

LE TRAITEMENT DE L'EAU DE MER EN AQUACULTURE

Septembre 1987

RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL

Volume 2 : Rapport des thèmes abordés



PREAMBULE

STRATEGIE DU RENOUVELLEMENT

DE L'EAU EN AQUACULTURE

ELEVAGE DES POISSONS

Par Pascal DIVANACH

PARTICIPANTS IFREMER A LA REDACTION

Jean.Paul	BLANCHETON	PALAVAS-LES-FLOTS
Christian	DANIOUX	BREST
Pascal	DIVANACH	PALAVAS-LES-FLOTS
Maria	KENTOURI	SETE
Arnaud	MULLER-FEUGA	BREST

SOMMAIRE

I - EXPOSE DES MOTIFS

II - LES BESOINS EN EAU DES SYSTEMES AQUACOLES

III - L'UTILISATION ET LA MISE A DISPOSITION DE CETTE EAU

III.1 - Utilisation du milieu d'élevage en place :
renouvellement naturel

III.2 - Alimentation en eau des structures d'élevage à
terre par gravité

III.3 - Alimentation par pompage

IV - LE POMPAGE DE L'EAU DE MER

IV.1 - La théorie du pompage

IV.2 - La qualité du choix des pompes

IV.3 - Le choix du réseau de distribution adéquat

IV.4 - Le choix de la meilleure stratégie d'entretien
et de vidange des bassins

**V - LES SITES - LEURS CARACTERISTIQUES ET LES CHOIX POUR
LE RENOUVELLEMENT DE L'EAU**

V.1 - Les mers à marées

V.2 - Les mers sans marée

I. EXPOSE DES MOTIFS

Il n'est pas inutile, avant d'examiner les contraintes de qualité du milieu d'élevage aquatique et les moyens à mettre en oeuvre pour les satisfaire, de dresser un rapide tableau des quantités que requiert un tel type d'élevage. C'est le but de la présente note qui, tout en rappelant des ordres de grandeurs que tout aquaculteur doit avoir présent à l'esprit, se propose de faire le point sur la typologie des moyens dont dispose l'éleveur pour assurer le renouvellement en eau du milieu d'élevage selon des débits toujours abondants.

Ces points de vue sont essentiellement traités dans le cas des élevages marins. Toutefois, ce sont les mêmes ordres de grandeur et principes qui prévalent dans les élevages continentaux. Les différences portent essentiellement sur les modes de renouvellement qui, dans le dernier cas, mettent en oeuvre, le plus souvent, l'énergie potentielle du réseau hydrographique.

II. LES BESOINS EN EAU DES SYSTEMES AQUACOLES

Contrairement à tous les autres systèmes industriels ou agricoles, les systèmes aquacoles sont de très gros consommateurs d'eau (Tableau 1). A production égale, ils sont 100 à 10 000 fois plus demandeurs que leurs homologues les plus exigeants.

La raison principale de cet état de choses est lié au fait qu'en aquaculture, l'eau ne participe pas ou peu au métabolisme. Son rôle est réduit à celui de support individuel ou trophique et de milieu d'environnement ainsi que de vecteur de déchets, de calories, de frigories, ou d'oxygène.

Par ailleurs, contrairement aux autres systèmes terrestres où les déchets sont rapidement court-circuités par sédimentation sur le sol, de par la faible densité de l'air, en milieu liquide, le poisson vit dans son "pot de chambre". Non seulement les déchets y sédimentent plus lentement que sur terre, mais en plus le pouvoir solvant de l'eau peut conduire à accentuer des causes de régulation métaboliques par feed-back négatif des produits du catabolisme.

Globalement les besoins hydriques de l'aquaculture marine oscillent, selon la taille des individus et les espèces, entre 200 et 1000 m³ d'eau par kg de poisson produit.

L'avarice en eau ne permet que momentanément d'améliorer les performances car le système aquacole exprime alors successivement les 3 étapes éventuelles de la régulation : modification comportementale de baisse d'alimentation, puis modification physiologique de l'efficacité de transformation, et enfin parfois la mort.

Momentanément, le système peut survivre et croître en conditions hydriques limitantes et exprimer des performances correctes. Mais il faut savoir qu'il encaisse souvent le

déficit comme un stress agissant par sommation de doses et que lorsque le phénomène régulateur finit par s'exprimer, il se déclenche avec d'autant plus de force et d'acuité que le déséquilibre a été important et long.

La base de tout projet et de toute stratégie d'exploitation aquacole est donc un respect des bases biologiques exprimées à long terme, qui seules présentent une valeur élevée pour le calcul du niveau de risques. La recherche des records et des performances technologiques, ne doit être considérée que dans une étape ultérieure et après analyse socio-économique et biologique des implications et du surcoût de la compensation du déficit imposé par celui de l'augmentation d'assistance technique. En fait, la satisfaction de mise en fonctionnement d'un système artificiellement compliqué ne doit jamais faire oublier que la vie, avec ses deux composantes "croissance et régulation" est un phénomène naturel se développant très bien en l'absence de l'homme. La productivité n'a pas pour objet l'artificialisation et la sophistication mais la compensation exacte et analytique des vrais facteurs limitants du système.

