

BIOTECHNIQUES

I - BIOTECHNOLOGIE

Les eaux usées rejetées en un jour par l'agglomération parisienne représentent la moitié du débit de la Seine en été. Cela équivaut à une consommation journalière par habitant de 400 litres. Grâce au progrès de la Biotechnologie on commence aujourd'hui à développer des systèmes de plus en plus fiables et moins coûteux pour traiter les effluents urbains industriels ou agricoles. Ces systèmes tendent à favoriser le développement de micro organismes qui ont la faculté de se nourrir des polluants existants. En fait, à l'heure actuelle, tous les dispositifs d'épuration, même les plus modernes tendent à imiter la nature.

L'eau est indispensable à la vie sur la terre, mais aussi essentielle au développement industriel et agricole.

Depuis que l'homme existe, il cherche à améliorer ses ressources en eau, notamment en la stockant, en améliorant sa qualité et en la purifiant. Parallèlement son souci de rendre les eaux usées inoffensives pour la santé apparaît dans les textes des civilisations les plus anciennes. La collecte des eaux usées de Rome par un réseau d'égout ou celle d'Athènes pour irriguer les oliviers de la campagne environnante en sont d'excellents exemples.

Ce n'est qu'au XIXe siècle que les Etats les plus industrialisés ont engagé le financement nécessaire à une véritable politique d'assainissement et d'hygiène publique. A cette époque les énormes flux d'eaux polluées étaient récoltés puis déversés dans une rivière ou utilisées pour irriguer des cultures. Seules les capacités d'auto-épuration du sol et des rivières étaient utilisées. Aujourd'hui, l'épuration ne développe que des procédés physico-chimiques ou biologiques qui existent à l'état naturel. Le développement de l'épuration des eaux doit augmenter du fait de l'accroissement de la population humaine (2,5 milliards d'individus en 1957, 5 milliards en 1987).

Ce sont les Anglais qui furent les premiers en 1880 à chercher un moyen d'intensifier et accélérer le phénomène naturel d'auto-épuration. Le premier procédé développé installé en 1833 en Angleterre par J. CORBET et appelé "Lit Bactérien" copie l'auto-épuration dans le sol. Des bactéries aérobies se fixent naturellement sur des roches volcaniques ; ce gravier est entassé et on fait couler au travers un ruisseau d'eau à épurer tout en y maintenant une bonne aération nécessaire à la respiration des bactéries. L'eau recueillie à la base du lit est ainsi débarrassée de 90 % de ses polluants organiques.

Ce procédé rustique est encore utilisé pour des traitements légers, mais est remplacé par un autre procédé qui copie l'auto-épuration des rivières : les boues activées. Il comporte un bassin alimenté en continu par l'effluent à traiter, dans lequel se développe en "flocs" une population bactérienne formant une sorte de boue. Ce bassin est brassé et aéré afin d'oxygéner et de maintenir les flocs en suspension.

L'eau, ainsi débarrassée de ses polluants dissous est décantée. Une partie des boues, retourne dans le bassin d'oxydation et le surplus est éliminé ou réutilisé comme engrais, base d'aliment pour vers de terre ou envoi pour produire du méthane.

S'il est vrai que ce procédé a fait ses preuves depuis plus de soixante dix ans d'utilisation et de perfectionnement, il possède des limites techniques et économiques.

La biodégradation des polluants est lente et le temps de séjour dans le bassin d'oxydation varie selon la concentration du polluant, de la température, du mode de brassage et conditionne la conception de l'installation.

A l'heure où la pollution frappe l'ensemble des rivières du monde, concentrer de fortes quantités de poissons dans un volume restreint produit un flot de pollution non négligeable. A titre d'exemple un élevage de 20 tonnes d'anguilles produit un équivalent pollution de l'ordre de 5000 habitants. La possibilité de recycler l'eau permet d'intégrer dans l'environnement une production de protéines de qualité, sans rejeter dans le milieu naturel les déchets métaboliques correspondants.

