

Rénovation technique de l'Aquarium du Musée national des arts africains et océaniens

Michel HIGNETTE

Aquarium du Musée national
des arts africains et océaniens (MAAO)
293 avenue Daumesnil
75012 Paris
FRANCE

ABSTRACT

Technical rénovation at thé MAAO Aquarium – Paris

The MAAO aquarium, built in 1931, has undergone partial modernization. However, in spite of this, the technical installations needed to be completely restored.

This work began in 1985 and consisted of the following phases. The general water treatment process for sea water was renovated; a heating device was added to the decantation tank, together with an ultra-violet sterilization system. Similar modifications are currently being made to the fresh water system. The tanks on exhibit are made of concrete which is progressively being replaced by reinforced polyester resin. These new tanks can function on a closed circuit: the filtration system is incorporated to the framework of each tank.

These various improvements have enabled us to display animals which are part of the educational program of the aquarium.

RÉSUMÉ

Malgré des rénovations partielles, les installations techniques de l'Aquarium du Musée national des arts africains et océaniens, créé en 1931, nécessitaient une restauration complète qui a commencé en 1985.

Le système centralisé de traitement de l'eau de mer a été rénové et complété par un dispositif de stérilisation de l'eau par ultraviolets et par un système de chauffage immergé dans la cuve de décantation. Une opération analogue est en cours sur le circuit général d'eau douce. Les bacs d'exposition en béton sont progressivement remplacés par des aquariums en résine de polyester armé, qui peuvent fonctionner en circuit fermé grâce à un système de filtration incorporé dans leur support.

Ces améliorations techniques permettent de présenter des animaux correspondant au programme éducatif de l'aquarium

INTRODUCTION

Ouvert en 1931 pour l'Exposition coloniale, l'Aquarium tropical du Musée des arts africains et océaniques, malgré des modernisations partielles, n'avait pas suivi l'évolution des techniques aquariologiques et les matériaux utilisés pour sa construction accusaient une forte dégradation.

En 1985, la Direction des musées de France (Ministère de la Culture) entreprit sa rénovation. Il fut décidé de laisser l'Aquarium ouvert au public et de procéder par tranches successives; les besoins furent évalués et les priorités définies.

RÉNOVATION GÉNÉRALE DU CIRCUIT D'EAU DE MER

Le circuit d'eau de mer centralisé ne permettait aucune autonomie des différents bacs. L'eau collectée au fond des aquariums s'écoulait, par des bondes-siphons, dans une cuve de décantation de 9 mètres de long située sous l'Aquarium public. Des pompes faisaient monter cette eau 16 mètres plus haut, sur la terrasse du Musée, d'où elle s'écoulait par gravité. Grâce à la pression hydrostatique, l'eau passait dans deux filtres à sable de 0,15 m² de surface, fonctionnant en parallèle, puis sur un filtre à charbon de même dimension, avant d'alimenter les bacs.

Les matériaux utilisés à l'époque (filtres en acier émaillé, canalisations en plomb) étaient si corrodés que, les vannes étant grippées, il n'était plus possible d'effectuer le nettoyage des filtres par contre-courant. Les filtres s'encrassaient progressivement, la quantité d'eau arrivant aux aquariums diminuait inexorablement ; ces derniers étaient condamnés à disparaître faute d'un système de filtration autonome.

Pour conserver les poissons pendant la rénovation des filtres, il a fallu installer un système temporaire d'épuration de l'eau.

- A l'arrivée de l'eau dans la cuve de décantation, on a placé un préfiltre mécanique en mousse de polyéther que l'on nettoyait chaque jour, pour éviter l'encrassement des autres matériaux de filtration situés en aval.

- Une filtration biologique peu coûteuse a été tentée en immergeant 6 m³ de copeaux de polyéthylène dans la cuve de décantation. Cette matière inaltérable offre un important rapport surface/volume et donne de bons résultats en aquaculture. Des essais d'ensemencement avec des bactéries nitrifiantes du commerce, puis avec des bactéries provenant des filtres de l'Aquarium, cultivées au laboratoire de la Ménagerie du Muséum national d'histoire naturelle, et testées avec succès in vitro, n'ont pas eu d'effet positif pendant trois mois. C'est seulement après huit mois que l'on constate une action (NO₂⁻ de 0,06 ppm à 0,04 ppm). Ce délai peut s'expliquer si on admet que les bactéries se fixent, non pas directement sur le polyéthylène, mais sur un film biologique qui le recouvre. Ce film se développe plus rapidement dans les eaux traitées en aquaculture que dans celles de l'aquarium, moins chargées en matière organique.

