

530293

BA-TH 1291

Université Montpellier II
Sciences et Techniques du Languedoc
Place Eugène Bataillon
34095 MONTPELLIER Cedex 5

CIRAD-EMVT
TA 30 / B
Campus International de Baillarguet
34398 MONTPELLIER Cedex 5

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

LE STRESS ET SES IMPACTS EN
AQUACULTURE

par

Christelle ERUDEL

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

BA
TH1291

Année universitaire 2004-2005



CIRAD

000073220

RESUME

On a longtemps cru que la mer offrait des réserves inépuisables. Aujourd'hui, on s'aperçoit que 60 % des stocks naturels sont menacés et que la pêche ne suffira pas à satisfaire la demande en produits halieutiques, face à une population mondiale qui ne cesse de croître. L'aquaculture s'impose donc comme une solution inévitable pour l'avenir. De nombreux progrès ont été fait en terme de sélection ou d'amélioration génétique des poissons afin d'obtenir des animaux de meilleure qualité et des rendements plus élevés. Mais, dans toutes les situations, les performances des poissons ne sont pas uniquement gouvernées par leur potentiel génétique, mais aussi par les conditions environnementales, qui lorsqu'elles fluctuent, peuvent stresser l'animal. Lors d'un stress, l'organisme va mettre en place une succession de réactions comportementales et physiologiques. Cette cascade de réactions permet aux animaux de s'adapter aux nouvelles conditions du milieu et la vie n'existerait pas sans elle, c'est la forme bienveillante du stress. Il existe aussi une forme malveillante qui va influencer négativement sur les paramètres biologiques, physiologiques et comportementaux, ce qui va avoir des conséquences catastrophiques en aquaculture. Un éloignement des paramètres en ce qui concerne les principaux paramètres physico-chimiques du milieu d'élevage (température, salinité, teneur en oxygène dissout) ou encore les pratiques aquacoles (confinement, manipulations, transport) entraînent, chez le poisson, un stress pouvant conduire à une augmentation des mortalités, une diminution de la croissance, une réduction des performances reproductives ainsi qu'un affaiblissement des défenses immunitaires s'accompagnant d'une diminution de la résistance aux pathogènes. La connaissance de ces facteurs de stress, de leur mode d'action ainsi que les pratiques pouvant les diminuer est primordiale en aquaculture car elle permettrait globalement une augmentation du rendement, et de la productivité des fermes aquacoles.

Mots clés

Stress – adaptation – aquaculture – performances.

Table des matières

Introduction

1	STRESS	6
1.1	Définition	6
1.2	Stress aigu et stress chronique.....	6
1.3	Les facteurs de stress.....	6
1.4	Etat de stress	6
1.5	Coping.....	7
2	Stress et réponse de l'organisme	7
2.1	Les bases de la réponse au stress.....	7
2.2	Réponse physiologique et comportementale	9
2.2.1	La réponse primaire	9
2.2.2	La réponse secondaire.....	11
2.2.3	La réponse tertiaire	12
3	Les méthodes d'évaluation du stress	12
4	Principaux facteurs de stress et leur impact en aquaculture.....	13
4.1	Les principaux paramètres physico-chimiques de l'eau	13
4.1.1	La température	13
4.1.2	Salinité.....	14
4.1.3	Teneur en oxygène dissout.....	15
4.2	Les pratiques aquacoles.....	17
4.2.1	Le confinement	17
4.2.2	Les manipulations	17
4.2.3	Le transport.....	18

CONCLUSION

INTRODUCTION

On a longtemps cru que la mer offrait des ressources inépuisables. Des années 50 aux années 90, la pêche s'est industrialisée et les captures mondiales ont été multipliées par 4. On en ressent aujourd'hui le contrecoup puisque le niveau des captures marines progresse de plus en plus lentement. Capturer une tonne de poissons coûte de plus en plus cher, il faut des navires de plus en plus modernes, capables de longs déplacements, fortement équipés... L'effort de pêche va s'intensifiant et selon la FAO (Food and Agriculture Organization), 60% des stocks de poissons recensés sont soit surexploités dangereusement, soit en diminution.

Dans le même temps, la croissance démographique mondiale est telle que l'on sait que la pêche, dont les possibilités de progression sont réduites ne suffira plus à satisfaire, seule, la demande en produits halieutiques (à moins de mettre en péril les stocks sauvages). L'aquaculture s'impose donc comme une solution inévitable pour l'avenir. Au cours de la dernière décennie, la production aquacole mondiale a augmenté de façon spectaculaire. D'après la FAO, elle a doublé au cours des 15 dernières années.

Avec une production estimée à 48 millions de tonnes en 2001, l'aquaculture représente plus du tiers de la production halieutique mondiale. Aujourd'hui, 1 kilogramme de poisson sur trois consommés dans le monde est issu de l'aquaculture.

Pour de nombreuses espèces aquacoles, l'échelle de production est passée d'un niveau extensif ou semi-intensif à un niveau intensif à une échelle bien plus large. Cette croissance rapide de la production aquacole, s'est traduite par l'apparition puis l'intensification de problèmes telles que les maladies ou encore la pollution.

Les pratiques aquacoles visent sans cesse à améliorer la quantité et la qualité des poissons produits. Des progrès considérables ont été fait dans le domaine de la croissance ou de l'efficacité de conversion de la nourriture chez de nombreuses espèces de poissons élevées en aquaculture. Deux approches ont été adoptées :

- L'approche traditionnelle qui vise à la sélection et à la reproduction d'animaux aux phénotypes et caractéristiques appréciés.

- Plus récemment, à l'utilisation de la génétique et des techniques moléculaires afin d'obtenir des races améliorées (sélection assistée par marqueurs).

Mais, dans toutes les situations, les performances des poissons ne sont pas uniquement gouvernées par leur potentiel génétique mais aussi par les conditions environnementales, qui lors de leurs fluctuations peuvent entraîner un stress chez le poisson.

Le stress est un phénomène normal et naturel, la vie n'existerait pas s'il n'était pas là. Dans sa forme bienveillante, il façonne l'évolution et renforce la capacité des animaux à survivre. Dans sa forme malveillante, il affaiblit les

animaux jusqu'à ce que leurs capacités physiologiques soient telles qu'elles ne les protègent plus des attaques des pathogènes.

Bien que certains facteurs de stress rencontrés durant les procédures normales en aquaculture sont inévitables, certaines approches ou pratiques permettent d'en diminuer considérablement les effets.

Les facteurs environnementaux ainsi que les pratiques aquacoles sont depuis de nombreuses années analysés sous toutes leurs formes par les scientifiques afin de pouvoir mieux les comprendre et ainsi être en mesure de les diminuer ou de les éliminer des systèmes de production dans le but de remédier aux effets préjudiciables du stress qu'ils peuvent engendrer.