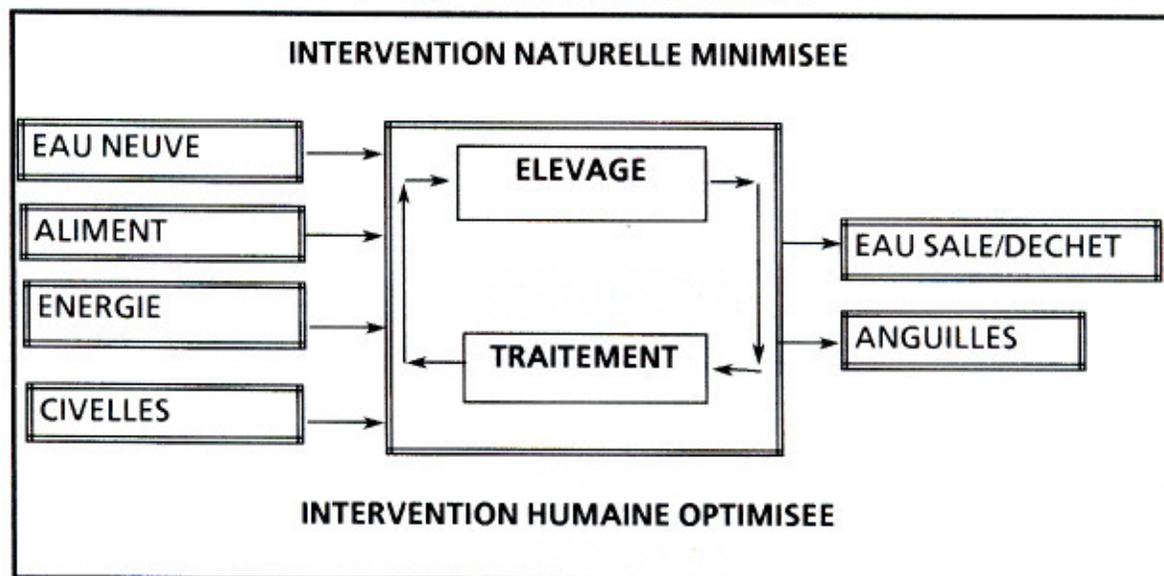
On parvient aujourd'hui avec une maîtrise des normes de traitement à faire évoluer ensemble une population de poissons qui s'accroît avec une population de bactéries en réponse à la pollution produite. L'homme comprend à ses dépens que la nature ne peut à elle seule digérer tous ces excès. Si l'homme ne rectifie pas lui-même ses erreurs, il altère son propre milieu et ses chances de survie. Les biotechnologies sont un pas de plus de l'homme dans la compréhension de son environnement, un pas qu'il est temps de franchir. L'institut de prospection norvégien du développement de l'aquaculture prévoit qu'en l'an 2000 plus de 50 % des fermes aquatiques auront un système de recyclage des eaux. L'élevage recyclé est une intégration plus adéquate de l'homme et de son milieu, une réaction économique et biologique de survie entre la société et son environnement.

COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTS SYSTEMES

D'ELEVAGE D'ANGUILLES

ELEVAGE EN BASSINS	SYSTEME A CIRCULATION D'EAU	SYSTEMES A EAU RECYCLE
Bassins avec un fond naturel dur ou un fond artificiel	Canaux ou bassins avec fond dur naturel ou artificiel	Réservoirs ou bassins en béton
L'eau peut être plus ou moins stagnante. L'eau qui s'évapore est remplacée ce qui provoque une accumulation de sels	De grosses quantités d'eau traversent le système. La densité d'empeisonnement est fonction du débit disponible	Le débit dépend du nombre d'anguilles que l'on élève. On peut recycler jusqu'à 90 à 98 % de l'eau
Les débris de nourriture restent dans le bassin et peuvent poser des problèmes lorsque la densité d'empeisonnement est élevée.	Les débris de nourriture sont entraînés hors du système.	Les débris de nourriture posent des problèmes, peuvent obstruer les filtres. Difficultés pour dissoudre les graisses et les protéines des aliments de mauvaise qualité.
Les métabolites peuvent s'accumuler dans l'eau et les déchets de poissons se décomposent ou se déposent sur le fond du bassin	Les métabolites et déchets de poissons sont entraînés hors du système.	Les métabolites et les déchets de poissons doivent être éliminés par filtration ou bio-traitement
Faibles densités d'empeisonnement 1 à 5 KG/M2	Fortes densités d'empeisonnement : jusqu'à 40 KG/M2	Fortes densités d'empeisonnement : jusqu'à 60 KG/M2
Arrêt de croissance en hiver accompagné d'une hibernation courte période de croissance.	Croissance souvent possible pendant la plus grde partie de l'année, un arrêt de croissance de courte durée peut se produire en hiver	Régulation de la température et croissance optimale.
Période de croissance de 3 à 4 ans	Période de croissance d'environ 2 à 2,5 ans	Période de croissance de 12 à 15 mois
Problèmes posés par l'épuisement de l'oxygène et la croissance excessive des algues.	Dans l'eau de refroidissement des centrales électriques, des problèmes posés par la maladie que provoquent les bulles de gaz, peuvent surgir	Problèmes avec les filtrations biologiques et l'échange de chaleur
Traitement des maladies difficile en raison de l'importance des volumes d'eau et de l'absorption des substances chimiques par les sédiments qui recouvrent le fond des bassins.	Traitement des maladies dans certaines limites, en réduisant si possible l'écoulement excessif d'eau dans les canaux ou les cages.	Traitement des maladies possibles, en prenant soin de ne pas détruire l'activité biologique dans les installations de filtrage.
Investissements relativement faibles et technologie assez simple	Investissements et technologie dépendant de l'intensité du système.	Investissements assez élevés et utilisation importante des techniques.