Ces besoins sont modulés selon le stade de croissance de l'animal. Grossièrement ils diminuent dans le sens de l'augmentation de la taille (pour une même production en poids) : Ecloserie - Nurserie - Prégrossissement. Il est par ailleurs évident que la production en poids d'une Ecloserie-Nurserie n'a rien de commun avec la production d'une installation de grossissement. Les débits nécessaires, même si les besoins sont inversement proportionnels à la taille, seront dans le même rapport (de quelques dizaines de m³/h à plusieurs centaines voire plusieurs milliers de m³/h).

D'autre part, la fragilité et les exigences des animaux diminuent avec l'augmentation de leur taille. Il est donc concevable d'admettre une sophistication plus importante d'une écloserie-nurserie donc des dépenses plus grandes, compensées par le prix de vente de l'alevin.

Ces raisons sembleraient déjà militer en faveur d'une tendance à réaliser plutôt

- une alimentation par pompage au niveau des Ecloseries-Nurseries
- une alimentation gravitaire pour les structures de grossissement.

III. L'UTILISATION ET LA MISE A DISPOSITION DE CETTE EAU

L'eau peut être utilisée de deux manières :

- Sur place, la structure d'élevage est transplantée dans le milieu
- Transportée à terre dans la structure d'élevage soit naturellement par gravité, soit artificiellement par pompage.

III.1 Utilisation du milieu d'élevage en place Renouvellement naturel

Cette solution est la première venant à l'esprit. En effet, il paraît logique d'utiliser l'eau où elle est disponible.

Les structures de confinement de l'élevage sont donc implantées dans le plan d'eau naturel. Le choix du site est alors primordial pour assurer d'une part, une bonne protection des structures (ou concevoir des structures résistant aux éléments extérieurs) et d'autre part une bonne qualité de l'eau. La variété des sites est à priori très vaste puisqu'elle va du site fermé (lagunes, lacs, étangs, étangs côtiers) au site ouvert exposé (pleine mer) en passant par tous les intermédiaires sites ouverts protégés (estuaires, baies abritées), sites ouverts moyennement exposés (rades).

Le renouvellement d'eau est assuré naturellement par le courant, et les mouvements natatoires du poisson au travers de parois poreuses assurant le passage de l'eau et la rétention des animaux. Le critère de choix sera donc, après la qualité de l'eau (critère commun à toutes les formes d'aquaculture) et la bathymétrie, la présence d'un courant.

Cette forme d'élevage est donc intéressante puisqu'elle n'entraîne aucune dépense énergétique d'où le développement de cette technique dans le monde entier (cages flottantes) mais avec une contre-partie, qui consiste dans une réduction des moyens de contrôle du milieu d'élevage.

III.2 Alimentation en eau des structures d'élevage à terre par gravité

L'idée est d'utiliser l'énergie potentielle de l'eau pour alimenter "gratuitement" les structures d'élevage. Ce principe nécessite une différence de hauteur d'eau entre la source et la structure : il sera applicable presque essentiellement dans les mers à marées.

Un cas simple consiste à alimenter le bassin d'élevage directement par la mer à marée montante, l'évacuation des eaux se faisant pendant la marée descendante.

Le renouvellement est discontinu. Il est pratiqué dans les élevages de type extensif. La maîtrise de l'eau est aléatoire car elle dépend du site et des marées. La productivité est aussi très faible.

L'amélioration de cette technique consiste à assurer un renouvellement pratiquement continu quelle que soit la hauteur de la marée par un système à 3 bassins : bassin de stockage amont - bassin d'élevage - bassin de stockage aval. (ex: Station AQUALIVE de NOIRMOUTIER).

L'intensification de l'élevage est alors possible grâce à une certaine maîtrise de l'eau.

Les coûts énergétiques sont nuls. Par contre, les investissements sont très lourds, mais amortissables sur une période très longue. (Toutefois, jamais plus de 15 ans).

III.3 Alimentation par pompage

Il est généralement considéré que le pompage en aquaculture ne peut être qu'un poste économique très important sinon abusif. Cette idée est actuellement un des handicaps majeurs à l'expansion de l'élevage marin intensif tel qu'il est pratiqué en pisciculture d'eau douce. Cet argument d'ailleurs a facilité le développement des élevages en cages flottantes qui ne présentent pas que des avantages : contrôle impossible du milieu, structures devant être parfaitement adaptées au site et aux conditions météorologiques (tempêtes), rapines et déprédations plus faciles.

Par opposition, l'implantation des installations à terre dans des zones adaptées et l'alimentation en eau par pompage permettent de moduler de façon importante les aléas climatiques et de minimiser les risques de malversations.

Actuellement, les raisons des attitudes négatives vis-à-vis du pompage sont, dans certains cas, assez peu justifiables et relèvent plus d'une analyse erronée et incomplète de quelques paramètres que de choix de stratégies. (encart n°1)

Cette technique est développée dans le paragraphe 4

IV. LE POMPAGE DE L'EAU DE MER

IV.1 La théorie du pompage

Par définition, l'unité de puissance Cheval Vapeur, équivaut à 736 w ou 75 kgm/sec. Par souci de simplification, on admettra qu'un litre d'eau de mer pèse 1 kg et, que le rendement moyen des pompes et de leur système moteur est de 73,6 % ; cette définition transposée en langage courant signifie alors qu'il faut 1 kw réel pour mettre en oeuvre une pompe de 1 CV théorique (0,736kw) c'est-à-dire capable de monter 75 litres d'eau par seconde sur une hauteur de 1 m, ou encore que le potentiel de pompage rapporté au kilowatt - heure de consommation est de 75×3600 kgm/h soient $270 \text{ m}^3 \times$ mètre de dénivelé / heure de pompage.