A travers cette synthèse, nous nous attacherons dans un premier temps à définir le stress, ces différentes phases et les réponses qu'il engendre au niveau de l'organisme. Dans un deuxième temps, nous exposerons les principaux facteurs de stress auxquels les poissons doivent faire face ainsi que leur impact en aquaculture.

1 STRESS

1.1 DEFINITION

Le concept de stress a été formulé pour la première fois durant la première moitié du 20^e siècle par W. B Cannon et H. A Seyle. C'est un état qui se manifeste par un ensemble de réactions de l'organisme à l'action non spécifique des facteurs de stress physiques, chimiques ou biologiques. Depuis, le stress est considéré comme un processus interactif global comprenant la totalité des facteurs intervenants : stimulus, réponse au stimulus, processus de perception et d'évaluation de la situation.

Tout facteur, qu'il soit interne ou externe, qui perturbe la balance physiologique est considéré comme un stress.

1.2 STRESS AIGU ET STRESS CHRONIQUE

Le stress aigu correspond à une agression le plus souvent violente, physique ou psycho-emotionnelle limitée dans le temps.

La réponse de l'organisme est elle aussi violente, immédiate et intense.

Le stress chronique correspond à des agressions violentes ou modérées mais répétées ou rapprochées dans le temps, voire continue pendant une certaine période.

Dans les deux cas de stress, la réponse de l'organisme se fait au niveau physique et biologique. Elle est responsable de perturbations des différents métabolismes et de l'équilibre biochimique.

1.3 LES FACTEURS DE STRESS

Dans la littérature, on retrouve plusieurs dénominations pour qualifier ce terme : agent stressant, stresseurs ou « stressors » selon le terme anglo-saxon.

Les facteurs de stress tels qu'on les définit dans la terminologie francophone représentent l'ensemble des situations qui peuvent constituer des agressions ou qui sont vécues comme telles.

1.4 ETAT DE STRESS

L'état de stress recouvre le syndrome d'adaptation au stress, les réactions de stress. Elles sont considérées comme les conséquences d'une réaction de défense de l'individu face à une situation nouvelle qui vient perturber ou rompre la stabilité et l'équilibre intérieur.

Les réactions de stress regroupent un ensemble de manifestations biologiques, physiologiques et comportementales mises en œuvre dans des circonstances bien particulières. Elles visent au maintien actif et au rétablissement de cet équilibre.

1.5 COPING

On appelle « coping » les stratégies d'adaptation individuelles mises en œuvre face à un stress.

Elles cherchent à déplacer ou à contourner les difficultés rencontrées dans l'environnement dès que la souffrance devient trop présente (Boudarene et al., 1997).

Le coping ou le faire face est une réponse qui s'exprime de façon polymorphe, à la fois par des manifestations somatiques, comportementales et cognitives. Les stratégies peuvent être passives ou actives (Canouï et al., 1998).

2 STRESS ET REPONSE DE L'ORGANISME

2.1 LES BASES DE LA REPONSE AU STRESS

En 1946, H. Seyle décrit le syndrome général d'adaptation (SGA).

Celui-ci représente toutes les modifications non spécifiques, c'est-à-dire indépendantes du type de stressor, qui se développent dans l'organisme et dans le temps au cours de l'exposition continue à un stressor (Fig 1).

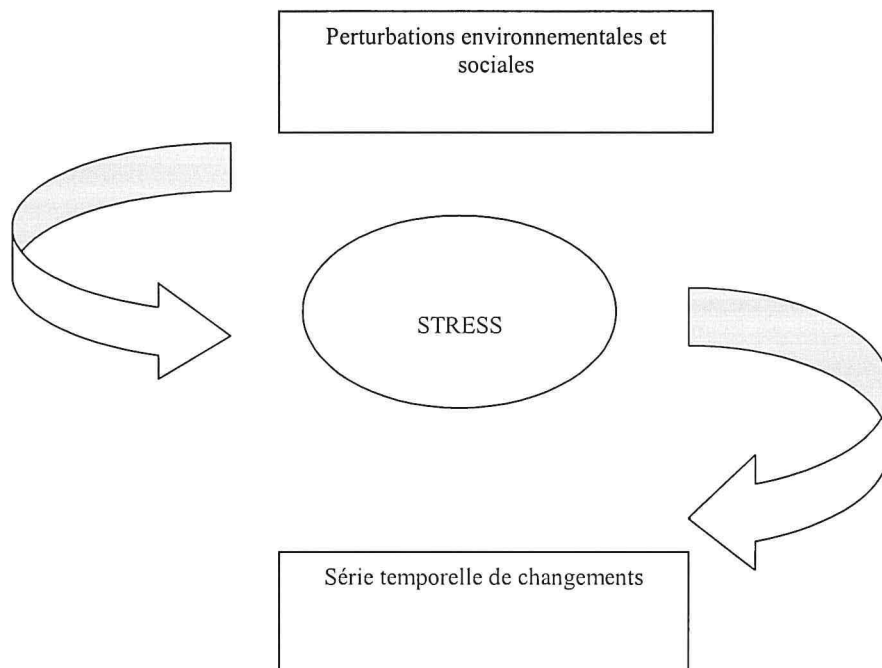


Fig 1 : Les bases de la réponse physiologique au stress.

Le syndrome général d'adaptation touche l'organisme tout entier. C'est la réponse apportée au facteur stress. Elle se traduit par un ensemble de modifications biologiques responsables des différentes manifestations symptomatiques fonctionnelles et organiques.

Dans sa forme typique il se déroule en trois phases :

- La phase d'alarme : caractérisée par des changements physiologiques et le contrôle de l'homéostasie.
- La phase de résistance : Processus compensatoire pour restaurer la balance physiologique. Cette phase coûte beaucoup d'énergie, ce qui entraîne une réduction des performances.

- La phase d'épuisement : Les limites de l'organisme sont dépassées, la réponse compensatoire va avoir des effets défavorables ou délétères.

2.2 REPONSE PHYSIOLOGIQUE ET COMPORTEMENTALE

Trois types de réponses sont mises en jeu lors d'un stress. La réponse primaire, secondaire et tertiaire. (Fig 2)

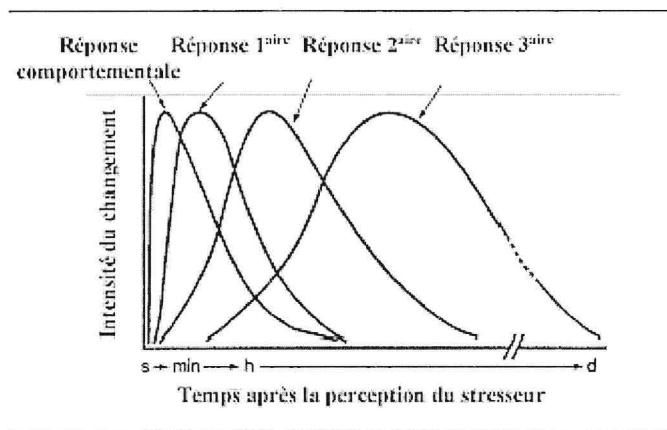


Fig 2 : Les différentes réponses mises en place lors d'un stress en fonction du temps.