ELEVAGE EN CIRCUIT FERME



B / NORMES - PARAMETRES DE QUALITE :

L'anguille est un poisson primitif qui possède des qualités hors du commun des poissons. Il lui est possible de vivre dans un milieu salé ou non (faculté d'euryhalinité), dont la température peut varier de 0 à 30° C. Elle est aussi capable de respirer en grande partie par l'humidité et l'oxygène dissous qui se trouve à la surface de sa peau. Les conditions d'élevage ne conviennent pas à toutes et des phénomènes de stress peuvent se déclencher dès l'apparition d'une variation sur les paramètres essentiels. La gestion d'un élevage nécessite comme toute entreprise l'optimisation de la production et de la minimisation des coûts. Maximiser la production revient à optimiser la croissance des poissons en les plaçant dans le milieu qui leur convient le mieux. Grâce aux possibilités de contrôle des paramètres entrant en jeu il devient possible de conserver d'une manière stable les paliers physico- chimiques de qualité.

Température :

Le paramètre limitant la croissance des poissons le plus important est la température. Les processus métaboliques de l'anguille sont catalysés par la température qui intervient sur tout le processus biologique de création d'une matière alimentaire de qualité, c'est-à-dire de protéines et de lipides complexes. Le circuit fermé ne représente qu'une masse d'eau comparable à celle d'une piscine qu'il convient de maintenir à la température optimale qui est de l'ordre de 22-24°C pour les civelles et de 20-22°C pour les anguilles. L'énergie nécessaire se trouve autant minimisée que l'apport d'eau neuve au système est réduit. Il est possible de contrôler la température du système en limitant les écarts de température, générateurs de risques pathologiques à plus ou moins un degré celcius. (Voir thermorégulation).

Une variation de la température fait varier :

- le taux d'oxygène dissous,
- le taux d'azote dissous,
- la qualité de la filtration biologique,
- la croissance des anguilles,
- les dépenses énergétiques.

A titre d'exemple, S. SPOTTE nous donne :

Une hausse de 4 °C augmente l'oxydation de l'ammoniac de 50 % et des nitrites de 12 % .

Une baisse de 1°C réduit l'oxydation ammoniacale de 30 % et une baisse de 1,5°C réduit de 8 % comparativement aux données calculées.

Oxygène :

Parmi les paramètres essentiels se trouve l'oxygène, élément premier lié à l'eau et à un grand nombre de phénomènes biologiques intéressant l'élevage. L'eau est porteuse d'oxygène dissous variant en pourcentage de sa saturation en fonction du pH, de la salinité, de la demande chimique et biochimique en oxygène. Il est alors possible de prévoir les charges maximales et les plages de travail courant. Différentes expériences ont été menées en laboratoire pour déterminer les consommations d'oxygène dans les différentes phases de l'élevage (voir tableau ci-dessous).

La teneur en oxygène de l'eau est inversement proportionnelle à la température et à la salinité. Comparativement à un élevage en eau froide, les poissons disposent de moins d'oxygène en circuit fermé marin chauffé. Base essentielle de la qualité de l'eau, l'oxygène peut être renouvelé grâce aux échanges plus ou moins maîtrisés entre l'air et l'eau. Puisque la teneur en O₂ de l'air est plus grande que celle de l'eau, l'oxygène passe d'un milieu à l'autre afin de rétablir un équilibre des gaz entre eux, la rapidité d'un retour à cet équilibre est fonction de la surface d'échange offerte entre l'air et l'eau. Ainsi, plus les bulles diffusées sont fines, plus leur surface totale de contact est grande, meilleur sera le rendement de l'oxygénation, aussi fonction de la profondeur de la diffusion. Air lift, venturi, diffuseur, agitateur de surface, oxygène pur, tube en "U"... sont quelques types de systèmes techniques permettant de diffuser l'oxygène dans l'eau. La répartition de l'oxygène dissous dans les filtres biologiques assure la non-existence de zones anaérobies productrices de composés toxiques par le biais des fermentations.

