Année 2018

# BIEN-ÊTRE DES POISSONS EN AQUACULTURE

THÈSE

Pour le

### DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant

## LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE CRÉTEIL

le..30.janvier 2018

#### par

## Mathilde, Delphine Escudero

Née le 25 janvier 1992 à Miramas (Bouches du Rhône)

#### **JURY**

Président : Pr. HAMONET Professeur à la Faculté de Médecine de CRÉTEIL

**Membres** 

Directeur : Ségolène Calvez Maître de Conférences à ONIRIS Assesseur : Alline de Paula Reis Maître de Conférences à l'ENVA

#### Liste des membres du corps enseignant

Directeur : M. le Professeur Degueurce Christophe

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs : Cotard Jean-Pierre, Mialot Jean-Paul, Moraillon Robert, Parodi André-Laurent, Pilet Charles, Toma Bernard. Professeurs émérites : Mme et MM. : Bénet Jean-Jacques, Chermette René, Combrisson Hélène, Courreau Jean-François, Deputte Bertrand, Niebauer Gert, Paragon Bernard, Pouchelon Jean-Louis.

#### Département d'élevage et de pathologie des Équidés et des Carnivores (DEPEC)

#### Unité pédagogique de cardiologie

Pr Chethoul Valérie

Dr Gkouni Vassiliki, Praticien hospitalier

#### Unité pédagogique de clinique équine

Pr Audigé Fabrice

Dr Bertoni Lélia, Maître de conférences

Dr Bourzac Céline, Maître de conférences contractuelle Dr Coudry Virginie, Praticien hospitalier

Pr Denoix Jean-Marie

Dr Giraudet Aude, Praticien hospitalier

- Dr Jacquet Sandrine, Praticien hospitalier - Dr Mespoulhès-Rivière Céline, Praticien hospitalier

Dr Moiroud Claire, Praticien hospitalier

Unité pédagogique de médecine interne - Dr Benchekroun Ghita, Maître de conférences

Pr Blot Stéphane\*

Dr Canonne-Guibert Morgane Maître de conférences contractuelle

- Dr Freiche-Legros Valérie, Praticien hospitalier - Dr Maurey-Guénec Christelle, Maître de conférences

Discipline : imagerie médicale

#### Unité pédagogique de médecine de l'élevage et du sport

Dr Cléro Delphine, Maître de conférences

Dr Fontbonne Alain, Maître de conférences

Pr Grandjean Dominique\*

Dr Maenhoudt Cindy, Praticien hospitalier

Dr Nudelmann Nicolas, Maître de conférences

#### Unité pédagogique de pathologie chirurgicale

Pr Favolle Pascal

Dr Mailhac Jean-Marie, Maître de conférences

Dr Manassero Mathieu, Maître de conférences

Pr Moissonnier Pierre

Pr Viateau-Duval Véronique

### Discipline : anesthésie, réanimation, urgences, soins intensifs - Dr Zilberstein Luca, Maître de conférences

Discipline: ophtalmologie

- Dr Chahory Sabine, Maître de conférences

Discipline: nouveaux animaux de compagnie

Dr Pignon Charly, Praticien hospitalier

#### Département des Productions Animales et de la Santé Publique (DPASP) Chef du département : Pr Millemann Yves - Adjoint : Pr Dufour Barbara

#### Unité pédagogique d'hygiène, qualité et sécurité des aliments

Pr Augustin Jean-Christophe

Dr Bolnot François, Maître de conférences \*

Pr Carlier Vincent

#### Unité pédagogique de maladies règlementées, zoonoses et épidémiologie

- Pr Dufour Barbara\* - Pr Haddad/Hoang-Xuan Nadia

Dr Praud Anne, Maître de conférences

Dr Rivière Julie, Maître de conférences

### Unité pédagogique de pathologie des animaux de production

Pr Adjou Karim

Dr Belbis Guillaume, Maître de conférences

Dr Maxime Delsart, , Maître de conférences associé

Pr Millemann Yves

Dr Ravary-Plumioën Bérangère, Maître de conférences

Dr Plassard Vincent, Praticien hospitalier

- Dr Constant Fabienne, Maître de conférences\* - Dr Desbois Christophe, Maître de conférences (rattaché au DEPEC) - Dr El Bay Sarah, Praticien hospitalier

Dr Mauffré Vincent, Maître de conférences

#### Unité pédagogique de zootechnie, écon Dr Arné Pascal, Maître de conférence

Pr Bossé Philippe\*

Dr De Paula Reis Alline, Maître de conférences

Pr Grimard-Ballif Bénédicte

Dr Leroy-Barassin Isabelle, Maître de conférences

Pr Ponter Andrew

Dr Wolgust Valérie, Praticien hospitalier

#### Département des sciences biologiques et pharmaceutiques (DSBP) Chef du département : Pr Chateau Henry - Adjoint : Pr Pilot-Storck Fanny

Unité pédagogique d'anatomie des animaux domestiques - Dr Boissady Emilie, Maître de conférences contractuelle - Pr Chateau Henry