2.2.1 La réponse primaire

La réponse primaire est une réponse neuroendocrinienne caractérisée par une activation sympathique et une sécrétion d'épinéphrine et de cortisol.

Elle comprend :

La réponse adrénergique : pendant laquelle on va observer une augmentation des concentrations en catécholamines (adrénaline, noradrénaline) synthétisées et sécrétées par le tissu chromaffine de la surrénale.

Ces catécholamines vont avoir des effets sur les muscles squelettiques en augmentant la glycogénolyse, et sur les cellules adipeuses en augmentant la lipolyse. On va aussi observer une augmentation de la fréquence des battements cardiaques et de la force de contraction du cœur.

Cette réponse est mise en place très rapidement après la perception du stress. La durée de vie des catécholamines dans le plasma sanguin est de courte durée, la durée d'action est elle aussi courte. Il y a une

corrélation entre l'amplitude de la libération de catécholamines et l'intensité du stress.

La réponse de l'axe hypothalamus-hypophyse-interrenal : Lors d'un stress, les neurones du nucléus pré-opticus (l'équivalent du noyau paraventriculaire chez les mammifères) libèrent des corticolibérines, CRH, près des cellules corticotropes, entraînant celles-ci à sécréter l'ACTH, adénocorticotropique hormone considéré comme le principal corticotrope (Wendelaar Bonga, 1997). L' α -MSH, α -melanocyte-stimulating hormone, joue aussi un rôle dans la sécrétion de cortisol, mais son action est moins efficace que celle de l'ACTH (Lamers et al., 1992). (Fig. 3)

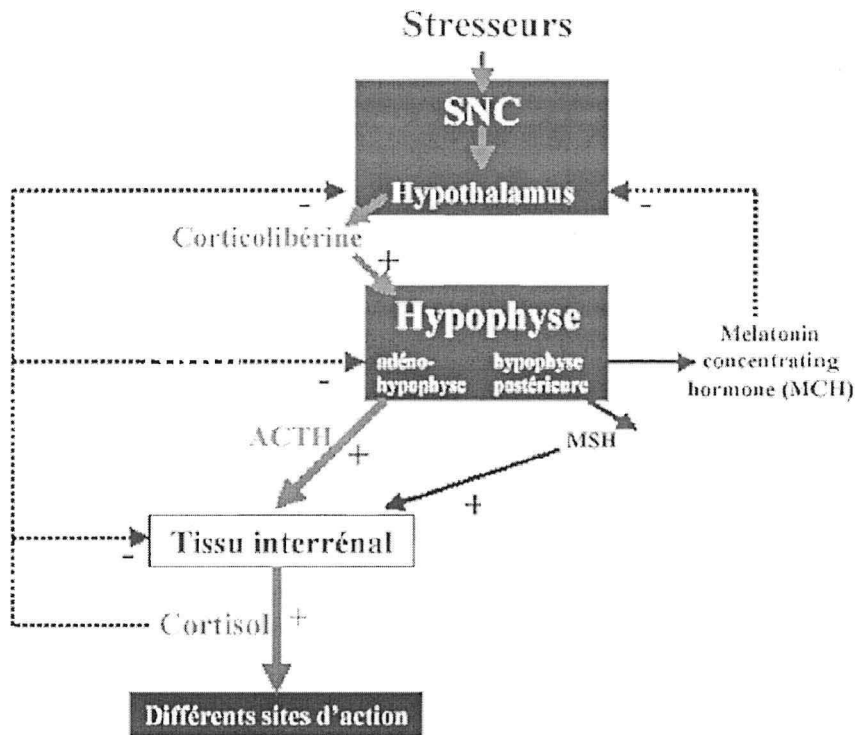


Fig.3 Effet du stress sur l'axe hypothalamus-hypophyse-interrenal chez le poisson.

Cette réponse se met en place dans les 5 à 10 minutes qui suivent la perception du stress. On observe une augmentation des concentrations plasmatiques en corticostéroïdes tant que le stress est maintenu jusqu'à des valeurs de 200-500 ng.ml⁻¹. Il y a un retour rapide à une concentration basale lors de stress aigu de courte durée mais il peut y avoir maintien de concentrations élevées en cortisol lors de stress chroniques. Dans certains cas de stress prolongé, on peut observer un retour progressif des

teneurs plasmatiques en cortisol à des valeurs de repos, suite à une augmentation de la vitesse de dégradation et d'évacuation de l'hormone.

Il existe des variations interspécifiques de la réponse primaire au stress (Fig.4)

Valeurs mesurées 1h après un stress (manipulation) de 30 s

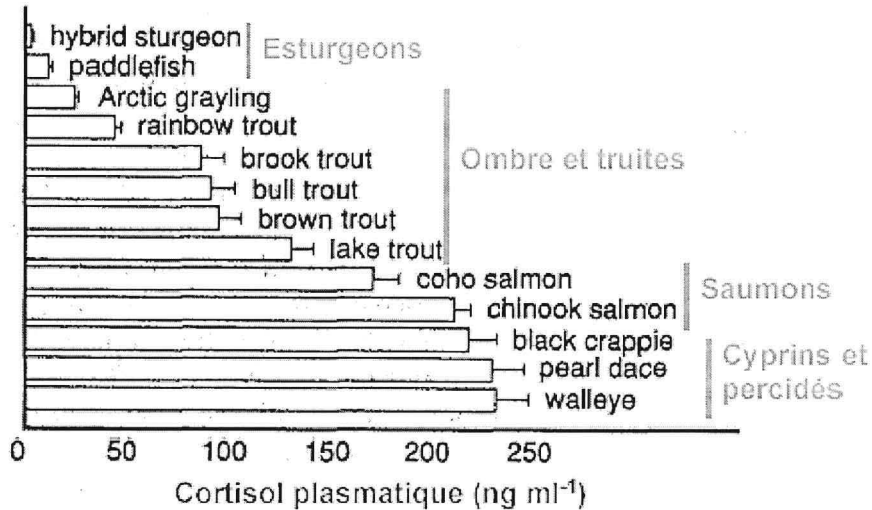


Fig.4 : variations interspécifiques de la réponse primaire au stress.

2.2.2 La réponse secondaire

Ce sont les réponses cardiovasculaires, respiratoires, osmotiques et métaboliques résultants de la libération des hormones de stress.