- Un petit compartiment de filtration gravitaire (S = 0,21 m², V = 0,13 m³) aménagé directement après le passage de l'eau sur la mousse de polyéther, a été rempli de zéolithes (clinoptilolite). Ensemencé de façon naturelle, ce filtre a eu une bonne efficacité au bout d'une quarantaine de jours (NH₄⁺ non détectable dans nos conditions de mesure: spectrophotomètre Spectroquant II Merck-Clevenot et réactifs Spectroquant, NO₂⁻ passant de 0,18 à 0,06 ppm en moyenne pour un débit d'environ 3 m³.h⁻¹, soit une vitesse d'approche de 14 m.h⁻¹).

Ces masses filtrantes, mises en place pour la durée des travaux, ont été conservées après l'installation des nouveaux filtres car elles ne sont toujours pas colmatées après deux ans d'utilisation sans aucun nettoyage. Les deux nouveaux filtres à pression (Triton, TR 100), en résine de polyester,

peuvent, être utilisés en série ou en parallèle selon les débits et selon les vitesses d'approche souhaitées; leur surface individuelle est de 0,45 m². Ils fonctionnent actuellement en série avec une vitesse d'approche de 6,6 m.h⁻¹ pour les 3 m³.h⁻¹ cités précédemment. Le premier, garni de sable siliceux de deux granulométries différentes, 3-5 mm et 0,35-0,5 mm, assure une très bonne filtration mécanique; il est nettoyé chaque semaine par un contre-courant d'eau douce. Le second, rempli de zéolithes (chabazie), n'est que très rarement lavé; il joue efficacement son rôle de filtre biologique (NO₂⁻ passant de 0,04 ppm à 0,01 ppm).

L'eau est ensuite stérilisée par un passage sur lampes germicides à rayonnement ultraviolet, contenues dans des gaines de quartz (appareil Multus-Katadyn, J2/90 PE à 2 lampes de 16,9 Watts (UV C) efficaces en série); puis elle est distribuée dans les bacs. Le passage sur UV augmente la concentration en nitrites de 0,01 ppm à 0,03-0,04 ppm, et ne fait varier ni le pH (8,13) ni le rH (29,7). Sobotka et Krzysztofik (1984) ont montré, sur des eaux de piscine traitées par ultraviolets, une augmentation des concentrations en nitrites et nitrates, une diminution de l'ammoniaque et de la consommation potentielle d'oxygène, ainsi que de la demande biologique en oxygène à 5 jours (DB05). Outre leur rôle de destruction des micro-organismes éventuellement pathogènes, les ultraviolets ont une action oxydante sur les matières organiques et peuvent avoir une incidence sur le cycle de l'azote.

Le renouvellement de l'eau dans l'ensemble du circuit est assez faible (environ 3 m³.h⁻¹ pour 40 m³ d'eau; il permet néanmoins des conditions de vie convenables pour les poissons (ammoniaque non dosable, nitrites voisins de 0,08 ppm dans la majorité des bacs avec parfois des pics pouvant atteindre 0,3 ppm dans des bacs très peuplés: rémoras, requins, mérus).