Pr Crevier-Denoix Nathalie

Pr Robert Céline

Unité pédagogique de bactériologie, immunologie, virologie - Pr Boulouis Henri-Jean\* - Pr Eloit Marc - Dr Le Poder Sophie, Maître de conférences

Dr Le Roux Delphine, Maître de conférences

#### Unité pédagogique de biochimi

Dr Lagrange Isabelle, Praticien hospitalier
Dr Michaux Jean-Michel, Maître de conférences

#### Discipline : éducation physique et sportive

#### Unité pédagogique d'histologie, anatomie pathologique

Dr Cordonnier-Lefort Nathalie, Maître de conférences Pr Fontaine Jean-Jacques\*

Dr Laloy Eve, Maître de conférences Dr Reves-Gomez Edouard, Maître de conférences

Unité pédagogique de pharmacie et toxicologie

Pr Guillot Jacques\*

Pr Enriquez Brigitte,
Dr Kohlhauer Mathias, Maître de conférences contractuel

Unité de parasitologie, maladies parasitaires, dermatologie

Dr Perrot Sébastien, Maître de conférences

Dr Marignac Geneviève, Maître de conférences

Dr Polack Bruno, Maître de conférences Dr Risco-Castillo Véronica, Maître de conférences

#### Unité pédagogique de physiologie, éthologie, génétique

Dr Chevallier Lucie, Maître de conférences (Génétique) Dr Crépeaux Guillemette, Maître de conférences (Physiologie, Pharmacologie)

Unité pédagogique de management, communication, outils scientifiques - Mme Conan Muriel, Professeur certifié (Anglais) - Dr Desquilbet Loïc, Maître de conférences (Biostatistique, Epidémiologie) \*

Dr Blaga Radu, Maître de conférences (rattaché au DPASP) Dr Cochet-Faivre Noëlle, Praticien hospitalier (rattachée au DEPEC) Dr Darmon Céline, Maître de conférences contractuelle (rattachée au DEPEC)

Dr Fournel Christelle, Maître de conférences contractuelle (Gestion et management)

Dr Gilbert Caroline, Maître de conférences (Ethologie)

Pr Pilot-Storck Fanny (Physiologie, Pharmacologie) Pr Tiret Laurent, (Physiologie, Pharmacologie) \*

responsable d'unité pédagogique

## **REMERCIEMENTS**

### Au professeur,

Professeur à la faculté de médecine de Créteil, Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse, Hommage respectueux.

### À Madame Ségolène CALVEZ,

Maître de conférences à ONIRIS Pour m'avoir orientée, accompagnée et encouragée tout au long de ce travail, Sincères remerciements.

### À Madame Alline de PAULA REIS,

Maître de conférences à l'ENVA

Pour avoir accepté d'être assesseur de cette thèse, son aide et sa bienveillance pendant ce travail,

Sincères remerciements.

### À ma grand-mère,

#### À mes parents,

Pour avoir toujours cru en moi plus que je ne le croyais, Pour avoir toujours été présents à mes côtés dans tous mes projets, Pour tout votre amour, votre patience.

#### À ma sœur,

Pour avoir toujours cru en moi, Pour cette force et cette détermination que l'on partage.

#### À Mathias,

Pour m'avoir toujours motivée, consolée, aidée depuis la classe préparatoire, Et aussi pour rigoler de moi quand il le faut.

#### À Anna, Meriem,

Pour avoir toujours cru en moi depuis des années, Pour votre gentillesse envers moi, votre écoute, vos éclats de rire, vos encouragements, Et tous ces bons moments passés et j'espère surtout à venir...

#### A mes amies de l'école qui se reconnaitront,

Pour avoir partagé avec vous les bons et les mauvais moments, Et notre passion commune pour notre métier.

#### A ma Houna,

Pour tout le réconfort, les rires et la douceur que tu m'apportes tous les jours, Pour m'avoir appris la patience, et le don de soi.

## **TABLE DES MATIERES**

INDEX DES TABLEAUX	4
INDEX DES FIGURES	5
INDEX DES ABREVIATIONS	7
I- NOTIONS FONDAMENTALES DU BIEN-ETRE	11
A) Le Bien-etre	11
i) Définition	11
ii) Transposition des cinq libertés du Bien-être à l'élevage piscicole	12
iii) Historique du Bien-être et évolution des théories	13
B) LE STRESS	14
i) Définition	14
ii) Physiologie du stress : structures neuroanatomiques impliquées dans la perception du sign	al stressant
chez le poisson	15
iii) Réponse primaire au stress	15
iv) Réponse secondaire et tertiaire au stress	20
v) Mesure du stress	30
vi) Modifications comportementales en réponse au stress	32
C) LA DOULEUR	36
i) Définition	36
ii) Neuroanatomie	37
D) DEBAT CONCERNANT LA LEGITIMITE DE PRENDRE EN COMPTE LE BIEN-ETRE DU POISSON	40
i) Débat concernant la conscience du poisson	40
ii) Relation entre Bien-être et valeur attribuée à l'animal	40
iii) Vision de l'opinion publique concernant le Bien-être du poisson	42
II- REGLEMENTATION CONCERNANT LE BIEN-ETRE DU POISSON	45
A) LES ACTEURS DE L'AMELIORATION DU BIEN-ETRE D'UN POINT DE VUE REGLEMENTAIRE	45
B) LE STATUT ACTUEL DU POISSON	45
C) LES RECOMMANDATIONS DE L'OIE	45
i) Transport	46
ii) Arrivée au centre de rassemblement des poissons	48
iii) Etourdissement et abattage	49
D) REGLEMENTATION EUROPEENNE	52
i) Transport	52
ii) Abattage	53
E) Transposition dans le droit français	53
F) CERTIFICATIONS	54
G) EXEMPLE DES AUTRES PAYS	56
III- GESTION DU MILIEU D'ELEVAGE ET BIEN-ETRE	59
A) PREMIERE CATEGORIE DE PARAMETRES DE L'EAU	
i) Concentration de l'eau en oxygène (O.D= oxygène dissous)	59
ii) Concentration de l'eau en ammoniac	62
iii) Nitrites	66