Les effets secondaires de la réponse adrénérergique au stress sont des changements d'ordre cardio-vasculaires et respiratoires permettant d'accroître la capacité de fixation et de transport du sang en O₂, afin de fournir l'énergie nécessaire aux réactions cataboliques. On observe aussi des perturbations osmotiques et ioniques créant des déséquilibres de concentration en électrolytes sanguins, suite aux modifications de la perméabilité épithéliale des organes osmo-régulateurs ainsi que des modifications du métabolisme intermédiaire (concentration plasmatique en glucose, en acides gras libres...)

Les effets secondaires de la réponse de l'axe hypothalamus-hypophyse-interrenal entraînent la mobilisation des réserves énergétiques nécessaires pour faire face à la demande accrue associée au stress. On va observer un relai des catécholamines dans l'augmentation du glucose sanguin par inhibition de la synthèse protéique et de la néoglucogenèse. La régulation de la pression osmotique et de la concentration ionique va pouvoir se faire grâce à la restauration des valeurs normales par activation des Na^+/K^+ ATPase.

2.2.3 La réponse tertiaire

Cette réponse apparaît à la suite d'exposition des organismes à des stressseurs chroniques. On va observer une réduction des capacités de reproduction, une dépression de la croissance avec une diminution des taux de GH (growth hormone), des niveaux de T3 et T4, ainsi qu'une compétition entre la résistance au stress chronique et la croissance pour l'utilisation des ressources énergétiques. Il existe des interactions complexes entre le stress et l'immunocompétence, parfois les fonctions immunitaires sont augmentées, parfois le stress entraîne un effet immunosuppresseur, avec comme conséquence l'augmentation de la fréquence des maladies.

3 LES METHODES D'ÉVALUATION DU STRESS

Le stress est un phénomène global concernant un individu. La mesure de l'état de stress pourra porter sur les dosages biologiques ou les mesures physiologiques.

Comme nous l'avons vu, les glucocorticoïdes sont considérés comme la composante principale de la réaction non spécifique au stress. Principal corticostéroïde chez le poisson, le cortisol est largement utilisé comme un indicateur général et endocrinien du stress. Les taux de cortisol plasmatique peuvent être facilement mesurés et servir de paramètre de référence en ce qui concerne la réponse au stress (Pickering et Pottinger, 1989).

Une augmentation du taux plasmatique de lactate résultant de l'augmentation du métabolisme anaérobie est aussi associée au stress aigu. Le dosage du lactate peut donc lui aussi servir à mesurer le stress.

L'augmentation des taux de glucose et d'hématocrite (volume des globules rouges par rapport au reste du sang) sont des réponses de l'organisme qui peuvent servir à évaluer l'état de stress des poissons.

Beaucoup d'autres paramètres peuvent encore être mesurés afin de refléter le stress qu'aura pu subir l'organisme, on peut citer les taux de chlorures, d'hémoglobine ou encore le nombre d'érythrocytes (Benfey et Biron, 1999).

Parmi les réponses immunitaires qui peuvent être contrôlées à la suite d'un stress on citera les réactions d'agglutinations et la mesure de l'activité hémolytique (Montero et al., 1998).

4 PRINCIPAUX STRESSEURS ET LEUR IMPACT EN AQUACULTURE

4.1 LES PRINCIPAUX PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU

Le mode de vie des poissons en milieu aquatique conduit à de nombreux échanges entre le milieu extérieur et le milieu intérieur au niveau de certains épithéliums comme celui des branchies ou de l'intestin. Cette situation impose une gestion équilibrée des échanges d'eau, de gaz et d'ions qui dépendent à la fois de mécanismes biologiques internes mais aussi des caractéristiques physico-chimiques du milieu externe. L'impact d'une situation de stress dépend donc à la fois de l'intensité des facteurs de stress et des conditions environnementales dans lesquelles il est appliqué. Les poissons d'élevage sont continuellement exposés à des pratiques aquacoles qui sont susceptibles d'induire chez eux un stress. Stress qui se rajoute au stress environnemental que peuvent rencontrer toutes les espèces suite à des changements physiques et chimiques de leur milieu de vie.

4.1.1 La température

Les causes majeures de mortalité dans les systèmes de production aquacole sont les techniques d'élevage et les perturbations environnementales. Ces perturbations sont cumulatives et non additives, cela signifie que le stress engendré par les facteurs environnementaux peut être augmenté plusieurs fois. Les poissons sont des animaux poïkilothermes : la température constitue donc un facteur important pour la régulation de nombreuses réactions biologiques du poisson. L'effet de la température sur le taux de cortisol est contradictoire. Une élévation abrupte de la température entraîne généralement une augmentation du taux de cortisol plasmatique sur le court terme, les taux retrouvant leurs valeurs basales sous 1 à 15 jours chez les téléostéens en fonction de l'échelle des températures et des espèces (Rotlant et al., 2000). Cependant, il y a aussi des preuves d'une diminution ou d'une augmentation du niveau basal de cortisol ainsi qu'une réduction ou une augmentation de la réponse au stress chez les téléostéens et les chondrichthyens acclimatés à des températures fraîches (Cataldi et al., 1998) suggérant des différences en fonction des espèces et des saisons. Davis et Parker ont suggéré en 1990 qu'il existe une gamme de températures optimales et que l'exposition à des températures supérieures ou inférieures accentue le stress.

Une température importante de l'eau induit deux effets antagonistes sur la croissance : Un effet négatif dû à un coût énergétique supérieur pour le

maintien du métabolisme et un effet positif dû à une meilleure capacité de transformation de l'énergie nutritionnelle en énergie nette (Xiao-Juan et Ruyung, 1992). La croissance augmente avec les températures chez les poissons jusqu'à ce que celles-ci atteignent les limites de tolérances des espèces concernées. Dans ce cas, généralement, on observe les effets inverses (Hasan et Macintosh, 1991). Plusieurs études sur de nombreuses espèces ont relaté, qu'avec une augmentation de température, le taux de croissance journalier augmente avec les rations importantes et diminue avec les rations moins importantes. Cependant, d'autres études, sur le turbot notamment, n'ont montré aucune différence de croissance pour des rations équivalentes données à des poissons élevés à des températures différentes (Van Ham et al., 2002).