Le circuit a été complété par une installation de chauffage immergée dans la cuve de décantation. Quatre serpentins, constitués chacun de 60 m de tuyau en polyéthylène (diamètre = 22 mm) véhiculant de l'eau chaude, fonctionnent en parallèle. Après avoir cédé ses calories au circuit d'eau de mer, l'eau contenue dans les serpentins passe sur un échangeur thermique à aiguilles dont le fluide primaire est constitué par l'eau du chauffage central du Musée. En général, la température d'entrée de cette eau varie entre 60 et 80°C, proportionnellement à la température extérieure. Par contre, la température de l'eau du circuit secondaire dans les serpentins peut être réglée à la demande en agissant sur un thermostat, le plus souvent réglé à 45°C. Lorsqu'il n'y a pas de demande thermique, l'eau contenue dans les tuyaux de polyéthylène circule en circuit fermé sans passer par l'échangeur. Mais quand la température de l'eau de mer contenue dans la cuve à décantation descend en dessous de 27°C, une vanne à trois voies motorisée s'ouvre et l'eau du circuit secondaire passe par l'échangeur thermique avant d'aller réchauffer l'eau de mer. Des systèmes de sécurité agissent automatiquement sur la vanne, en cas de dépassement du point de consigne, et des alarmes de température haute ou basse préviennent immédiatement le poste de garde du Musée en cas d'anomalie.

Le circuit d'eau de mer ainsi réalisé (filtrations, stérilisation et chauffage) donne toute satisfaction. Il a été complété par un dispositif expérimental dont le but initial était de tenter la dénitrification: dans la cuve à décantation, après les premières étapes de filtration (mousse de polyéther et zéolithes), l'eau est distribuée en parallèle dans 5 tubes en PVC de 100 mm de diamètre en forme de U. La longueur développée de chaque tube est de 3,5 mètres. La branche descendante du U est plus haute que la branche montante, ce qui donne une légère pression hydrostatique permettant la percolation des différents matériaux de filtration mis en place dans les tubes; le débit sur chacun d'eux est réglé par un robinet de distribution. Dans la branche descendante, en conditions aérobies, l'ammoniaque et les nitrites sont transformés en nitrates. En l'absence d'oxygène, totalement consommé dans la première étape, les nitrates devraient servir de donneur d'oxygène pour des bactéries anaérobies qui auraient libéré de l'azote gazeux. Malgré un enrichissement en glucose comme source de carbone, l'activité de dénitrification n'a pu être mise en évidence, les conditions d'anaérobiose stricte n'ayant pas été respectées. En revanche, les cinq tubes identiques, fonctionnant en parallèle et alimentés par la même eau, ont permis la comparaison de différents matériaux comme

supports de bactéries nitrifiantes. De bons résultats ont été enregistrés avec des masses filtrantes de nature très différente: argile expansée (Biogrog, Aztec), zéolithes, verre fritte (Siporax) et sable de corail; des tests comparatifs sont en cours.

RÉNOVATION GÉNÉRALE DU CIRCUIT D'EAU DOUCE

L'eau douce était traitée selon le même concept général que l'eau de mer: circuit unique pour tous les aquariums, décantation, mise en pression gravitaire, filtre à sable puis à charbon, absence de stérilisation et de chauffage direct de l'eau. Mais des rénovations plus récentes et un bon fonctionnement mécanique, grâce à une corrosion faible, rendaient les interventions moins urgentes.

Le problème de la température de l'eau en hiver était le plus important à résoudre: l'évaporation, ainsi que le rejet à l'égout de l'eau de certains bacs d'exposition et des bacs de quarantaine, alimentés par le circuit général, sont responsables d'un "courant de fuite" de l'ordre de $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pour un volume total voisin de 250 m^3 . Ce déficit est compensé par un apport continu d'eau de ville, contrôlé par un robinet à flotteur dans une cuve de stockage de 150 m^3 .

Cet apport d'eau neuve permet de ne pas accumuler les nitrates (inférieurs à 30 ppm) et de ne pas trop élever la dureté de l'eau du circuit par rapport à celle de l'eau d'appoint (32° TH contre 28°); mais il est susceptible de faire chuter la température. Pendant l'hiver rigoureux 1986-1987, avec une eau d'appoint à 5°C et des pertes thermiques importantes en terrasse, l'eau distribuée aux aquariums était à 18°C . Les radiateurs situés sous les bacs chauffaient ceux-ci par convection mais la température dans certains aquariums est descendue jusqu'à 21°C , entraînant la mort des *Arapaima gigas* et d'une belle collection de *Symphisodon discus*.

Comme pour l'eau de mer, avant d'être injectée dans le circuit général, l'eau d'appoint est maintenant chauffée en passant par un échangeur thermique à aiguilles. La température est régulée par un thermostat qui agit sur une vanne motorisée modulant l'admission d'eau chaude du circuit primaire qui vient de la chaufferie du Musée.

