EAU
+ RAMPE DE LAVAGE (AIR)