	iv)	Nitrates	68
	v)	Dioxyde de carbone	69
	vi)	Débit de l'eau	71
B)		DEUXIEME CATEGORIE DE PARAMETRES DE L'EAU	71
	i)	Acidité	71
	ii)	Alcalinité	72
	iii)	Dureté de l'eau	72
	iv)	Température	73
	v)	Conductivité	74
	vi)	Métaux lourds	74
C)		TROISIEME CATEGORIE DE PARAMETRES DE L'EAU	75
·	i)	Solides en suspension, MES = matières en suspension	75
	ii)	Sursaturation des gaz	
D)	) [	DENSITE D'ELEVAGE	77
	i)	Densité de stockage et comportement des poissons	78
	ii)	Densité de stockage et aspect sanitaire des poissons	
	iii)	Densité d'élevage et croissance des poissons	79
E)	A	ASPECT SANITAIRE	79
	i)	Facteurs favorisant les pathogènes	79
	ii)	Conséquence des pathogènes sur le bien-être	80
	iii)	Conduite sanitaire en élevage	81
F)	A	ALIMENTATION	86
	i)	Mode d'alimentation	86
	ii)	Paramètres physiques de l'aliment	88
	iii)	Composition nutritionnelle de l'aliment	89
	iv)	Régime végétarien	95
	v)	Arrêt de l'alimentation : le jeûne	96
G)	) 7	Fransport	97
	i)	Modalités de transport	97
	ii)	Qualité du milieu de transport	98
	iii)	Effet du transport sur le Bien-être	102
H)	) /	Abattage	103
	i)	Aspects biochimiques de la réponse du poisson au stress de l'abattage	103
	ii)	Descriptif des différentes techniques d'étourdissement	103
	iii)	Descriptif des différentes techniques d'abattage	105
IV- P	ERS	PECTIVES EN MATIERE DE BIEN-ETRE	111
A)		A PREVENTION DU STRESS: PRESENTATION DU PROJET FASTFISH (2009)	
	i) ::\	Première étape : choix des indicateurs du stress	
	ii) 	Deuxième étape : présentation des outils	
	iii)	Troisième étape : l'installation du Welfaremeter	
B)		SELECTION GENETIQUE DES ANIMAUX RESISTANTS AU STRESS	
	i) ::\	Préambule : Notions de domestication et sélection	
	ii) 	Effets de la domestication sur le comportement	
<b>~</b> \	iii)	Sélection Génétique des poissons résistants au stress	
C)		SELECTION GENETIQUE DES ANIMAUX RESISTANTS AUX AFFECTIONS ET CONDITIONS DU MILIEU	
	i)	Sélection des souches résistantes aux affections	119

ii) Sélection de poissons adaptés aux conditions du milieu	121
D) Enrichissement du milieu	121
CONCLUSION	123
BIBLIOGRAPHIE	129
ANNEXE : PRINCIPAUX POISSONS CITES DANS LE MANUSCRIT	
ANNEAE . FRINCIPAUX FOISSONS CITES DANS LE INIANOSCRIT	149

## **INDEX DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Liste de quelques elements de la reponse primaire, secondaire et tertiaire au stress	21
Tableau 2: Effets du stress à différents moments de la reproduction chez le Tilapia et la Truite arc-er	า-ciel.
	24
Tableau 3: Synthèse des méthodes de mesure des médiateurs de la réponse au stress et les inconvé	nients
associés à ces mesures	31
Tableau 4 : Avantages et inconvénients des différentes méthodes de collecte du cortisol	32
Tableau 5 : Synthèse des méthodes d'abattage/étourdissement électriques	50
Tableau 6: Avantages et inconvénients des méthodes d'abattage/étourdissement mécaniques	51
Tableau 7: Comparaison des normes obligatoires établies par les Labels Rouge et Bio concernant la	
manipulation des poissons, leur transport, et leur abattage	55
Tableau 8: Augmentation de la concentration minimale en oxygène selon l'augmentation de tempér	ature.
	61
Tableau 9: Augmentation de la DL50-96h lorsque la concentration en ion chlorure augmente	67
Tableau 10: Classification de l'eau en termes de dureté de l'eau	72
Tableau 11: Actions in vitro de certains immunostimulants	83
Tableau 12 : Exemple d'une table de nourrissage indicative fournie par le Gouessant pour son alime	nt
« Neo »	86
Tableau 13: Synthèse des vitamines nécessaires à l'alimentation du poisson et de leurs rôles associé	s 93
Tableau 14 (continuation) : Synthèse des vitamines nécessaires à l'alimentation du poisson et de leu	rs
rôles associés	94