Si on admet par ailleurs que le coût moyen du kwh est de 0,5 FF et que les besoins hydriques des poissons de mer sont en conditions intensives moyennes normales de 200 à 1000 M3 d'eau par kg de production selon la taille des individus (DIVANACH 1985), il en résulte que le prix du poste hydrique sur la base de la seule consommation énergétique peut être chiffré au maximum entre :

0,37 et 1,85 FF/kg de production et par mètre de hauteur manométrique

A ces valeurs, il importe d'ajouter le prix de l'amortissement et de l'entretien des installations de pompage, d'adduction et d'évacuation d'eau pour définir le coût total du poste hydrique.

Au plan pratique, cette relation enseigne de façon évidente que si les besoins hydriques de l'aquaculture sont quantitativement élevés, ils n'impliquent nullement une dimension économique rédhibitoire, de par l'existence de la double composante de choix technoéconomique du pompage sur le débit ou la pression.

Globalement, la plus grande cause de variation du prix de pompage n'est pas biologique (facteur 5 seulement mais humaine) (Tableau 2) : la limite théorique de mise en mouvement de grandes masses d'eau sans dénivelé, sur des surfaces comparables à celles de la pisciculture, est d'environ 80 m³ par watt consommé, ce qui représente un coût théorique du poste "énergie hydrique" de 0,002 à 0,006 FF par kg de production, qui est absolument négligeable.

Le dimensionnement d'une pisciculture marine avec un pompage de type "au fil de l'eau" n'imposant à la masse hydrique qu'un dénivelé de 10 cm conduirait à un coût du poste "énergie hydrique" de 0,04 à 0,19 FF kg de poisson produit, ce qui est encore tout à fait minime par rapport aux autres postes.

La réalisation de cette même installation à la cote 1m majorerait le coût de production d'un facteur 10 (soit 0,37 à 1,85 FF/kg de production) ce qui est toujours très acceptable dans une optique de production de poisson de qualité.

Par contre, l'élévation de l'eau à 10 m de hauteur conduit à des coûts énergétiques de pompage de 3,7 à 18,5 FF/kg de production qui commencent à placer ce poste économique au même niveau que celui du poste trophique (10 à 25 FF/kg de production) et grèvent le budget de fonctionnement de façon importante.

Au delà de 20 m de hauteur, le poste pompage devient le principal coût de production (7,4 à 37 FF/kg en grossissement).

Le niveau du système d'élevage par rapport à l'aquifère est donc un des principaux paramètres susceptibles d'alourdir le coût de production : mais il n'est pas le seul car l'efficacité de l'ajustement de l'ensemble des conditions techniques aux contraintes du site peut toujours tout remettre en question. Or, actuellement, la majorité des systèmes aquacoles pâtit de différentes erreurs de dimensionnement dues à une étude analytique insuffisante du coût relatif de chacun des maillons du système hydraulique. Ces erreurs qui sont graves car régulièrement répétées, sont toutes fondées sur l'accumulation en série de petites montagnes hydrauliques sur

le réseau de distribution d'eau. Généralement peu importantes en soi (sauf exception), la somme de tous ces barrages finit par créer une importante perte de rendement énergétique qui initialise une boucle de logique par l'absurde : l'eau étant devenue chère, on l'économise; il en résulte alors que les poissons souffrent et réduisent leurs performances : ce qui renchérit encore plus le prix du poste hydrique.

La base de notre raisonnement d'analyse des erreurs de conceptions hydrauliques en aquaculture repose sur la constatation suivante qui transpose en langage courant la théorie du pompage :

Chaque mètre de dénivelé hydraulique imposé au système (qu'il soit réel ou artificiel par erreur d'ajustement) coûte à l'entreprise entre 0,4 et 11,9 FF par kg de poisson produit ! Il est donc primordial de les réduire au maximum.

La rentabilité maximale de l'opération étant obtenue avec les systèmes "au fil de l'eau", nous analyserons dans les lignes suivantes les diverses stratégies permettant de l'approcher.

IV.2 La qualité du choix des pompes

La pompe, qui est le coeur du système d'élevage, fournit à la fois le débit d'eau nécessaire à la vie animale, et la pression qui permet de l'élever à la cote désirée. Située en amont du système, elle conditionne toute la distribution ultérieure et est donc à la base du coût de fonctionnement.

Les besoins en eau des poissons étant de caractère volumétrique et non barométrique, la stratégie de pompage la plus économique consiste à choisir les systèmes élevant le maximum d'eau à la cote minimale compatible avec les besoins animaux.