La rénovation se poursuit. Arrivant des aquariums d'exposition, l'eau passe par une cuve à décantation à deux débordements successifs. L'injection d'un agent de floculation (alginate de sodium) et le garnissage de la cuve par des matériaux de décantation lamellaire devraient en améliorer les performances. Des pompes envoient cette eau dans une cuve de stockage de 150 m^3 , autrefois utilisée comme citerne de récupération de l'eau de pluie qui alimentait les aquariums. C'est avant le stockage qu'interviendra la filtration mécanique (filtres à sable sous pression fonctionnant en parallèle). La régulation thermique est maintenant effectuée sur l'eau de la cuve: pompée à une extrémité, elle passe dans un échangeur thermique puis est refoulée à l'autre extrémité. L'eau de cette cuve continuera à alimenter les réservoirs placés en terrasse mais au lieu de passer par un filtre à sable et un filtre à charbon, l'eau sera d'abord stérilisée puis elle subira une filtration biologique (filtres à pression en parallèle et garnis de zéolithes). La filtration biologique sera installée juste avant la distribution de l'eau dans les aquariums afin d'éliminer les nitrites produits lors du passage de l'eau devant les lampes germicides à ultraviolets (expérience acquise sur le circuit d'eau de mer).

RÉNOVATION DES BACS D'EXPOSITION

Réalisés en 1931 en béton armé, certains bassins trop délabrés (ferrailage à nu, fuites d'eau) ont dû être vidés. L'Aquarium était divisé en 7 sections totalement indépendantes; la première rénovée sert de modèle pour les suivantes.

Après la dépose des installations de circulation de l'eau, d'électricité et de chauffage, les aquariums et toute la maçonnerie associée ont été démolis puis une dalle de béton a été coulée. C'est sur ce support neuf qu'ont été mis en place les nouveaux aquariums en résine de polyester armé fabriqués à La Rochelle par la Société Coûtant.

Ces aquariums sont reliés au circuit de filtration général mais peuvent fonctionner de manière indépendante car un système de filtration a été aménagé dans le support, en polyester armé, des bacs (figure). L'eau qui déborde par des trop-pleins munis de crépines passe d'abord sur une filtration mécanique horizontale, constituée de couches de mousse de polyéther de porosité décroissante et lavées très fréquemment; puis elle subit une double décantation. Dans les décanteurs, à niveau constant quelle que soit l'évaporation en circuit fermé, sont installées la sonde du thermostat et les résistances électriques immergées assurant le chauffage. L'eau percole ensuite de nouvelles mousses de polyéther, installées verticalement, qui servent de support bactérien pour une filtration biologique (nettoyages très rares).

Les compartiments délimités par ces mousses sont remplis de différents matériaux de filtration (zéolithes, sable de corail, Siporax). Une pompe renvoie l'eau dans l'aquarium. Un jeu de vannes module le débit des deux canalisations de retour, ce qui permet d'amener l'eau en partie en surface et en partie au fond de l'aquarium, où elle est répartie de manière homogène grâce à un réseau de tuyaux perforés. Un espace d'eau libre est ménagé par une plaque de PVC perforée qui supporte le sable. Le filtre de fond ainsi constitué fonctionne en système inversé: l'eau percole le sédiment de bas en haut. Le sable sert aussi de décor et contribue à l'esthétique de l'aquarium. Pour un aquarium contenant 4,5 m³ d'eau, la circulation est de 3 m³.h⁻¹. La surface de la première étape de filtration biologique (intégrée dans le support) est de 0,3 m² soit une vitesse d'approche de 10m.h⁻¹.