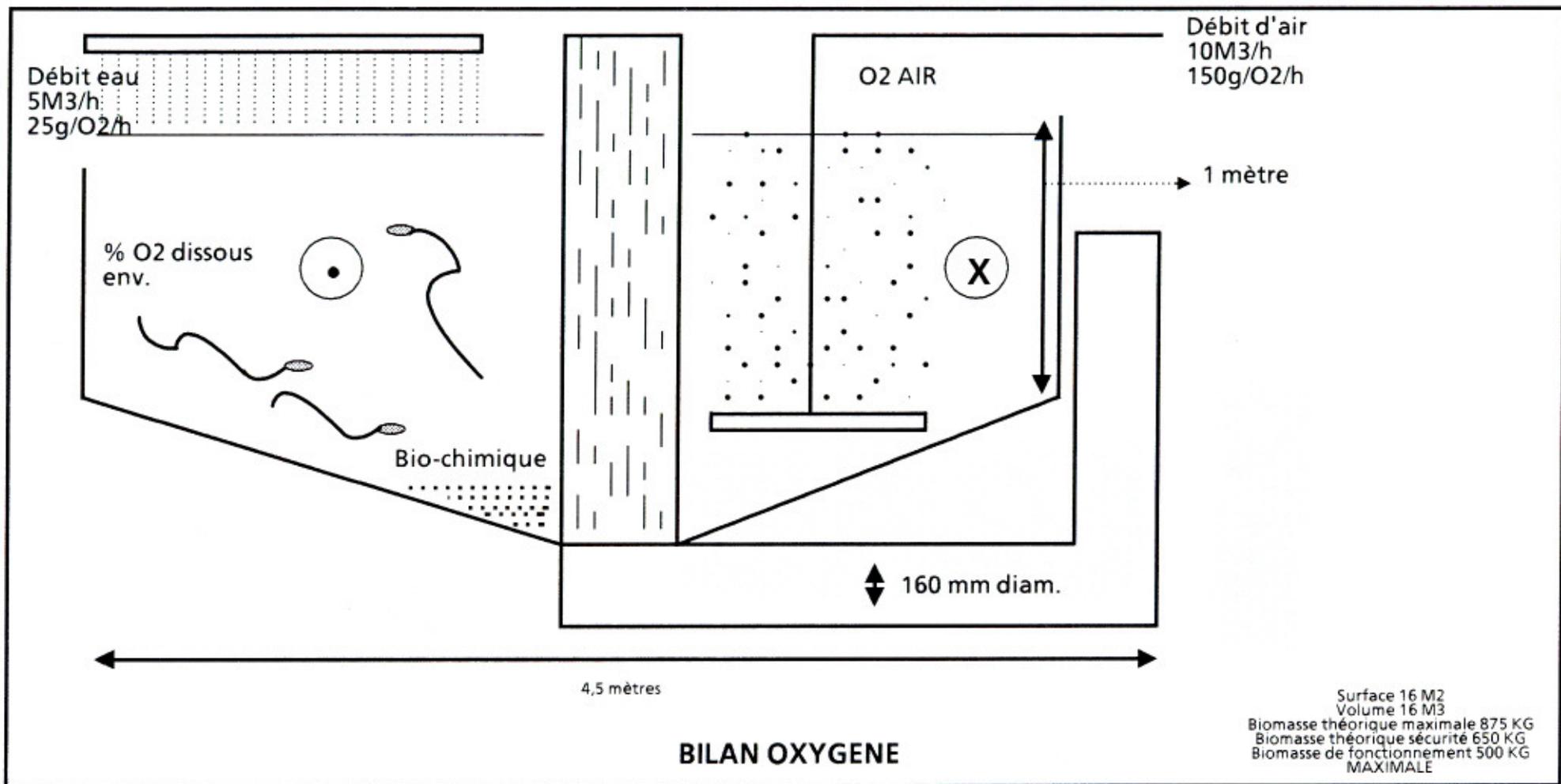
Un effort tout particulier doit être porté à l'apport en oxygène en jouant sur le débit d'arrivée d'eau à un plus ou moins grand taux de saturation suivant l'utilisation ou la non utilisation de l'oxygène pur. Il est possible aussi de diffuser directement dans le bassin. Ces deux actions directement mécaniques fournissent une dynamique d'ensemble assurant une meilleure répartition de l'oxygène dans le bassin et une meilleure élimination des matières en suspension et des eaux usées.

**TABLEAU DES TAUX D'OXYGENE DISSOUS (MG/L) A SATURATION A
DIFFERENTS TAUX DE CHLORINITE ET DE TEMPERATURE**

CHLORINITE (°/°°)

°C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1	14.24	13,87	13,54	13,22	12,91	12,59	12,29	11,99	11,70	11,42	11,15
2	13.84	13,50	13,18	12,88	12,56	12,26	11,88	11,69	11,40	11,13	10,86
3	43,45	13,14	12,84	12,55	12,25	11,96	11,68	11,39	11,12	10,85	10,59
4	13,09	12,79	12,51	12,22	11,93	11,65	11,38	11,10	10,83	10,59	10,34
5	12,75	12,45	12,18	11,91	11,63	11,36	11,09	10,83	10,57	10,33	10,10
6	12,44	12,15	11,86	11,60	11,33	11,07	10,82	10,56	10,32	10,09	9,86
7	12,13	11,85	11,58	11,32	11,06	10,82	10,56	10,32	10,07	9,84	9,63
8	11,85	11,56	11,29	11,05	10,80	10,56	10,32	10,07	9,84	9,61	9,40
9	11,56	11,29	11,02	10,77	10,54	10,30	10,07	9,84	9,61	9,40	9,20
10	11,29	11,03	10,77	10,53	10,30	10,07	9,84	9,61	9,40	9,20	9,00
11	11,05	10,77	10,53	10,29	10,07	9,84	9,63	9,41	9,20	9,00	8,80
12	10,80	10,53	10,29	10,06	9,84	9,63	9,41	9,21	9,00	8,80	8,61
13	10,56	10,30	10,07	9,84	9,63	9,41	9,21	9,01	8,81	8,61	8,42
14	10,33	10,07	09,86	9,63	9,41	9,21	9,01	8,81	8,62	8,44	8,25
15	10,10	9,86	09,64	9,43	9,23	9,03	8,83	8,64	8,44	8,27	8,09
16	9,89	9,66	9,44	9,24	9,03	8,84	8,64	8,47	8,28	8,11	7,94
17	9,67	9,46	9,26	9,05	8,85	8,65	8,47	8,30	8,11	7,94	7,78
18	9,46	9,27	9,07	8,87	8,67	8,48	8,31	8,14	7,97	7,79	7,64
19	9,28	9,08	8,88	8,68	8,50	8,31	8,15	7,98	7,08	7,65	7,49
20	9,11	8,90	8,70	8,51	8,32	8,15	7,99	7,84	7,66	7,51	7,36
21	8,93	8,72	8,54	8,35	8,17	7,99	7,84	7,69	7,52	7,38	7,23
22	8,75	8,55	8,38	8,19	8,02	7,85	7,69	7,54	7,39	7,25	7,11
23	8,60	8,40	8,22	8,04	7,87	7,71	7,55	7,41	7,26	7,12	6,99
24	8,44	8,25	8,07	7,89	7,72	7,56	7,42	7,28	7,13	6,99	6,86
25	8,27	8,09	7,92	7,75	7,58	7,44	7,29	7,15	7,01	6,88	6,75
26	8,12	7,94	7,78	7,62	7,45	7,31	7,16	7,03	6,89	6,76	6,63
27	7,98	7,79	7,64	7,49	7,32	7,18	7,03	6,91	6,78	6,65	6,52
28	7,84	7,65	7,51	7,36	7,19	7,06	6,92	6,79	6,66	6,53	6,40
29	7,69	7,52	7,38	7,23	7,08	6,95	6,82	6,68	6,55	6,42	6,29
30	7,56	7,39	7,25	7,12	6,96	6,83	6,70	6,58	6,45	6,32	6,19