Il existe dans le commerce, une vaste gamme de systèmes de pompages adaptés à la majorité des situations de débit - pression imposées par l'industrie. Leur bon choix passe par une bonne définition des conditions d'élevage nécessaires à l'établissement du cahier des charges. Surdimensionner la capacité de pompage manométrique par rapport à la cote réelle des installations a trois conséquences :

- 1) créer une inutile et fictive montagne hydraulique entre l'aquifère et le site aquacole car après être montée en pression l'énergie potentielle de l'eau est en général gaspillée par détente équivalente à une cascade ;
- 2) impliquer une augmentation de la puissance de la pompe du facteur d'erreur de dénivelé pour pouvoir assurer les besoins hydriques des animaux qui n'ont que faire de l'énergie potentielle de l'eau ;
- 3) accessoirement, il importe de noter que le surdimensionnement manométrique impose un réseau de distribution hydrique clos (tuyauterie et vannes) d'autant plus résistant à la pression (donc plus

cher) que l'erreur est élevée, ce qui a deux conséquences aquacoles :

- initialisation d'une boucle de logique par l'absurde sur la base du raisonnement : existence d'une surpression hydrique - possibilité de créer des pertes de charge en utilisant des tuyauteries de petit diamètre - réalisation effective - limitation du débit - installation d'un surpresseur pour rétablir la pression ce qui correspond à installation d'une nouvelle montagne hydrique fictive et au renchérissement proportionnel du coût de production ;
- possibilité de sursaturation gazeuse responsable d'embolies et de maladies de la bulle chez les animaux.

Actuellement le mauvais dimensionnement du système de pompage est généralement le responsable principal du surcoût du poste hydrique.

Combien d'installations situées à la cote + 1 m à + 3 m (donc imposant des coûts de production énergétiques de 0,5 à 5,6 FF/kg de production) sont en fait équipées de pompes centrifuges avec pression de refoulement de l'ordre de 2 bars conduisant à des coûts réels compris entre 10 et 30 FF/kg produit.

Toutefois, à la décharge des utilisateurs, il importe de noter que le développement de l'aquaculture étant restreint, cette dernière ne peut induire une fabrication industrielle particulière et adaptée véritablement à ses besoins, sinon à des coûts exorbitants. Du matériel de pompage fabriqué en grandes séries existe et le choix doit s'effectuer à l'intérieur de cette gamme.

La variété du choix permet cependant de déterminer bien souvent un matériel très voisin des besoins à condition que les responsables des installations étudient sérieusement leur projet ou le confient à des personnes spécialisées.

Nous rappelons ici quelques notions élémentaires de choix d'un type de pompage en fonction des besoins et de la topographie des sites. (Tableau 3)

IV.3 Le choix du réseau de distribution adéquat

L'optimisation du système de pompage suppose une recherche préalable du système de distribution présentant les moindres pertes de charges et la meilleure adéquation avec le profil "au fil de l'eau".

Actuellement, les causes d'erreurs de dimensionnement du réseau de distribution sont tellement multiples que nous ne pouvons qu'en signaler quelques unes :

- utilisation d'un réseau de tuyauteries fermées "gonflé" à une pression (cote) bien supérieure à

celle du bassin de réception ;

- acceptation d'une cascade pour l'alimentation (ou la sortie) du bassin ;
- admission de pertes de charges représentant plusieurs mètres sur l'ensemble du circuit (c'est-à-dire quelques dizaines de francs par kg de poisson produit) ;
- utilisation d'une réserve gravitaire par château d'eau alimenté en permanence au dessus de la cote désirée
- utilisation de canalisations d'amenée d'eau au dessus des bassins ;
- utilisation de tuyauteries dont la section est trop faible ou présentant des coudes et des rétrécissements responsables de pertes de charge et de débit.

Globalement, il importe de considérer que l'optimum en matière de pompage étant un système sans dénivelé, le réseau de distribution devrait être conçu de façon à limiter les pertes de charges au minimum incompressible (c'est-à-dire quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres). Il devrait donc utiliser des canaux de large section à une cote voisine de celle du plan des bassins et de l'aquifère. La préservation des pannes d'alimentation y serait dévolue à un groupe électrogène automatique plutôt qu'à un château d'eau (sauf si ce dernier était équipé d'une électrovanne à rupture et d'une alimentation propre) car le surcoût d'élévation qu'il entraîne est généralement de 1 à 5 FF par kilo de production.

IV.4 Le choix de la meilleure stratégie d'entretien et de vidange des bassins

Il existe deux théories opposées de conception des bassins d'élevage :

- bassin situé au dessus du plan d'eau, présentant l'intérêt d'être vidangeable par gravité et de pouvoir supporter facilement l'assec. Ceci facilite la pêche, les traitements et le vide sanitaire mais implique inversement un génie civil élaboré et un remplissage par pompage permanent pour compenser le dénivelé.
- bassin creusé dans le sol, en partie sous l'aquifère est naturellement rempli par gravité, présente des coûts de construction et d'alimentation hydriques plus faibles que le précédent mais ne peut être vidé que par pompage.

Le critère de choix technico-économique entre les deux filières passe par une juste appréciation de leurs rapports qualité-prix respectifs.

Afin de mieux permettre d'évaluer les parts financières dévolues aux avantages et aux inconvénients de ces deux types de systèmes, nous avons comparé dans le tableau 4 les coûts énergétiques de pompage pour alimenter et/ou vider des bassins dans 4 configurations de prégrossissement et de grossissement de poissons de type loup. Deux de ces schémas permettent une vidange par gravité mais doivent être alimentés par pompage à la cote correspondant à leur hauteur le reste du temps. Les deux autres, situés au fil de l'eau ne sont pas vidangeables par gravité mais permettent une alimentation où le dénivelé total correspond à la seule perte de charge du système qui dans ce cas a été arbitrairement évalué à 1 cm.