Chez le poisson, les facultés reproductrices sont très sensibles aux températures de l'eau (Van der Kraak et Pankhurst, 1996). Il semble que la température module l'action hormonale à tous les niveaux du système reproductif endocrinien, affectant les différentes phases de la reproduction, particulièrement l'ovulation et le ponte. Des températures inadaptées peuvent conduire à l'arrêt de reproduction des poissons ou à des performances reproductrices plus faibles. Les taux de fertilisation et d'éclosion des œufs de *Hippoglossus hippoglossus* diminuent quand la température dépasse 8°C (Brown et al., 1995). L'ovulation chez l'*Anarhichas lupus* est retardée à 8 et 12 °C comparé à 4°C et la survie des œufs diminue significativement lorsque les reproducteurs sont exposés à des températures de 12°C (Tveiten et al., 2001). En augmentant la température de 8 à 12°C, on diminue le pourcentage de femelles de morues (*Gadus morhua* L.) en ovulation (Johansen et al., 1999) et lorsque les températures sont supérieures à 10°C, le pourcentage d'œufs fertilisés diminue (Van der Meeren et Ivannikov, 2001). Chez le saumon atlantique, on observe 57 % d'ovulation à 13°C contre 98 % à 6°C (Taranger et Hansen, 1993). Chez le tilapia, la gamétogenèse et par suite la reproduction sont inhibées à des températures inférieures à 22-24°C (Baroiller et al., 1997).

4.1.2 Salinité

La tolérance au sel est souvent négativement corrélée à la capacité de croissance. Par exemple, *Oreochromis niloticus* est considéré par les spécialistes comme une espèce qui croit particulièrement bien mais elle est très peu tolérante vis-à-vis de la salinité. En revanche, les espèces telles que *Sarotherodon melanotheron* et *Oreochromis mossambicus* qui ont des capacités naturelles de croissance faible peuvent tolérer des salinités élevées pouvant atteindre 117 g.l⁻¹ (Green, 1997), et en milieu naturel, *S. melanotheron* est même rencontré jusqu'à 134 g.l⁻¹ (JJ. Albaret, comm. personnelle). Chez plusieurs espèces de poissons, les perturbations hydrominérales lors de stress peuvent être réduites quand la salinité du milieu extérieur est presque iso-osmotique avec le plasma sanguin du poisson. (Reubush et Heath, 1997). Ce fait a été attribué à un coût énergétique plus bas pour la régulation ionique dans

un environnement iso-osmotique où le gradient ionique entre le sang et l'eau est minimal (Morgan et al., 1997). Il a été suggéré que l'énergie sauvée sert à la croissance de l'animal (Likongwe et al., 1996). Chez le turbot en effet, les performances de croissance sont meilleures lorsque la salinité est plus faible. La croissance n'est pas la seule à être améliorée, la consommation et le taux de conversion de nourriture sont aussi supérieurs à 15 ‰ qu'à des salinités plus importantes (Imsland et al., 2001). Chez les juvéniles de cette espèce, on observe une meilleure croissance et un meilleur taux de conversion de la nourriture pour des salinités de l'ordre de 20 ‰. Chez le bar rayé (*Morone saxatilis*), en revanche, une augmentation de la salinité permet une diminution du taux de cortisol après un stress aigu. Tout ceci suggère que la salinité optimale varie en fonction du stade de développement et de l'espèce considérée. La salinité semble aussi avoir un effet sur la taille à la maturité sexuelle et sur la reproduction. Une étude récente menée sur *Sarotherodon melanotheron* montre que la taille à la maturité sexuelle est moins importante dans les environnements les plus salés. La fécondité quant à elle est plus faible lorsque la salinité est moins importante (Panfili et al., 2003).

Température, salinité et taux de conversion de la nourriture

Il a été démontré que la température pouvait interagir avec des facteurs tels que la salinité et avoir des effets sur les taux de conversion de nourriture.

La température optimale pour la croissance varie avec la salinité, par exemple, chez *Trinectes maculatus*, la croissance et l'efficacité de conversion de la nourriture augmentent avec la salinité à des températures basses alors qu'à des températures élevées c'est le contraire qui est observé (Peters et Boyd, 1972). Chez le turbot (*Scophthalmus maximus*) c'est l'inverse, la croissance et le taux de conversion sont meilleurs avec des salinités faibles et des températures basses. Les réponses diffèrent donc entre les espèces. L'augmentation de la croissance lors de faibles salinités et de températures importantes peut être expliquée par la combinaison d'une meilleure utilisation d'aliments. Trouver l'optimum entre la température et la salinité est très important en aquaculture car les coûts liés à la nourriture peuvent être diminués si les conditions sont optimales.

4.1.3 Teneur en oxygène dissout

L'oxygène est un gaz essentiel pour la vie des poissons. Cependant, même s'ils sont capables de tolérer des niveaux bas d'oxygène dissout, il y a un niveau en dessous duquel les animaux vont être stressés. L'hypoxie et l'hyperoxie sont des conditions qu'on rencontre fréquemment dans les systèmes de production aquacole. Elles ont des incidences importantes sur la mortalité des animaux en modifiant le métabolisme du cerveau, du foie ou encore des muscles (Van Raaij

et al., 1994). L'hypoxie et l'hyperoxie entraînent chez les truites des changements physiologiques importants comparé aux animaux élevés dans des conditions normales (Van Raaij et al., 1996). Ces changements incluent une décroissance du CO₂ sanguin dû à une augmentation de la ventilation et du glucose sanguin (Smith et Hattingh, 1978) ainsi qu'une anémie dans le cas de l'hypoxie et une acidose respiratoire lors de l'hyperoxie. Il a été largement démontré qu'en augmentant la quantité d'oxygène dissout, la croissance était améliorée. Les truites arc-en-ciel maintenues dans des conditions hyperoxiques présentent un taux de croissance supérieur à celui enregistré chez les poissons élevés en conditions hypoxiques (Dabrowski et al., 2003). Ces résultats sont en contradiction avec les études précédentes qui démontraient que le taux d'oxygène dissout n'avait pas d'impact sur la croissance de cette espèce (Cadwell et Hinshaw, 1994). Dabrowki et al. (1999), expliquent la différence entre les études en suggérant que les effets de l'hyperoxie ne se manifesteraient qu'après une période prolongée. L'augmentation de la quantité d'oxygène dissout entraîne aussi une augmentation de la prise de poids chez la carpe commune (Chiba, 1966), chez le brochet (*Esox lucius*) (Adelman et smith, 1970), chez le saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*) (hermann et al., 1962), ou encore chez le poisson-chat américain (J.A. Buentello et al, 2000), ceci en augmentant l'appétit et donc la consommation de nourriture ainsi qu'en induisant des changements dans la digestion et l'efficacité d'assimilation (Garces Botacio, 1991).

Interaction oxygène - température - salinité

J.A. Buentello et al., (2000), démontrent que l'interaction oxygène température affecte directement la physiologie des poissons chats en modifiant leur métabolisme. Par exemple, lorsque les températures sont basses, le taux d'ingestion reste bas en dépit de la forte disponibilité en oxygène. Les quantités importantes d'oxygène elles-mêmes n'induisent pas une augmentation de la prise de nourriture car il n'est pas nécessaire d'avoir un apport important d'énergie lorsque le métabolisme est ralenti. De même, lorsque les températures sont importantes, les taux métaboliques augmentent et l'animal a besoin de plus d'oxygène pour supporter les fortes demandes en énergie. D'un autre côté, quand la quantité d'oxygène dissout est faible, les taux de consommation de nourriture diminuent radicalement et les températures semblent avoir moins d'influence sur la quantité d'aliments consommée. G.J. Dalla Via dans son étude parue en 1986, montre qu'une diminution de la salinité du milieu chez la crevette *Penaeus japonicus* entraîne rapidement une très forte augmentation de la consommation d'oxygène induisant une perte de productivité pouvant atteindre le tiers du poids de l'animal. Des conditions optimales sont donc requises afin d'assurer des performances physiologiques maximales.