BASSIN TYPE ANGUILE



DIVERSES TABLES DE CONSOMMATION D'OXYGENE PAR LES ANGUILLES

TEMPERATURE DE L'EAU °C	EAU STAGNANTE MG/H/KG	EAU COURANTE MG/H/KG
15,4 - 15	107,51	33,59
16,1		71,78
17,6	157,33	
18		112,45
19,4	172,85	

Consommation d'oxygène en fonction de la circulation de l'eau (MATSUI,1972 in QUERELLOU).

La période la plus critique de l'élevage sur le plan de la consommation d'oxygène est l'alimentation. Les anguilles doublent leur consommation pendant plus de deux heures à chaque repas. La part d'aliment non ingurgité crée une demande biochimique dont il faut tenir compte dans la gestion de l'oxygène dans le bassin. On peut aussi noter que le taux d'oxygène dissous augmente avec la pression atmosphérique. Une brusque chute de taux d'oxygène dissous provoque chez le poisson un ralentissement de son activité et donc de sa consommation. Une attitude est remarquable facilement :

Les anguillettes se rangent les unes à côté des autres à l'air libre sur tout support potentiel du bord des bassins, aux bords des mangeoires, tuyaux d'aérations....

Toute manipulation est un facteur de stress et augmente donc l'activité des poissons et leur consommation en oxygène. Si le taux d'oxygène dissous est trop bas, la croissance est ralentie et l'indice de consommation augmente l'organisme n'ayant pas assez d'oxygène pour dégrader et assimiler la nourriture. Il devient plus vulnérable, affaibli, donc une meilleure cible pour les maladies. D'une manière générale, les besoins de l'anguille sont faibles mais non négligeables, l'oxygène reste un facteur limitant de la croissance. Le taux minimum généralement admis est 3 mg/l.

Une fois oxygène et température contrôlées par les caractéristiques techniques de l'installation, les paramètres liés à la qualité de l'eau interviennent mais d'une manière plus forte sur la pathologie. Nous considérerons comme paramètres la luminosité, la salinité, le pH, les teneurs en différents composés azotés, l'odeur et autres phénomènes visibles (flottation).

Poids des anguilles	5	10	20	50	100	150	200	300
O2 consommé MG/H	1,1	1,7	2,9	5,5	8,9	11,9	14,6	19,3
O2 consommé MG/KG/H	214	171	143	108	89	78	73	64
O2 consommé CC/KG/H	150	120	100	76	62	55	51	45

Consommation par tête et par kilogramme en oxygène des anguilles (EGUSA, 1958 in QUERELLOU).

Luminosité :

L'éclairage solaire ou artificiel a une incidence sur l'anguille comme sur la qualité de l'eau d'élevage. On peut remarquer que des anguilles exposées à la lumière solaire directe craignent d'aller s'alimenter plus qu'en pénombre (phototactisme négatif). La photopériode naturelle apparaît être la plus propice sur les rendements de l'élevage. Les conséquences de la pénombre sur l'élevage face à une exposition directe sont aussi d'ordre biochimique. Tant qu'il existe une luminosité suffisante à la photosynthèse, des végétaux se développent dans le bassin et utilisent la matière organique en décomposition présente dans le bassin comme nutriment. En l'absence de ces végétaux la priorité est laissée à la flore bactérienne dont l'efficacité sur la nitrification des déchets azotés est largement supérieure à celle des végétaux. Il convient donc de maintenir une luminosité telle qu'elle permette de travailler, d'observer toute anomalie possible sans pour autant déclencher le développement phytoplanctonique et végétal important dans les bassins.