Pour être rendues plus fiables, les deux hypothèses sont agrémentées d'une vidange mensuelle à 75 ou 80% (selon les cas) pour traitement sanitaire et d'une vidange totale en fin d'essai pour la pêche.

Il résulte de cette comparaison qu'élever l'eau en permanence à une cote telle qu'elle autorise la vidange par gravité, coûte 80 à 160 fois plus cher que si on choisit de travailler au fil de l'eau et de vidanger le bassin par pompage à chaque traitement ou pêche. Au plan absolu, la simple satisfaction de disposer de bassins vidangeables par gravité, majore le coût de production de 1,85 FF minimum (prégrossissement classique) à 3,7 FF (grossissement en raceways de 2 m de profondeur) par kilo de poisson produit, ce qui peut parfois être un handicap majeur pour l'élevage d'espèces à faible prix de vente.

Ces résultats se passent d'autant plus de commentaires que dans la majorité des cas, les systèmes permettant l'étanchéité et la vidange des bassins par gravité (moines, vannes, bondes, etc) représentent à eux seuls un coût d'investissement supérieur à celui de l'achat d'une bonne pompe d'épuisement marinisée servant à la vidange de l'ensemble des bassins. En élevage larvaire, par contre, où la productivité recherchée est de type numérique et non pondérale, et où les coûts de production ne sont plus applicables et les avantages fournis par la vidange gravitaire l'emportent sur les inconvénients du surcoût économique.

V. LES SITES - LEURS CARACTERISTIQUES ET LES CHOIX POUR LE RENOUELEMENT DE L'EAU (Tableau 5)

Les systèmes d'élevage au fil de l'eau ne peuvent se concevoir pratiquement qu'avec les structures implantées dans le milieu lui-même : de ce fait, ces systèmes s'affranchissent des fluctuations de niveaux des plans d'eau.

Les renouvellements sont alors naturels, effectués par les courants. Il importe que la structure soit parfaitement adaptée au site.

Cependant, des systèmes avec renouvellement forcé sont tout à fait admissibles car la dépense énergétique est très faible : une charge motrice de quelques centimètres peut induire de grands débits selon la section de passage.

C'est toute l'aquaculture pratiquée en mer depuis les sites fermés et protégés (lagunes) jusqu'à la mer ouverte non encore colonisée.

En ce qui concerne les sites à terre (hors d'eau), il convient de distinguer deux catégories :

- les sites en bordure des Mers à marées (Atlantique - Manche)
- les sites en bordure des Mers sans marées ou à très faibles marnages (Méditerranée).

Il faut introduire ici le concept de "prévention des inondations".

La législation fait obligation aux industriels de se prémunir contre les inondations et les installations doivent être construites à une cote minimale, (définie à partir de la probabilité de risque hydrique) au dessus de l'aquifère.

En aquaculture, le concept de l'inondation n'a pas la même valeur que dans l'industrie ou l'agriculture. Le risque n'est pas (sauf cas particulier) de mouiller les installations ou de noyer les animaux, mais de voir la cote de l'eau dépasser les berges du système, ce qui peut provoquer la détérioration des infrastructures et la fuite du cheptel.

En fait, la surélévation de l'ensemble du système hydraulique à une cote supérieure à la cote de l'eau lors de la marée du siècle ou de la plus grande tempête d'équinoxe ne peut être une solution miracle mais un palliatif car le coût de pompage de "préservation du risque" (proportionnel au dénivelé) y est très élevé. Par contre, une simple surélévation des berges de façon adéquate pour tenir compte à la fois des risques exceptionnels et des contraintes quotidiennes de travail lorsque le niveau de l'eau dans l'installation est variable, pourrait aboutir à un résultat préventif identique tout en économisant le coût de pompage.

V.1 Les mers à marée

La marée est une forme d'inondation périodique de la zone d'estran. Si toutes les conclusions précédentes ne sont pas directement transportables du fait de l'amplitude des variations de niveau, de la base de la problématique reste identique et se surajoute à celle de la prévention contre les éléments naturels.

La minimisation des coûts de pompage doit tenir compte de la situation extrême suivante :

- l'installation du système d'élevage au dessus de la cote des plus hautes marées, augmentée de la marge

de sécurité due aux basses pressions barométriques, impose de dimensionner au moins une partie de l'installation de pompage sur le dénivelé maximum potentiel.

Sur la façade Atlantique où le marnage moyen est d'environ 2,50 m (plus 1,50 m de prévention), cette amplitude conduit à un coût énergétique de 1,90 à 7,40 FF/Kg de production, ce qui représente des frais de fonctionnement déjà assez importants pour une entreprise.

Sur la Manche où les marnages vont de 5 m à 14 m, ces coûts sont au moins à multiplier par 3, ce qui rend de telles installations non réalisables.

Par contre, l'installation du système au fil de l'eau qui autorise des coûts de pompage peu élevés, est impossible dans ces zones où le marnage est pratiquement toujours supérieur à la profondeur des bassins, conduisant à leur assec périodique.

L'aménagement de ces zones à fort marnage passe presque exclusivement par un système de réduction de ce marnage : un bassin de stockage se remplissant à marée haute, soit gravitairement en profitant de l'énergie potentielle de la marée, soit par pompage (ex. Station AQUALIVE à NOIRMOUTIER).

La distribution de l'eau peut alors se faire gravitairement ou par pompage. Les coûts énergétiques mis en oeuvre seront faibles et devraient être parfaitement compatibles avec la rentabilité d'une exploitation.