## **INDEX DES FIGURES**

un cercle bleu les defis imposés à l'animal par l'environnement	11
Figure 2: Espèces de paissans élevés dans le monde, en 2002	
rigure 2. Especes de poissons eleves dans le monde, en 2002.	13
Figure 3 : Niveaux d'intégration du stress et les réponses primaire, secondaire et tertiaire au stress1	16
Figure 4: Organisation histologique du tissu interrénal du poisson1	17
Figure 5 : Différences de cortisolémie et de glycémie en fonction de l'espèce de truite considérée	19
Figure 6 : Représentation de la relation entre le signal stressant, le stress et la réponse au stress2	20
Figure 7 : Coût métabolique d'un stress aigu sur les performances du poisson2	28
Figure 8: Exemple de trajectoire de nage obtenue grâce aux logiciels Visilog 6.2 et SEE_FISH, de Truites	
arc-en-ciel soumis à un stimulus stressant	35
Figure 9: Détail de la position de quelques nocicepteurs au niveau de la tête d'une truite arc-en-ciel	37
Figure 10 : Fréquence operculaire chez cinq groupes de poissons ayant reçu des traitements différents3	39
Figure 11 : Evolution du nombre de journaux internationaux contenant les mots "stress" et	
"abattage"(slaughter) en fonction des espèces concernées de 1981 à 2005	42
Figure 12 : Camion de transport de poissons vivants	47
Figure 13 : Déchargement des truites après transport	48
Figure 14: Règlementation concernant le transport des animaux d'élevage, poissons exclus5	53
Figure 15 : Niveau de consommation d'oxygène standard pour les poissons ronds (salmonidés) et les	
poissons plats - poissons de 250 g préalablement acclimatés6	51
Figure 16: Variation des formes du dioxyde de carbone en fonction du pH	59
Figure 17 : Mise en évidence de lésions de néprocalcinose par la radiographie, associées à des lésions	
ulcératives de la peau chez des jeunes bars	70
Figure 18 : Formation de bulles au niveau des tissus mous du poisson, ici les nageoires d'un bar	77
Figure 19: Cage en mer dans un élevage marin de bar7	77
Figure 20 : Tri des anguilles	32
Figure 21 : Baisse de l'utilisation d'antibiotiques depuis 1985 jusqu'à 2003, en raison de l'usage des	
vaccins en Norvège	34
Figure 22 : Injection intrapéritonéale du vaccin sur des saumons d'atlantique anesthésiés	35
Figure 23 : Distribution manuelle de l'alimentation aux poissons marins	37
Figure 24 : Distributeur automatique à la demande	38
Figure 25 : Exemple de granulés distribués en aquaculture	39
Figure 26 : Accumulation de graisse à l'autopsie d'un bar, dont la ration était excessive en lipides	92
Figure 27: Bac de transport d'environ 1000 litres, représentatif de ceux trouvés dans les camions de	
transportS	97
Figure 28: Pompage des truites dans des cuves de transport installées sur un camion	98
Figure 29: Exemple de "priest" utilisé pour la percussion du poisson.	)4
Figure 30 : Machine semi-automatique permettant l'abattage du saumon par saignée. Le poisson est tué	
en moins d'une minute selon le fabricant (Seafood innovation)10	)6
Figure 31: Page d'accueil de l'application Fasttool destinée à l'éleveur, avec les différents onglets à	
remplir11	12
Figure 32: Onglet sur le comportement des poissons à remplir par l'éleveur dans le Fasttool11	
Figure 33: Modélisation de la composition du WELFARAMETER11	14

Figure 34: Page à laquelle l'éleveur aura accès, lui permettant de situer le Bien-être de son élevage gr	râce à
une échelle de couleurs	114
Figure 35 : Concepts de sélection et de domestication.	116

### INDEX DES ABREVIATIONS

ACTH: Adrénocorticotrophine

CRH: Corticolibérine

Axe HHI: Axe hypothalamo-hypohyso-interrénal Axe HPI: Axe hypothalamo-pituitaire-interrénal

CIPA: Comité interprofessionnel des produits de l'aquaculture

DGAL : Direction générale de l'alimentation

DGPEI : Direction générale des politiques économique, européenne et internationale

DGSANCO : Directorate General for Health and Food Safety DPMA : Directions des pêches maritimes et de l'aquaculture

EFSA: European Food Safety Autority-Autorité européenne de sécurité des Aliments.