Salinité :

L'anguille est un poisson euryhalin qui supporte donc tout aussi bien sans altération des variations de salinité de l'eau douce à l'eau de mer. La salinité idéale, sans effet sur la croissance telle qu'elle a été testée en laboratoire se situe à 20 pour mille. Cette teneur en sel permet de limiter les risques pathologiques de l'eau douce et des élevages intensifs. Le taux d'oxygène dissous est inférieur à celui de l'eau douce donc la marge de sécurité nécessaire est diminuée. En circuit fermé, le phénomène d'évaporation et de concentration des sels est d'importance surtout lorsque la température de l'eau et la température ambiante présente un écart important. Il convient donc de réguler la salinité du circuit par un apport régulier d'eau douce afin de pallier à ce phénomène propre à l'aquaculture marine en eau douce. La nitrification est sensible aux variations de salinité de grande ampleur, néanmoins, une variation de 10 ‰ sur 24 heures affecte peu le fonctionnement des filtres. Les bactéries nitrifiantes sont plus efficaces en eau douce qu'en eau de mer car plus nombreuses par unité de surface. En eau de mer un circuit fermé laisse apparaître des taux d'ammoniac plus importants mais dont la toxicité est plus faible (voir tables d'ammoniac).

pH :

Le pH détermine l'équilibre acidité du circuit et renseigne donc sur la qualité de l'eau. Le pH optimum en circuit fermé est proche de la neutralité. Les anguilles supportent un pH variant de 6,5 à 7,5 sans dommage mais des variations de pH influenceront sur la minéralisation des composés azotés, la présence de gaz carbonique peut faire chuter la valeur du pH et ainsi le pH peut devenir un facteur limitant de la nitrification par Nitro somas dont l'optimum se situe plus vers 7,5.

TABLEAU DES REACTIONS BIOLOGIQUES NATURELLES AFFECTANT LE PH

REACTIONS		EFFET SUR LE PH
Photosynthèse	$6CO_2 + 6H_2O \Rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$	+
Respiration	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \Rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$	-
Fermentation	$C_6H_{12}O_6 + 3CO_2 \Rightarrow 3CH_4 + 6CO_2$	-
Nitrification	$NH_4 + 2O_2 \Rightarrow NO_3 + H_2O + 2H$	-
Dénitrification	$5C_6H_{12}O_6 + 24NO_3 + 24H \Rightarrow 30CO_2 + 12N_2 + 42H_2O$	+
Oxydation des sulfides	$HS + 2O_2 \Rightarrow SO_4^{2-} + H$	-
Réduction des sulfates	$C_6H_{12}O_6 + 3SO_4^{2-} + 3H \Rightarrow 6CO_2 + HS + 6H_2O$	+

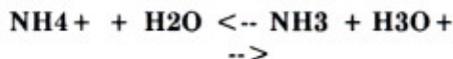
Déchets organiques :

La gestion des déchets représente le problème crucial de l'élevage. Les mesures sanitaires à mettre en place doivent être drastiques car elles drainent avec elles les temps de travaux nécessaires à l'entretien avec des conséquences sur la qualité du milieu offert aux poissons donc à leur hygiène et santé. La quantité de déchets produite dépend de la charge en poissons donc de l'aliment apporté au système. Sur la quantité d'aliment distribué, les déchets solides représentent environ 30 %. Il s'agit en majeure partie de l'aliment non digéré, qui peu à peu s'oxyde dans le bassin, utilise de l'oxygène et dégage des composés toxiques tels que l'ammoniac et les nitrites. Il est possible d'intervenir sur ce point grâce au contrôle de la qualité de l'aliment distribué (aliment naturel, pâte, granulé), en agissant sur la dynamique de l'eau dans le bassin afin d'éliminer rapidement les MES (matières en suspension) et enfin de prévoir un système de traitements efficaces.

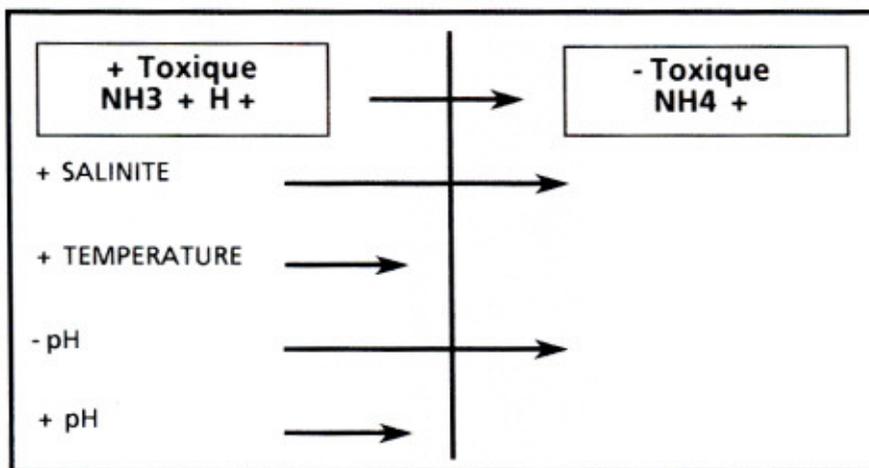
Composés toxiques :

Ammoniaque :