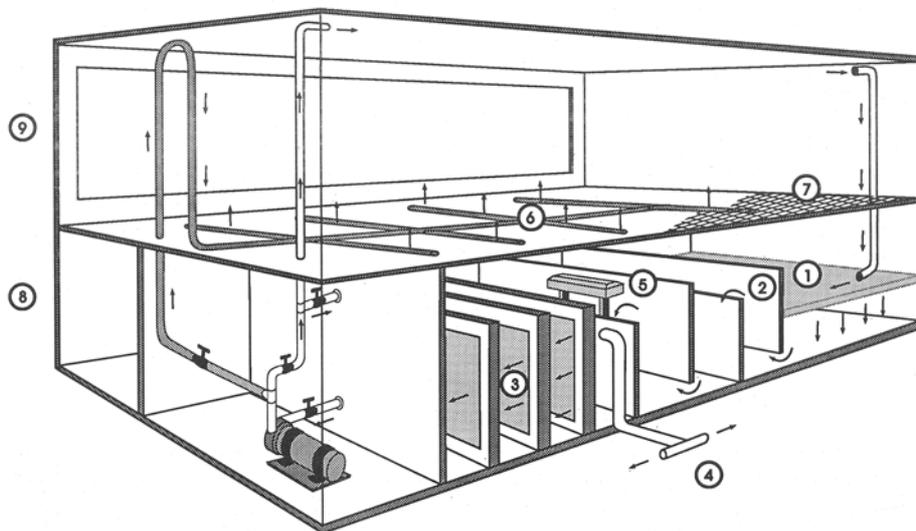


Figure.- Plan du dispositif de filtration.- Les flèches indiquent le sens de circulation de l'eau. 1: préfiltre en mousse de polyéther; 2: double décantation et chauffage; 3: filtres verticaux; 4: trop-plein; 5: écumeur à injection; 6: tubes perforés d'arrivée de l'eau; 7: grille supportant le sable; 8: support renfermant le système de filtration; 9: aquarium.

Actuellement, la moitié de l'eau est rejetée directement à la surface de l'aquarium et l'autre moitié est envoyée sous le sable. La superficie de la grille de séparation (deuxième filtre biologique) est d'environ 2 m² soit une vitesse d'approche lente de 0,75 m.h⁻¹ pour une épaisseur de sédiment de 7 cm. Ces paramètres de filtration sont convenables mais il serait possible, éventuellement, de faire varier la vitesse d'approche du filtre de fond grâce aux vannes qui règlent la quantité d'eau rejetée en surface.

Les décors sont réalisés en mousse de polyuréthane résinée et sablée, matière légère qui autorise toutes les découpes. Ces décors, faciles à modifier, masquent les installations techniques, crépines d'évacuation de l'eau, préfiltres, pompes de circulation.

L'éclairage est assuré principalement par des lampes à halogénures métalliques associées à des lampes halogènes dont le spectre, comportant beaucoup de radiations jaunes et rouges, permet de "réchauffer" les couleurs. La photopériode est commandée automatiquement par une horloge.

Les appareils électriques ; pompes, thermostats, résistances, sont reliés à des borniers coupe-circuit, groupés dans des coffrets étanches (un par aquarium) alimentés individuellement et protégés chacun par un disjoncteur différentiel (30 mA). L'armoire électrique centrale comporte également un disjoncteur ; il y a donc plusieurs systèmes de sécurité installés en série. De plus, le personnel travaille sur des caillebotis autoporteurs en fibres de verre tissées et enrobées de résine polyester qui sont de bons isolants électriques.

CONCLUSION

Après un an de fonctionnement, cette section rénovée qui séduit les visiteurs améliore aussi la sécurité du personnel (sécurités électriques, sol antidérapant) et les conditions de travail (température ambiante ramenée de 38 à 25°C, propreté du local). En outre, ces travaux permettent des économies d'énergie (chauffage réduit) et la souplesse d'utilisation (aquariums pouvant fonctionner en circuit fermé à température et salinité choisies, ou sur le circuit général) est très appréciée.

L'expérience acquise a déjà permis d'améliorer la conception des travaux ultérieurs (filtration mécanique intégrée à l'aquarium et donc beaucoup plus facile d'accès pour le nettoyage des mousses de polyéther).

Compte tenu de ces bons résultats, la Direction des musées de France continue son effort d'investissement avec pour but de rénover, par tranches successives, tout l'Aquarium. Une extension de celui-ci, comportant une salle d'animation pédagogique et un local de quarantaine et d'élevage, est aussi prévue.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Sobotka J. & Krzysztofik B., 1984.- Biochemical changes occurring in swimming pool water during UV disinfection.- *Aqua* 3: 170-172.