FAO: Food and Agriculture Organization-Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et

l'Alimentation

FFA: Fédération française d'aquaculture

GBD: Gas bubble disease – maladie des bulles de gaz GBPSP: Guide des bonnes pratiques sanitaires piscicoles IASP: International Association for the Study of Pain INRA: Institut National de la Recherche Agronomique

LEMA : Loi sur l'eau et les milieux aquatiques NHI : Nécrose hématopoïétique infectieuse NPI : Nécrose pancréatique infectieuse

OFIMER: Office national des produits de l'aquaculture

OIE: World Organisation for Animal Heath-Organisation Mondiale de la Santé Animale

OMC : Organisation Mondiale du Commerce OMS : Organisation Mondiale de la Santé

QTL : Régions chromosomiques impliquées dans des caractères quantitatifs

UE : Union Européenne

UNPSA: Union nationale aquacole de prévention sanitaire

#### INTRODUCTION

Actuellement, l'apport en protéines repose sur la consommation de poissons pour un cinquième de la population mondiale. Les poissons de consommation ne sont pas tous d'origine sauvage et peuvent venir de l'élevage. L'aquaculture se définit à ce titre, comme l'activité liée à la culture ou à l'élevage d'espèces aquatiques végétales ou animales, et comprend la pisciculture qui est l'élevage de poissons.

Un rapport publié en 2010 par la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) révèle que l'aquaculture est la source de protéines animales qui connaît la plus forte croissance à l'échelle mondiale et fournit actuellement près de la moitié du poisson consommé dans le monde. D'ici 2030, l'aquaculture pourrait assurer 62 pour cent de la production de poissons destinés à la consommation (FAO, 2010). Toutefois l'activité de type aquaculture varie d'un pays à l'autre, voire d'une région à l'autre. Des différences marquées dans les niveaux de production et de répartition des espèces de poissons d'élevage sont observées au travers du monde.

En France, la filière s'organise majoritairement autour de la truiticulture en eau douce qui est une pisciculture continentale comme la pisciculture d'étang, qui elle reste un élevage extensif où sont élevés : carpe, gardon, tanche, brochet, perche... La pisciculture marine est réalisée en cage en mer ou sur terre en pompant de l'eau de mer pour alimenter les bassins. Les espèces marines élevées de façon prépondérante sont le bar, la daurade et le turbot. La pisciculture en France est un secteur qui stagne depuis 2000, en raison de la concurrence des pays exportateurs, et des contraintes environnementales et administratives qui freinent l'installation de nouvelles fermes aquacoles.

L'aquaculture est donc un sujet d'intérêt pour l'avenir mais aussi un sujet d'actualité, car l'attention est aujourd'hui portée sur les conditions de vie des animaux en système intensif dans les pays industrialisés (Bégout Anras et Lagardère, 2004; FAO, 2005). Le Bien-être des animaux d'élevage est une question qui interpelle l'ensemble de la société que ce soit les militants, les éleveurs, les consommateurs, ou la communauté scientifique. Cet intérêt est relayé par les médias et les publicitaires notamment qui insistent sur la notion de Bien-être pour promouvoir leurs produits. La majeure partie des inquiétudes et critiques se sont ainsi focalisées sur les élevages industriels porcins, avicoles, et bovins laitiers et tout particulièrement sur les méthodes d'abattage. Les élevages bovins allaitants et ovins bénéficient d'une image traditionnelle et « pastorale », en accord avec le Bien-être de l'animal. Pourtant, ces images diffèrent souvent de la réalité plus complexe, car à chaque élevage correspond des pratiques spécifiques (Larrère, 2003). Il est à noter le peu de discours sur la pisciculture voir la pêche halieutique. Cette différence d'intérêt et de représentativité du Bien-être en fonction de l'espèce a été explicitée par Chandroo et al. (2004) qui ont affirmé que le concept de Bien-être a été principalement appliqué aux espèces ayant des capacités cognitives développées et dont l'expérience de la douleur est reconnue depuis longtemps, laissant de côté les poissons. Le Bien-être des poissons a été jusqu'au milieu des années 90 peu évoqué (Grimsrud et al., 2013), ceci en raison de leur différence de milieu de vie, de mode de communication et l'absence de contact avec l'humain (Millot, 2008). Il est donc légitime de se demander ce qu'il en est du Bien-être des poissons en aquaculture?

Afin de considérer le bien- être de l'animal, il faut s'intéresser au comportement de l'animal, et de façon plus globale au système d'élevage, et dans un système mondialisé où le prix permet l'accessibilité au produit, aux comportements du consommateur. Par conséquent, l'analyse du bien- être nécessite de prendre en compte la physiologie, la neurobiologie, et l'éthologie du poisson, tout comme l'évolution de l'opinion publique, et des associations de défense des animaux ainsi que l'éthique afin de comprendre le comportement du consommateur.

Nous tacherons dans un premier temps de définir le Bien-être et de décrire le stress chez le poisson qui apparait lorsque le Bien-être n'est pas respecté. Les effets du stress sur l'animal qu'ils soient physiologiques, ou comportementaux seront détaillés. Nous veillerons à différencier le stress de l'animal, de la douleur.