4.2 LES PRATIQUES AQUACOLES

4.2.1 Le confinement

Le surpeuplement des bassins et des cages est un facteur de stress important chez les poissons, il entraîne une multitude d'effets métaboliques, hormonaux ou encore comportementaux. Il a été démontré pour certaines espèces, que les individus élevés dans des bassins où la densité est très élevée présentent un retard de croissance, un mauvais taux de conversion de la nourriture ou encore un système immunitaire altéré, c'est le cas pour le saumon de l'atlantique (Mayer et Iwama, 1993) ou encore pour les carpes (Yin et al., 1995).

Deux facteurs peuvent affecter la physiologie des poissons dans de telles conditions et agir comme stressseurs. La teneur de l'eau en oxygène et en ammoniac.

L'accumulation d'ammoniac :

L'ammoniac est le principal déchet produit lors du métabolisme protéique chez les poissons. Lorsque l'ammoniac est libéré dans l'eau, il prend la forme NH_3 qui est fortement toxique et de NH_4 (Fivelstad et al., 1993). Les principaux facteurs environnementaux déterminant la proportion des deux formes et donc la toxicité de l'ammoniac sont la température et le pH.

Les niveaux d'ammoniac relevés dans l'eau sont deux fois plus importants pour les groupes de poissons maintenus à une forte densité par rapport aux groupes où la densité était plus faible (Montero et al., 1998). Le stress chronique entraîné par ces concentrations toxiques en ammoniac provoque une altération du taux de conversion de nourriture ainsi qu'une diminution de la croissance. La concentration en cortisol du plasma (indicateur de stress) augmente au début de la situation de stress chronique puis diminue pour retrouver sa concentration initiale au bout de quelques jours (Tort et al., 1996) montrant que le poisson s'est adapté à la nouvelle situation. Cependant, certaines études ont montré que parfois la concentration en cortisol reste élevée, suggérant que le poisson est incapable de s'adapter aux nouvelles conditions (Montero et al., 1998). Or, Pickering et Pottinger ont mis en évidence que les élévations de la concentration plasmatique en cortisol induisent chez les poissons un phénomène d'immunosuppression résultant en une augmentation de la susceptibilité à attraper des maladies ou à la mort des individus. Les coûts supplémentaires engendrés par le traitement ou les pertes d'individus risquent d'affecter la rentabilité des systèmes de production.

4.2.2 Les manipulations

Tous les types de manipulations sont susceptibles de stresser les poissons. Dans les écloseries par exemple, l'entretien des bassins ou les protocoles de

désinfections peut entraîner un stress induisant un affaiblissement des larves conduisant à de fortes mortalités et de faibles performances (G. Stephen, 1999). Pour manipuler et attraper les poissons, on introduit un élément extérieur dans leur milieu (main ou filet), ce qui occasionne un stress important. Si la manipulation n'est pas faite correctement, la barrière de mucus qui protège l'animal ou ses écailles peuvent être endommagées, ce qui peut conduire à accroître la possibilité d'invasion de l'organisme par les parasites et les pathogènes. Les manipulations engendrant un stress vont conduire à des perturbations biochimiques ou physiologiques qui peuvent apparaître dans la seconde et perdurer plusieurs heures voire plusieurs jours. Lors de la capture et du transfert de poissons, en plus du stress occasionné par l'utilisation des filets, le poisson va subir un stress dû à l'émergence, ce qui va conduire à une acidose lactique par augmentation de l'activité anaérobie des muscles. Les animaux positionnés à la base du filet vont en plus subir une compression excessive. Une heure après la capture et le transfert de *Gaimard pimelodidae* d'un bac à un autre, on observe une augmentation de la concentration en cortisol plasmatique prouvant que cette procédure peut être considérée comme stressante par l'organisme (Barcellos et al. 2003). Il a été démontré que la réponse en cortisol engendrée après un événement stressant est fonction de la durée, du type et de la nature du stress (Pankhurst et Sharples, 1992). L'altération du métabolisme glucidique est aussi une réponse habituelle à la capture (Rotland et al., 2001). On observe aussi une augmentation de l'hématocrite et des globules rouges (Acerete et al., 2003).

Température, manipulations et confinement

La température a aussi un effet sur la réponse au stress dû aux manipulations et au confinement. Kenneth dans son étude en 2004 montre que le taux de cortisol est dépendant de la température lors du confinement. Les poissons acclimatés à des températures basses présentent des variations moins importantes des différents indicateurs de stress. Il démontre aussi que les manipulations des poissons à des températures permettant des ajustements physiologiques modérés permettent d'éviter un stress extrême et ainsi éviter des taux de mortalité importants lors de manipulations. Il semble que ces températures soient plus basses que les températures optimales relevées pour la croissance permettant une diminution des taux métaboliques qui vont entraîner une baisse de toutes les réponses au stress.

4.2.3 Le transport

Le transport des poissons est une pratique commune en aquaculture. En 2001, 135 000 000 saumons atlantiques (*Salmo salar* L.) ont été transportés dans 600 bateaux (Directorate of Fisheries, 2002). Durant le transport, 18 000 000 animaux sont morts. 60% des pertes sont dues à des maladies ou à des blessures. La capture, l'emprisonnement dans les filets, le chargement et le déchargement des poissons

dans les navires ainsi que les densités de stockage important pendant le transport et les conditions météorologiques sont des stimuli potentiellement dangereux qui peuvent conduire à stresser les poissons et à augmenter leur mortalité. De tels facteurs de stress peuvent produire une grande variété d'effets sur les poissons transportés, comme des modifications métaboliques, hormonales ou comportementales (Montero et al., 1999). De plus, durant le transport, la détérioration de la qualité de l'eau causée par l'accumulation d'ammoniac et de CO₂ peut aussi conduire au stress. Le processus de chargement des poissons est apparu comme le principal facteur de stress, bien plus que le transport lui-même (Barton et al., 2003). La durée du transport n'a pas d'effet sur le taux de cortisol plasmatique, donc semble ne pas agir comme facteur de stress chez le poisson. En fait il semble que les transports longs permettent aux poissons de récupérer et au taux de cortisol de retrouver sa valeur basale (Montero et al., 1999). Lorsque les taux de cortisol ne retrouvent pas leur valeur basale et qu'ils restent haut pendant le déchargements des poissons, on va observer des mortalités importantes et l'apparition de maladies quelques mois après, telle que la nécrose infectieuse pancréatique et ce même si les poissons on été vaccinés (Iversen, 2003). Une augmentation de lactate dans le sang peut apparaître si l'oxygène n'est pas en quantité suffisante pour le métabolisme aérobie. Cela peut être dû à une réduction de la ventilation ou de la circulation de l'eau. Le transport va aussi induire des changements dans l'osmolalité, ce qui indique des problèmes de balance osmotique au niveau des branchies. On observe aussi une augmentation de l'hématocrite et une hémococoncentration. Les conditions météorologiques semblent avoir leur importance. Même si la qualité de l'eau pendant le transport est bonne et que le stress est réduit au maximum pendant le chargement des poissons, un mauvais temps, et du vent vont conduire à une augmentation du stress et les poissons risquent de subir des mortalités importantes.