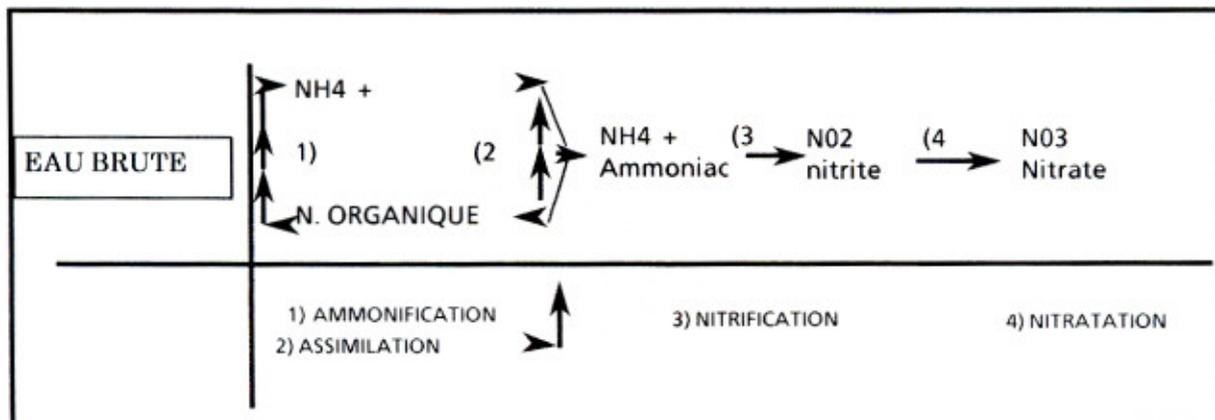
L'ammoniaque est produit soit directement par les poissons (par exemple : excrétion d'urée qui se transforme instantanément en ammoniaque dans l'eau) soit par la dégradation de la matière organique dans le milieu par des micro organismes hétérotrophes banaux (cyanobacter). Ce composant se trouve présent sous une forme ionisée NH_4^+ et non ionisée NH_3 , qui se trouve être de loin le plus toxique pour les anguilles. L'équilibre de dissociation est lié à la température, la salinité et le pH.



On peut schématiser les déplacements d'équilibre de la manière suivante :



Le schéma suivant permet de comprendre les différentes étapes de la transformation de l'azote :



POURCENTAGE D'AMMONIAC NON IONISE NH₃ PAR RAPPORT A L'AZOTE AMMONIACAL TOTAL (NH₃ + NH₄) EN FONCTION DE LA TEMPERATURE, DE LA SALINITE ET DU PH.

$$S = 0 \text{ ‰}$$

T °C	PH					
	6,5	7	7,5	8	8,5	9
0	0,025	0,078	0,247	0,778	2,42	7,27
2	0,030	0,094	0,295	0,927	2,87	8,56
4	0,035	0,111	0,351	1,10	3,40	10,0
6	0,042	0,132	0,417	1,31	4,02	11,7
8	0,050	0,157	0,493	1,54	4,72	13,6
10	0,059	0,185	0,582	1,82	5,53	15,6
12	0,069	0,218	0,686	2,14	6,46	17,9
14	0,081	0,256	0,806	2,50	7,51	20,4
16	0,095	0,301	0,945	2,93	8,71	23,2
18	0,112	0,352	1,10	3,41	10,0	26,1
20	0,130	0,411	1,29	3,96	11,5	29,2
22	0,152	0,479	1,50	4,59	13,2	32,5
24	0,177	0,557	1,74	5,30	15,0	35,9
26	0,205	0,646	2,02	6,11	17,1	39,4
28	0,238	0,748	2,33	7,01	19,3	43,0
30	0,275	0,865	2,68	8,02	21,6	46,6

$$S = 10 \text{ ‰}$$

T °C	PH					
	6,5	7	7,5	8	8,5	9
0	0,024	0,076	0,241	0,758	2,36	7,10
2	0,029	0,091	0,288	0,904	2,80	8,10
4	0,034	0,108	0,342	1,07	3,32	9,79
6	0,041	0,129	0,406	1,27	3,92	11,4
8	0,048	0,153	0,481	1,50	4,61	13,2
10	0,057	0,180	0,568	1,77	5,40	15,3
12	0,067	0,212	0,669	2,08	6,31	17,5
14	0,079	0,250	0,786	2,44	7,34	20,0
16	0,093	0,293	0,921	2,85	8,50	22,7
18	0,109	0,343	1,08	3,33	9,82	25,6
20	0,127	0,401	1,26	3,87	11,3	28,7
22	0,148	0,467	1,46	4,48	12,9	31,9
24	0,172	0,543	1,70	5,18	14,7	35,3
26	0,200	0,630	1,96	5,96	16,7	38,8
28	0,232	0,729	2,27	6,84	18,8	42,3
30	0,268	0,843	2,62	7,83	21,2	45,9