Dans une deuxième partie, nous décrirons le cadre juridique concernant le bien-être du poisson, c'est-à-dire son statut juridique et la réglementation actuelle concernant l'élevage des poissons à l'échelle de l'Europe puis de la France.

Dans une troisième partie, nous détaillerons les conditions d'élevage des poissons en aquaculture. Pour cela nous décrirons les paramètres de l'eau susceptibles d'avoir des conséquences négatives sur le Bien-être du poisson ainsi que les pratiques d'élevage qui peuvent porter atteinte au Bien-être des poissons.

Enfin les recherches scientifiques offrent de nouvelles perspectives à la prise en charge du Bien-être des poissons en élevage. Nous donnerons un aperçu du projet FASTFISH qui permettrait aux éleveurs de suivre le Bien-être des poissons, et d'agir en amont afin d'éviter l'apparition d'effets à long terme du stress. Nous développerons aussi la sélection de poissons résistants au stress en aquaculture.

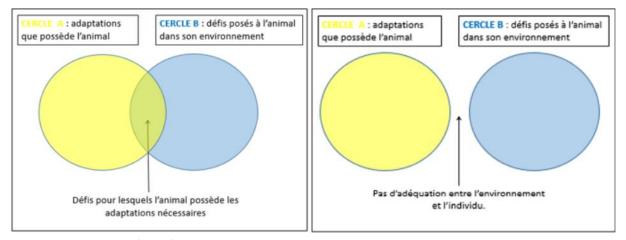
#### I- Notions fondamentales du Bien-être

#### A) Le Bien-être

#### i) <u>Définition</u>

Le Bien-être ne peut se limiter à affirmer qu'un animal qui se porte bien physiquement est un animal dont le Bien-être est respecté (Huntingford et al., 2006). Le Bien-être correspond tant au respect de l'intégrité physique de l'animal, qu'à la prise en compte de ses émotions, et de son environnement. Luc Mounier, maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, résume ainsi la pluralité du Bien-être à la fois physique et émotionnel en affirmant que le Bien-être est l'« état de santé physique et mentale de l'animal, qui prend en compte la satisfaction des besoins physiologiques et comportementaux et lui assure un état émotionnel satisfaisant ». En insistant sur les besoins physiologiques et comportementaux de l'animal, il parait nécessaire de connaître l'animal et les besoins de son espèce. L'EFSA (European Food Safety Autority) (2009) déclare ainsi que le Bienêtre ne peut être établi qu'à partir de connaissances et expériences scientifiques afin d'accéder aux besoins physiologiques et éthologiques des animaux, et d'adapter les conditions d'élevage à ces besoins. En effet, les conditions d'élevage et donc l'environnement constituent un point essentiel du Bien-être de l'animal en captivité. Ainsi le rapport entre les besoins de l'animal et ce que son environnement lui offre est à prendre en compte. C'est ce que le Professeur Fraser schématise, par son modèle comprenant un cercle représentant les contraintes de l'environnement que l'on nomme « défis posés à l'animal par son environnement » et un cercle qui représente les adaptations que l'animal peut mettre en place (Figure 1). Deux cercles dissociés signifient que l'animal ne peut pas s'adapter aux contraintes imposées par son environnement, le Bien-être n'est donc pas respecté. Deux cercles parfaitement superposés signifient qu'il y'a une parfaite corrélation entre l'adaptation de l'animal et son environnement, le Bien-être est respecté de manière optimale. Cette superposition représente en général l'environnement naturel de l'animal. La zone de jonction des deux cercles correspond aux défis de l'environnement pour lesquels l'animal est capable de s'adapter (Fraser et al., 1997).

Figure 1: Modèle de Fraser schematisant par un cercle jaune les adaptations que possède l'animal et par un cercle bleu les defis imposés à l'animal par l'environnement.



Source: Fraser et al. (1997).

Une autre définition du Bien-être proposée par Dawkins (1998) est celle d'une « expérience subjective correspondant à l'absence d'émotions négatives (peur, frustration, douleur, faim, soif...) et à la présence d'émotions positives (confort, plaisir)». Par le terme « subjectif », il semble que chaque individu vive une situation différemment en fonction de ses expériences passées, des stimuli qu'il a reçus lors de son développement et de son patrimoine génétique: qu'on appelle ontogénèse de l'individu. Etant donné la diversité des définitions du Bien-être, le Farm Welfare Council (1992) a choisi d'établir cinq libertés du Bien-être:

- 1) L'absence de faim, de soif, et de malnutrition.
- 2) Le maintien du confort de l'animal, c'est-à-dire un environnement approprié à l'animal avec la présence de cachettes et abris si nécessaire.
- 3) L'absence de douleur physique, de maladie ou de blessure.
- 4) L'expression de comportements normaux de l'espèce, c'est-à-dire la possibilité d'avoir des contacts ou interactions par exemple avec d'autres membres de son espèce.
- 5) L'absence de peur ou d'anxiété : c'est-à-dire qu'il faut que son traitement ne provoque aucun stimulus perçu comme négatif pour l'animal.