CONCLUSION

Les performances physico-chimiques et les pratiques aquacoles influent sur la physiologie, la biologie et le comportement du poisson. Un éloignement des valeurs optimales, que se soit pour la température, la quantité d'oxygène dissout ou la salinité va avoir pour effet de stresser les organismes. Il en est de même pour les pratiques aquacoles telles que le confinement, les manipulations ou encore le transport. Lorsqu'un stresser est rencontré, une cascade de réactions va se mettre en place de manière à aider le poisson à faire face aux nouvelles conditions. Cette adaptation se fait souvent au détriment des performances aquacoles. Il arrive même que les poissons ne s'adaptent pas. Les conséquences sur la rentabilité des fermes aquacoles sont catastrophiques puisque les organismes vont présenter des taux de mortalité importants, une croissance réduite, une diminution des capacités reproductrices ainsi qu'une baisse de leur capacité à résister aux pathogènes. Pour améliorer le rendement et la productivité des fermes, il est indispensable que le milieu d'élevage soit rigoureusement suivi, contrôlé, et maintenu aussi proche que possible des préférences de l'espèce élevée. Les facteurs de stress doivent être connus et diminués au maximum.

Références bibliographiques

- Acerete L., Balasch J.C., Epinosa E., Josa A., Tort L., 2003. Physiological responses in Eurasian perch (*Perca fluviatilis*, L) subjected to stress by transport and handling. *Aquaculture* 237, 167-178.
- Adelman I.R., Smith L.L., 1970. Effects of oxygen on growth and food conversion efficiency of northern pike. *Prog. Fisher. Cult.* 32, 93-96.
- Barcellos L.J.G., Kreutz L.C., Rodrigues L.B., Fioreze I., Quevedo R.M., Cericato L., Soso A.B., Fagundes M., Conrad J., Luciana de Almeida Lacerda, Terra S., 2003. Hematological changes in jundia (*Rhamdia quelen* ♀ and *Gaimard pimelodidae*) after acute and chronic stress caused by usual aquacultural management, with emphasis on immunosuppressive effects. *Aquaculture* 237, 229-236.
- Baroiller, J.F., Desprez, D., Carteret, Y., Tacon, P., Hoareau, M.C., Mélard, C., and Jalabert, B., 1997. Influence of environmental and social factors on the reproductive efficiency in three tilapia species, *Oreochromis niloticus*, *O. aureus* and the red tilapia (Red Florida strain). In K. Fitzsimmons (eds.), *Proceedings of the fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, 9-12 November 1997, Orlando, Florida, U.S.A., pp. 238-252.
- Barton B.A., Haukenes A.H., Parsons B.G., Reed J.R., 2003. Plasma cortisol and chloride stress responses in juvenile walleyes during capture, transport, and stocking procedures. *N. Am. J. Aquac.* 65, 210-219.
- Benfey T.J., Biron M., 1999. Acute stress response in triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture* 184, 167-176.
- Boudarene M., Timsit-Berthier M., Legros J.J., 1997. Qu'est ce que le stress ?. *Rev. Med. Liège*, Vol 52, n°8 : 541-549.
- Brown N.P., Bromage N.R., Shields R.J., 1995. The effect of spawning temperature on egg viability in the Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). In : Goetz F.W., Thomas P., *Reproductive Physiology of Fish*, *Proceedings of the Fifth International Symposium*, July 2-8, 1995, Austin T.X, 181.
- Buentello J.A., Delbert M.G., Neill W.H., 2000. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 182, 339-352.

- Canouï P., Mauranges A., Florentin A., 1998. Le syndrome d'épuisement. Ed. Masson, 211 pages.
- Cataldi E., Di Marco P., Mandrich A., Cataudella S., 1998. Serum parameters of Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*): effects of temperature and stress. *Comp. Biochem. Physiol. A* 121, 351-354.
- Chiba, 1966. A study on the influence of oxygen concentration on the growth of juvenile common carp. *Tokyo Bull. Freshwat. Fish. Res. Lab.* 15, 35-47.
- Dabrowski, J.D., Blom J.H., Rapp K., Sakakura Y., Tsukamoto K., 1999. Competition for space and food in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, as related to ascorbic acid status. *Aquaculture* 180:79-87.
- Dalla Via G.J. 1986 Salinity responses in brackish water populations of the freshwater shrimp *Panaemonetes antennarius*: Oxygen consumption. *Comp. Biochem. Physiol.* 87, 471-478.
- Davis K.B., Parker N.C., 1990. Physiological stress in striped bass : effect of acclimation temperature. *Aquaculture* 91, 349-358.
- Fivelstad S., Hallevik H., Iversen H.M., Moretro T., Vage K., Binde M., 1993. Sublethal effects of ammonia in soft water on Atlantic salmon smolts at a low temperature. *Aquaculture International* 1, 157-169.
- Garces Botacio H.A, 1991. Observed and modeled growth of red drum in aquacultural ponds in the Republic of Panama. Ph.D. Dissertation. Texas A&M University, College Station, USA, p.86.
- Green B.W., 1997. Inclusions of tilapia as a diversification strategy for penaeid shrimp culture. In: Alston, D.E., Green B.W., Clifford H.C., IV Symposium on Aquaculture in central America: Focusing on Shrimp and tilapia, 22-24 April 1997, Tegucigalpa, Honduras. Asociation Nacional de Acuicultores de Honduras and the Latin American Chapter of the World Aquaculture Society, 85-93.
- Hasan M.R., MacIntoch D.J., 1991. Effect of environmental temperature and feeding rate on the growth, food utilization and body composition of common carp (*Cyprinus carpio L.*) fry. In: Kaushik S.W., Luquet P. *Fish Nutrition in Practice. Les colloques (Paris)*, vol.61, 767-778.
- Hermann R.B., Warren C.E., Doudoroff P., 1962. Influence of oxygen concentration on the growth of juvenile coho salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 91, 155-167.