S = 20 ‰

T °C	PH					
	6,5	7	7,5	8	8,5	9
0	0,024	0,074	0,235	0,739	2,30	6,93
2	0,028	0,089	0,280	0,881	2,73	8,16
4	0,033	0,106	0,333	1,05	3,24	9,57
6	0,040	0,125	0,396	1,24	3,82	11,2
8	0,047	0,149	0,468	1,47	4,49	12,9
10	0,056	0,176	0,553	1,73	5,27	15,0
12	0,066	0,207	0,651	2,03	6,15	17,2
14	0,077	0,243	0,766	2,38	7,16	19,6
16	0,090	0,286	0,897	2,78	8,30	22,3
18	0,106	0,334	1,05	3,24	9,50	25,1
20	0,124	0,390	1,22	3,77	11,0	28,2
22	0,144	0,455	1,42	4,37	12,6	31,4
24	0,168	0,529	1,65	5,05	14,4	34,7
26	0,195	0,614	1,92	5,82	16,3	38,2
28	0,226	0,711	2,21	6,68	18,5	41,7
30	0,261	0,821	2,55	7,65	20,7	45,3

S = 30 ‰

T °C	PH					
	6,5	7	7,5	8	8,5	9
0	0,023	0,072	0,229	0,720	2,24	6,76
2	0,027	0,086	0,273	0,858	2,66	7,97
4	0,033	0,103	0,325	1,02	3,16	9,34
6	0,039	0,122	0,386	1,21	3,73	10,9
8	0,046	0,145	0,456	1,43	4,38	12,7
10	0,054	0,171	0,539	1,68	5,14	14,6
12	0,064	0,202	0,635	1,98	6,01	16,8
14	0,075	0,237	0,746	2,32	6,99	19,2
16	0,088	0,278	0,874	2,71	8,11	21,8
18	0,103	0,326	1,02	3,16	9,36	24,6
20	0,121	0,380	1,19	3,68	10,8	27,6
22	0,141	0,443	1,39	4,26	12,3	30,8
24	0,164	0,515	1,61	4,93	14,1	34,1
26	0,190	0,598	1,87	5,68	16,0	37,6
28	0,220	0,693	2,16	6,52	18,1	41,1
30	0,254	0,800	2,49	7,47	20,3	44,7

$$S = 35 \text{ ‰}$$

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	9,23
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	2,68	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

$$S = 40 \text{ ‰}$$

T °C	PH					
	6,5	7	7,5	8	8,5	9
0	0,022	0,071	0,223	0,702	2,19	6,60
2	0,027	0,084	0,266	0,836	2,60	7,78
4	0,032	0,100	0,137	0,994	3,08	9,12
6	0,038	0,119	0,376	1,18	3,63	10,7
8	0,045	0,141	0,445	1,39	4,28	12,4
10	0,053	0,167	0,525	1,64	5,01	14,3
12	0,062	0,196	0,619	1,93	5,86	16,4
14	0,073	0,231	0,727	2,26	6,82	18,8
16	0,086	0,271	0,852	2,65	7,91	21,4
18	0,101	0,317	0,997	3,08	9,14	24,1
20	0,117	0,371	1,16	3,59	10,5	27,1
22	0,137	0,432	1,35	4,16	12,1	30,3
24	0,159	0,502	1,57	4,81	13,8	33,5
26	0,185	0,583	1,82	5,54	15,6	37,0
28	0,214	0,675	2,10	6,36	17,7	40,5
30	0,248	0,780	2,43	7,29	19,9	44,0

Une partie de l'azote ammoniacal se trouve directement assimilée par les bactéries pour effectuer leur propre synthèse, le reste est transformé en nitrites puis en nitrates. Une telle transformation nécessite un apport d'oxygène indispensable à la minéralisation organique : il faut 4,2 g d'oxygène par gramme de N- NO_3 formé. Les bactéries intervenant dans cette transformation ont un temps de doublement élevé au moins égal à 24 heures. Tout choc brutal lié à une manipulation se retrouvera partout dans le circuit sans que les procédés de filtrations biologiques puissent intervenir. Les nitrites apparaissent comme les composés intermédiaires de la transformation et sont de loin les composés les plus toxiques pour les poissons. Ils se combinent dans le sang sur les fixateurs d'oxygène et altèrent le métabolisme complet de l'anguille donc sa croissance. A faible dose ils constituent tout de même un facteur de stress pouvant réduire les performances de l'élevage. Ils doivent donc être parfaitement contrôlés. L'apparition des taux de nitrites peut être due à des zones anaérobies qu'il faut rapidement nettoyer, à un manque d'oxygène dans les filtres biologiques ou à une trop grande quantité de pollution produite.

Autres paramètres :

Différents paramètres liés à la maintenance de l'installation permettent de préciser la qualité du milieu offert aux poissons, telle la turbidité qui donne une idée sur la teneur en matière en suspension, l'odeur qui peut renseigner sur la qualité d'ensemble. Ces paramètres sont plus liés à la connaissance de l'installation qu'à des mesures précises comme celles permises pour les divers composants physico-chimiques de l'eau mais renseignent autant sur l'éventualité d'un problème. L'acoustique de l'installation a aussi une incidence sur la performance. Les vibrations transmises par les pompes et aérateurs sont provocateurs de stress, de pertes d'appétit, d'agressivité, augmentant le cannibalisme. Acoustique et isolation thermique vont de pair pour éviter toute vibration ou choc accidentel ou répété et diminuer les écarts de température.