#### ii) <u>Transposition des cinq libertés du Bien-être à l'élevage piscicole</u>

Le Concept du Bien-être a principalement été appliqué aux espèces ayant des capacités cognitives développées et dont l'expérience de la douleur est reconnue depuis longtemps (Chandroo et al., 2004), comme les mammifères. Le Bien-être des poissons par leur différence de milieu, de modes de communication et leur absence de contact avec l'humain, a été d'autant plus compliqué à appréhender (Millot, 2008). En se basant sur nos connaissances du Bien-être des mammifères, la FSBI (Fisheries Society of the British Isles) (2002) a redéfini les cinq libertés présentées précédemment en les transposant aux conditions spécifiques de l'élevage piscicole :

- 1) Les poissons doivent être nourris avec une alimentation complète, en adéquation avec les exigences de leur espèce et de leur âge.
- 2) Ils doivent vivre dans une eau de bonne qualité avec un débit suffisant et avec une température et une luminosité adéquates.
- 3) Ils doivent faire l'objet d'une attention particulière afin de prévenir l'apparition d'infections et de maladies.
- 4) Ils doivent vivre dans un espace suffisamment grand pour leur espèce, afin d'exprimer leurs comportements naturels. Ils doivent également être en contact avec des congénères dans le but d'entretenir des liens sociaux, s'il s'agit d'une espèce vivant en banc. Le milieu d'élevage doit être enrichi et adapté selon l'espèce.
- 5) Les conditions entraînant un niveau d'anxiété très élevé comme la peur, la douleur, la faim ou des manipulations excessives doivent être minimisées (Millot, 2008).

Malgré ces adaptations, la diversité des espèces de poissons rencontrées en aquaculture (Conte, 2004) (Figure 2) et l'importance de prendre en compte des besoins physiologiques et comportementaux de chaque espèce élevée (Schreck et al., 1997) pose un réel problème dans l'élaboration de recommandations concernant le Bien-être des poissons. En effet, les températures optimales d'eau d'élevage diffèrent en fonction des espèces; pour une truite celle-ci sera d'environ 14°C contrairement à un tilapia dont la température idéale est plutôt de 24-28°C, de même le comportement social est aussi à prendre en compte pour l'élaboration des densités de stockage

(Chandroo *et al.*, 2004); une truite par exemple est un animal social grégaire ayant besoin d'interactions contrairement à un brochet. Une situation stressante pour une espèce donnée, n'occasionnera pas de stress pour une autre espèce de poisson. Le Bien-être est donc à adapter à l'espèce considérée.

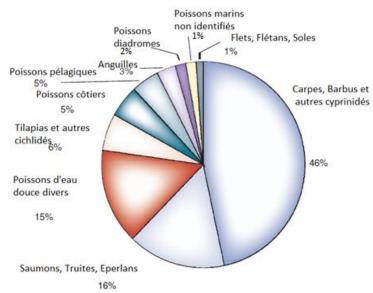


Figure 2: Espèces de poissons élevés dans le monde, en 2002.

Source: Sommerset et al. (2005).

La connaissance du comportement normal et des besoins de l'espèce élevée constitue donc un préalable indispensable pour l'analyse du Bien-être (Schreck et al., 1997).

#### iii) Historique du Bien-être et évolution des théories

#### a) L'utilitarisme

La notion de Bien-être, a pour origine l'utilitarisme, théorie morale qui s'est construite à la charnière des XVIIIème et XIXème siècles et qui a été largement adoptée, surtout dans les pays de langue anglaise (Millot, 2008). L'utilitarisme se définit par trois concepts fondamentaux (Audard, 2004):

- 1) Il propose un critère du bien et du mal : la souffrance est un mal et le bonheur (Bien-être) un bien.
- 2) Il comporte un impératif moral : celui de maximiser le Bien-être, tout gardant comme principe de base l'intérêt du plus grand nombre. Ainsi certains individus peuvent être « sacrifiés » si cela doit apporter un bénéfice pour la majorité de la population (Bentham, 1789).
- 3) Il suit une règle: il faut évaluer les actes à la somme de Bien-être qui en découle. Un acte peut donc paraître injuste ou condamnable, mais être considéré comme justifié si ses conséquences sont bénéfiques. Cette vision du Bien-être fut tout d'abord réservée à l'espèce humaine, mais fut ensuite élargie aux animaux. Selon Larrère (2007), dès que l'on considère que le plaisir est un bien et la souffrance un mal, le champ de la considération morale doit être étendu à tous les êtres sensibles. Ce fut d'ailleurs le point de vue du fondateur de l'utilitarisme. Bentham (1789) affirmait ainsi que «La question n'est pas : peuvent-ils raisonner, ni peuvent-ils parler, mais bien : peuvent-ils souffrir ?». Il a fallu cependant attendre la fin du XXème siècle pour que la théorie morale de l'utilitarisme soit