V.2 Les mers sans marée (ou très faible marnage)

En Méditerranée, l'amplitude maximale du niveau du plan d'eau par très forte tempête ne dépasse jamais 1,50 m. La différence de coût de pompage entre la stratégie au fil de l'eau et celle à la cote maximale représente quand même en moyenne 1,7 + 1 FF/Kg de poisson produit.

Sans être négligeable, ce coût est tout à fait admissible et autorise largement la mise en oeuvre de systèmes d'élevage à terre alimentés exclusivement par pompage.

ENCART N° 1

PRINCIPALES RAISONS DE LA DEFAVEUR ACTUELLE DONT EST VICTIME LA STRATEGIE DE POMPAGE EN AQUACULTURE MARINE

- 1 - Analyse erronée des besoins hydriques réels des animaux et dimensionnement des circuits par transposition directe de la truiticulture intensive avec des objectifs de record, sans tenir compte de l'importance des antécédents technologiques et génétiques dans les performances de cette industrie.
- 2 - Analyse erronée du rôle des paramètres débit-pression dans la stratégie de pompage et utilisation exclusive des outils d'hydraulique générale classique sans tenir compte des particularités du modèle aquacole et des limites théoriques minimales possibles au plan économique.
- 3 - Négligence quasi totale du caractère biologique de l'eau d'aquaculture et de ses implications hydrauliques (fouling, parasitisme, etc).
- 4 - Compensation économique des fautes de conception hydrauliques qui exacerbent les problèmes biologiques et le mauvais rendement du poste "énergie de pompage".
- 5 - Limitation des besoins hydriques aux facteurs "oxygène dissous et ammoniac" sans tenir compte du potentiel régulateur associé au vecteur pathologique, qu'il soit parasitaire ou non.

TABLEAU N°1 BASES D'EVALUATION ET DE COMPARAISON DES BESOINS EN EAU DANS DIVERS SECTEURS DE PRODUCTION INDUSTRIELS, AGRICOLES OU AQUACOLES

SECTEURS	DETAIL DE PRODUCTION	BESOIN EN EAU (M ³ PAR TONNE DE PRODUIT FABRIQUE)
<p>INDUSTRIES NON AGRICOLES (d'après DEGREMONT 1972)</p>	<p>Tannerie PapeteriePâte à papier Emballage - carton Papiers spéciaux Textilecoton Laine (peignage-blanchiment) Rayonne Produits chimiques Raffinerie de pétrole Acier Acier laminé Aluminium Electricité thermique avec refroidissement par eau</p>	<p>20 à 140 300 40 500 15 à 200 165 400 à 1000 220 à 1000 0,1 à 40 6 à 300 400 1300 3 à 400 m³ par MWh</p>
<p>AGRICULTURE (d'après DEGREMONT 1972)</p>	<p>Blé Riz Céréales pauvres Coton</p>	<p>1500 4000 1000 10 000</p>
<p>ELEVAGE</p>	<p>Gros bétail Porc Mouton Poulet</p>	
<p>AQUACULTURE</p>	<p>Truite Loup, Daurade, Charax Elevage larvaire et sevrage Prégrossissement Grossissement Sar, Marbré</p>	<p>1 000 000 500 000 200 000 500 000 à 2 000 000</p>

TABLEAU N°2 INFLUENCE DE LA HAUTEUR MANOMETRIQUE DE POMPAGE, SUR LE DEBIT HYDRIQUE MAXIMAL DISPONIBLE PAR UNITE DE PUISSANCE INVESTIE, AINSI QUE SUR SES IMPLICATIONS ZOOTECHNIQUES ET ECONOMIQUES DE PRODUCTION AQUACOLE

Puissance réelle investie	1 KWh				
Hauteur manométrique de pompage désirée (m)	0,01	0,1	1	10	100
Débit hydrique maximal disponible à la cote envisagée (m ³ /h) (*)	27000	2700	270	27	2,7
Prix du mètre cube d'eau à la cote envisagée (FF/m ³) (**)	1,9 10 ⁻⁵	1,9 10 ⁻⁴	1,9 10 ⁻³	1,9 10 ⁻²	1,9 10 ⁻¹
Production potentielle de poisson avec le débit disponible (***) (Kg)	Hypothèse 1 135 Hypothèse 2 27	13,5 2,7	1,4 0,27	0,14 0,027	0,01 0,003
Coût de production afférent au poste pompage (****) (FF/Kg de production)	Hypothèse 1 0,004 Hypothèse 2 0,019	0,04 0,19	0,37 1,85	3,7 18,5	37 185,2

Légende : * Dans l'hypothèse d'un rendement de la pompe de 73,6% et d'une masse volumique de l'eau de 1 Kg /litre.

** Dans l'hypothèse d'un prix du KWh de 0,5 FF.

*** Dans les deux hypothèses extrêmes de valorisation hydriques par les poissons en élevage intensif N°1 : 200 m³ /Kg de production, et N°2 : 1000 m³ / Kg de production.

**** Sur la base de la seule consommation énergétique.

Ces 2 colonnes, bien que figurant dans le tableau, ne partent pas d'hypothèses réalistes : elles sont en quelque sorte les bornes du système.