- Imslund A.K., Foss A., Gunnarsson S., Berntssen M.H.G., FitzGerald R., Wendelaar Bonga S., Van Ham E. Nævdal G., Stefansson S.O., 2001. The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture* 198, 353-367.
- Iversen M., Bengt F., Robert S. McKinley, Robert A. Eliassen, Kristian Tuf Carlsen, Tore Evjen. 2005. Stress responses in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) smolts during commercial well boat transports, and effects on survival after transfer to sea. *Aquaculture* 243, 373-382.
- Johansen T., Nyhammer G., Otterlei E., Nævdal G., Brix O., 1999. Sexual maturation in cod (*Gadus morhua L.*) in relation to strain, temperature, sex, size and haemoglobin type. In : Norberg B., Kjesbu O.S., Taranger G.L., Anderson E., Stefansson S.O., Reproductive Physiology of Fish, Proceedings of the sixth International Symposium, July 4-9, 1999, Bergen, Norway, 343.
- Kenneth B. Davis, 2004. Temperature affects physiological stress responses to acute confinement in sunshine bass (*Morone chrysops X Morone saxatilis*). *Comparative Biochemistry and Physiology* 139, 433-440.
- Lamers A.E., Flik G., Atsma W., Wendelaar Bonga S.E., 1992. A role for di-acetyl alpha-melanocyte-stimulating-hormone in the control release in the teleost *Oreochromis mossambicus*. *J. Endocrinol.* 135, 285-292.
- Likongwe J.S., Stecko T.D., Stauffer J.R., Carline F., 1996. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linneus). *Aquaculture* 146, 37-46.
- Montero D., Tort L., Izquierdo M.S., Robaina L., Vergara J.M., 1998. Depletion of serum alternative complement pathway activity in gilthead seabream caused by alpha-tocopherol and n-3 HUFA dietary deficiencies. *Fish Physiol. Biochem.* 18, 399-407.
- Montero D., Marrero M., Izquierdo M.S., Robaina L., Vergara J.M., Tort L., 1998. Effect of vitamin E and C dietary supplementation on some immune parameters of gilthead seabream (*Sparus aurata*) Juveniles subjected to crowding stress. *Aquaculture* 171, 269-278.
- Montero D., Izquierdo M.S., Tort L., Robaina L., Vergara J.M., 1999. High stocking density produces crowding stress altering some physiological parameters in gilthead seabream, *sparus aurata*. *Fish Physiology and Biochemistry* 20, 53-60.

- Morgan J.D., Sakamoto T., Grau E.G., Iwama G.K., 1997. Physiological and respiratory responses of Mozambique Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) to salinity acclimatation. *Comp. Biochem. Physiol. Part A* 117, 391-398.
- Panfili J., Abdou Mbow, Durand J.D., Khady Diop, Laë R., 2004. Influence of salinity on the life-history traits of the West African black-chinned tilapia (*Sarotherodon melanotheron*): comparison between the Gambia and Saloum estuaries. *Aquat. Living Resour.* 17, 65-74.
- Pankhurst N.W., Sharples D.F., 1992. Effects of capture and confinement on plasma cortisol concentrations in the snapper, *Pargus auratus*. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 43, 345-356.
- Pickering A.D., Pottinger T.G., 1989. Stress responses and disease resistance in salmonid fish: effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiol. Biochem.* 7, 253-258.
- Reubush K.J., Heath A.G., 1997. Effects of recovery water salinity on secondary stress responses of hybrid striped bass fingerlings. *Prog. Fish Cult.* 59, 188-197.
- Rotland J., Balm P.H.M., Wendelaar-Bonga S.E., Perez-Sanchez J., Tort L., 2000. A drop in ambient temperature results in a transient reduction of interregional ACTH responsiveness in the gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.). *Fish Physiol. Biochem.* 23, 265-273.
- Smith G.L., Hattingh J., 1978. The effect of respiratory stress on carp haemoglobin. *Comp. Biochem. Physiol.* 59A, 369-374.
- Stephen. G., 1999. Management and prevention of stress in aquaculture with a focus on farmed shrimp. Ph.D. Dissertation. Aqua-In-Tech Inc. p12.
- Taranger G.L., Hansen T., 1993. Ovulation and egg survival following exposure of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., broodstock to different water temperatures. *Aquac. Fish. Manage.* 24, 151-156.
- Tort L., Sunyer J.O., Gomez E., Molinero A., 1996. Crowding stress induces changes in serum haemolytic and agglutination activity in gilthead seabream *Sparus aurata*. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 51, 179-188.
- Tveiten H., Solevag S.E., Johnsen H.K., 2001. Holding temperature during the breeding season influences final maturation and egg quality in common wolfish. *J. Fish Biol.* 58, 374-385.

- Van der Kraak G., Pankhurst N.W., 1996. Temperature effects on the reproductive performance of fish. In : Wood, C.M., Mc Donald D.G. Global warming : implications for fresh-water and marine fish. Soc. Exp. Biol., Sem. Ser., Vol 61. Cambridge University Press, 159-176.
- Van der Meeren T., Ivannikov V., 2001. Seasonal shift in spawning of cod broodstocks by light manipulation : egg quality and larval rearing. In : Hendry C.I., Van Stappen G.V., Wile M, Sorgeloos P., 2001, Proceedings of the Third Fish and Shellfish Larviculture Symposium, Spec. Publ., Vol. 30. EAS, Oostende, 616-617.
- Van Ham. E.H., Van Anholt R.D., Kruitwagen G., Imsland A.K., Foss A., S.E., Wendelaar Bonga., 2002. Environment affects stress in exercised turbot. Comparative Biochemistry and Physiology 136, 525-538.
- Van Raaij M.T.M., Bakker E., Nieveen M.C., Zirkzee H., Van den Thillart G.E.E.J.M., 1994. Energy status and free fatty acid patterns in tissues of commons carp (*Cyprinus carpio*, L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, L.) during severe oxygen restriction. Comp. Bioch. Physiol. 109A, 755-767.
- Van Raaij M.T.M., Pitt D.D.D., Balm P.H.M., Steffens A.B., Van den Thillart G.E.E.J.M., 1996. Stress response in rainbow trout exposed to severe hypoxia. Horm. Behav. 30, 85-92.
- Wendelaar Bonga, S.E., 1997. The stress response in fish. Physiol. Rev. 77, 591-625.
- Xiao-Juan, Ruyung S., 1992. The bioenergetics of southern catfish (*Silurus meridionalis* C.): Growth rate as a function of ration level, body weight and temperature. J. Fish Biol. 40, 713-719.
- Yin Z., Lam T.J., Sin Y.M., 1995. The effects of crowding stress on the non-specific immune response in fancy carp (*Cyprinus carpio* L.) Fish and shellfish Immunol. 5, 519-529.