I. HAUTEUR ASPIRATION INFERIEURE A 7 OU 8 METRES

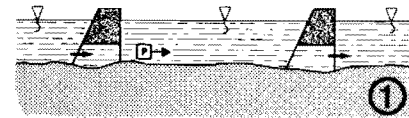
1. Hauteur géométrique totale de quelques centimètres

Mise en mouvement d'une masse d'eau par un accélérateur de courant

- ①

HELICES	<u>Caractéristiques</u>	Gros débits : plusieurs milliers de m ³ /h très faibles hauteurs : quelques cm
---------	-------------------------	---
- ②

HYDROJETS		
-----------	--	--



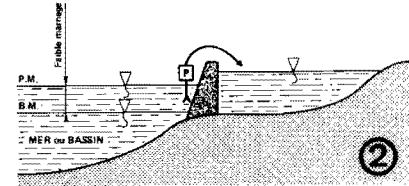
2. Hauteur géométrique totale de quelques mètres

Prélèvement et utilisation de l'eau distants de quelques mètres

- * Pompage de la mer dans un bassin
- * Pompage d'un bassin dans un autre bassin

- ②

HELICES CARENEES VIS D'ARCHIMEDE	<u>Caratéristiques</u>	Débits moyens à forts plusieurs centaines à plusieurs milliers de m ³ /h Hauteur totale < 10 m
-------------------------------------	------------------------	--



3. Hauteur géométrique totale d'une dizaine de mètres à plusieurs dizaines de mètres

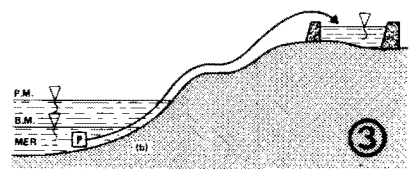
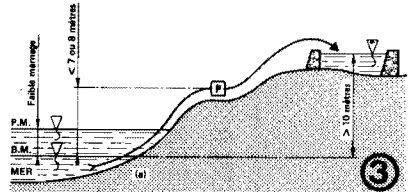
Prélèvement et utilisation de l'eau proches ou distants de plusieurs dizaines de mètres

- * Pompage dans une mer sans marée ou à faible marnage

- ③

POMPES CENTRIFUGES	A SEC	(a)
	IMMERGEES	(b)

Débits	Faibles	{ plusieurs dizaines de m ³ /h centaines " " } milliers " "
	Moyens	
	Forts	



II. HAUTEUR ASPIRATION SUPERIEURE A 7 OU 8 METRES

1. Hauteur géométrique totale de l'ordre de la dizaine de mètres

- 11) Pompage à proximité du prélèvement
Station de Pompage ENTERREE
ou IMMERGEE

- * Pompage dans les mers à forts marnages

- ④

POMPES CENTRIFUGES	A SEC
	IMMERGEES

Débits		Faibles
		Moyens
		Forts

- 12) Eau arrivant au point de pompage par galerie ou canal

- * Marche continue avec Station de pompage [ENTERREE
IMMERGEE

- ⑤

POMPES CENTRIFUGES	A SEC
	IMMERGEES

Débits		Faibles
		Moyens
		Forts

- * Marche discontinue

- ⑥

POMPES HELICES VIS ARCHIMEDE

Débits		Moyens
		Forts

2. Hauteur géométrique totale de plusieurs dizaines de mètres

- 21. Hauteur aspiration ramenée à valeur < 7 ou 8 mètres

Voir I3

- 22. Autres cas

- ⑦

POMPES CENTRIFUGES IMMERGEES

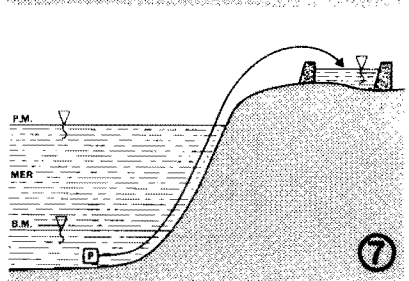
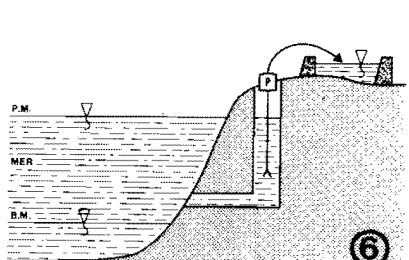
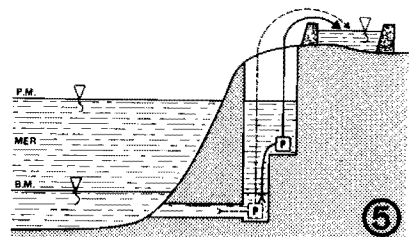
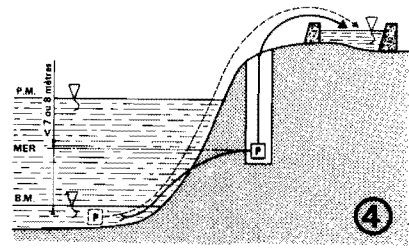


TABLEAU N°4 COMPARAISON DU COUT ENERGETIQUE DE POMPAGE POUR ALIMENTER ET/OU VIDER DES BASSINS D'ELEVAGE DANS QUATRE HYPOTHESES DE PREGROSSISSEMENT ET DE GROSSISSEMENT DE POISSONS MARINS DE TYPE "LOUP"

TYPES D'ELEVAGES		PREGROSSISSEMENT		GROSSISSEMENT			
HYPOTHESES D'ELEVAGE	BASSINS	Type Dimensions en eau : L X l X h (m) Volume hydrique (m ³)		race way 30 X 2 X 1 60		race way 50 X 4 X 2 400	
	PREVISIONS ZOOTEC- NIQUES PAR BASSIN	Nombre d'individus initial et final		13200	12000	8800	8000
		Poids individuel initial et final (g)		0,3	50	50	500
		Charge initiale et finale (Kg/m ³)		0,07	10	1,1	10
		Taux de mortalité (%)			10		10
		Biomasse initiale et finale (Kg)		4	600	440	4000
		Gain de biomasse (Kg)			596		3560
		Valorisation hydrique (m ³ /Kg produit)			1000		500
		Durée du cycle			1 AN		2 ans
		Volume d'eau total consommé (m ³)			596000		1 780 000
PREVISIONS DE MAINTENANCE HYDRAULIQUE		Nombre, durée, et taux des vidanges partielles pour traitement prophylactique		12 de 2 h à 80%		24 de 2 h à 75%	
	Nombre de vidanges totales pour pêche et mise en assec sanitaire		1		1		
HYPOTHESES HYDRAULIQUES	Cote du système par rapport à l'aquifère		+ 1 cm	+ 1 m	+ 1 cm	+ 1 m	
	Conséquences sur la vidangeabilité par gravité		-	+	-	+	
CONSEQUENCES SUR LE COUT ENERGETIQUE DE POMPAGE *	Cout de l'alimentation en eau (FF/Kg produit)		0,02	1,85	0,01	3,7	
	Cout de la vidange des bassins (FF/Kg produit)		0,017	0	0,037	0	
	Bilan final des 2 opérations (FF/Kg produit)		0,022	1,85	0,014	3,7	
* Les éléments de ces calculs sont définis dans le texte							

Tableau N°5 RECAPITULATIF SYNOPTIQUE DES CARACTERISTIQUES DE 5 CONFIGURATIONS AQUACOLEES EN FONCTION DE LEUR ALTITUDE DANS LA ZONE DE BALANCEMENT DES MAREES

Hypothèses de base : élevage : grossissement et prégrossissement de poissons de type "loup" dans des raceways placés en séries ; amplitude de la marée : 3 m ; surélévation maximale possible par temps de tempête : + 1 m ; rendement des pompes : 73,6% ; Prix du KWH : 0,5 FF ; masse volumique de l'eau : 1 Kg/l ; besoins hydriques des poissons : 200 à 1000 m³ d'eau par kilo de production ; perte de charge maximale du circuit d'élevage : 10 cm ; PMVE : pleine mer de vives eaux ; BMVE : basse mer de vives eaux ; NM : Niveau moyen de la mer ; CM : cote maximale de l'eau en cas de tempêtes

NIVEAU DE LA MER	COUPE LONGITUDINALE DE L'INSTALLATION	CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION
CM PMVE NM BMVE		Installation hors sol pouvant être vidée par gravité même par les plus fortes tempêtes mais qui implique inversement une alimentation permanente par pompage sur un dénivelé minimum de 2 m, maximum de 6 m, et moyen de 4,5 m (soit un coût énergétique de 1,7 à 8,3 FF/Kg produit). L'accessibilité aux bassins est facile, le coût d'excavation nul, et le niveau d'eau dans les bassins est toujours constant.
CM PMVE NM BMVE		Installation enterrée pouvant être presque toujours vidée par gravité sauf par tempête et par PMVE. Le niveau d'eau dans les bassins y est constant et les conditions de travail (accessibilité) sont faciles. Le travail d'excavation est faible. L'alimentation permanente par pompage est nécessaire sur un dénivelé minimum de 0 m (en cas de tempête), maximum de 5 m, et moyen de 2,5 m, ce qui conduit à un coût énergétique de 0,93 à 4,63 FF/Kg produit.
CM PMVE NM BMVE		Installation enterrée ne pouvant être vidée par gravité que pendant la deuxième moitié du jusant. Le niveau d'eau dans les bassins y est constant et leur accessibilité reste aisée. Le travail d'excavation est plus important. L'alimentation permanente en eau par pompage est nécessaire sur un dénivelé minimum de 0 m (à chaque étape de PMVE), maximum de 4 m et moyen de 1,5 m, ce qui conduit à un coût énergétique de 0,6 à 2,8 FF/Kg produit.
CM PMVE NM BMVE		Installation assez fortement enterrée avec travail d'excavation et ne pouvant être vidée par gravité qu'à basse mer de vives eaux. Le niveau d'eau dans les bassins n'est constant que 50% du temps et suit le niveau de la marée pendant la première partie du jusant et la deuxième partie du flot. L'alimentation en eau se fait alternativement par pompage sur un dénivelé au maximum de 1,5 m (et moyen de 0,75 m) et par pulsion le reste du temps. Le coût énergétique est de 0,25 à 0,7 FF/Kg.
CM PMVE NM BMVE		Installation très fortement enterrée (gros travail d'excavation) et ne pouvant être vidangée que par pompage. L'accessibilité des bassins est mauvaise et le niveau d'eau très variable selon la marée. L'alimentation se suffit d'un système à pulsion conduisant à des coûts énergétiques faibles de l'ordre de 0,04 m à 0,2 FF/Kg produit.