élargie explicitement aux animaux. Pour l'utilitariste: toute utilisation des animaux que ce soit pour l'élevage, la recherche, ou la pêche sportive en ce qui concerne les poissons, est en principe légitime, mais pour qu'il soit moralement défendable, il faut que l'augmentation totale de Bien-être qui en résulte excède la quantité de souffrances qu'il inflige. Ainsi, entre deux façons d'utiliser des animaux, sera retenue celle qui maximise le Bien-être, les animaux concernés rentrant simplement dans le calcul du «plus grand bonheur pour le plus grand nombre». Cette éthique demande, en premier lieu de cerner la sensibilité d'un être. Quelle souffrance animale faut-il prendre en considération ? Se souciera-t-on uniquement du Bien-être et de la douleur des mammifères et des oiseaux ? Doit-on aussi se préoccuper des poissons? Pour placer cette limite, il faudrait être capable d'appréhender l'univers émotionnel et mental des différentes espèces, ce qui est encore loin d'être le cas car l'étude des émotions chez les animaux d'élevage n'est guère plus développée que celle de leurs capacités cognitives (Duncan et Peterich, 1991; Dantzer, 2001; Boissy et al., 2007). Pour Singer (1983), la capacité de souffrir est une condition nécessaire et suffisante pour qu'il soit légitime de se préoccuper du Bien-être d'une espèce. Seuls des préjugés ont ainsi pu conduire les sociétés à accorder plus de poids aux intérêts d'un être qu'à ceux d'un autre.

#### b) Vision actuelle du Bien-être

Actuellement, les préoccupations qui concernent le Bien-être des animaux dérivent incontestablement de l'utilitarisme, mais dans une interprétation moins radicale que celle de Singer (1983). Il ne s'agit plus de mettre tous les êtres sensibles sur un pied d'égalité mais, tout en accordant la primauté aux intérêts humains, de se préoccuper de la façon dont les contraintes que l'on impose aux animaux sont susceptibles de les affecter et ainsi de les protéger des souffrances excessives et inutiles (Larrère, 2007). C'est dans cet esprit et le contexte d'une critique éthique des formes industrielles de l'élevage contemporain, qu'une communauté scientifique s'est structurée sous le nom de l'Animal Welfare (Bourdon, 2003; Larrère, 2003). Cette communauté scientifique rassemble des éthologistes, des spécialistes de l'univers émotionnel et des aptitudes cognitives des animaux, des neurophysiologistes, des physiologistes de l'adaptation, mais aussi des philosophes, des théologiens et des spécialistes d'éthique animale. C'est cette communauté qui a traduit les contestations des défenseurs de la cause animale en termes de «Bien-être». Elle est parvenue à faire valoir son expertise, tant pour évaluer la réaction des animaux aux contraintes de l'élevage, que pour contribuer à définir des normes de production.

#### B) Le stress

#### i) <u>Définition</u>

Nous avons précédemment vu que l'environnement jouait un rôle non négligeable dans le Bienêtre puisqu'il est nécessaire que l'environnement couvre les besoins du poisson, n'occasionne pas de lésion, et permette l'expression de comportements naturels. En captivité l'environnement est différent de l'environnement naturel de l'animal, considéré comme idéal, le poisson doit s'adapter aux conditions d'élevage qui constituent un défi pour lui (Fraser et al., 1997). En 1976, Selye définit le stress comme une « réponse non spécifique du corps à tout évènement, qui demande qu'il se surpasse », ainsi le stress apparait lorsque l'animal n'est pas capable de relever le défi que l'environnement lui impose. En 1979, Dantzer et Mormede précisent cette définition en affirmant que lors de stress, l'animal voit ses capacités d'adaptation physiologiques et comportementales dépassées. Par la suite Schreck (2000) propose de considérer le stress comme « la cascade physiologique qui se met en place lorsque l'organisme doit résister à la mort ou rétablir des normes homéostasiques face à une agression ». Ce sont Terlouw *et al.* qui en 2005 caractérisent le stress en le définissant à la fois comme un statut émotionnel, physiologique, tout comme un comportement où l'animal est confronté à une situation qu'il perçoit comme menaçante pour lui. Malgré une pluralité de définition du stress, Adams (1990) en réunissant plusieurs points de vue arrive à une définition commune du stress qui est qu'il représente une réponse à un stimulus, et que cette réponse peut altérer l'homéostasie du poisson.

# ii) Physiologie du stress : structures neuroanatomiques impliquées dans la perception du signal stressant chez le poisson

Nous venons de voir que le stress apparaissait lorsque le poisson était confronté à une situation qu'il percevait comme menaçante. Quels sont les mécanismes internes de perception du stress chez le poisson ? Tous les sens interviennent dans la perception d'un stimulus nocif : olfaction, goût, vision, mécanique qui est l'équivalent de notre toucher, audition. Le message nerveux passe par le tronc cérébral et le striatum qui sont les relais sensoriels, jusqu'au télencéphale en région postéro-dorsale où le message est traité. Les structures et les mécanismes impliqués ne sont pas encore connus (Yamamoto, 2009). Lorsque le stimulus est perçu comme stressant, le système limbique est activé, et il y'a stimulation de la sécrétion d'hormones (Herman et al., 2005).

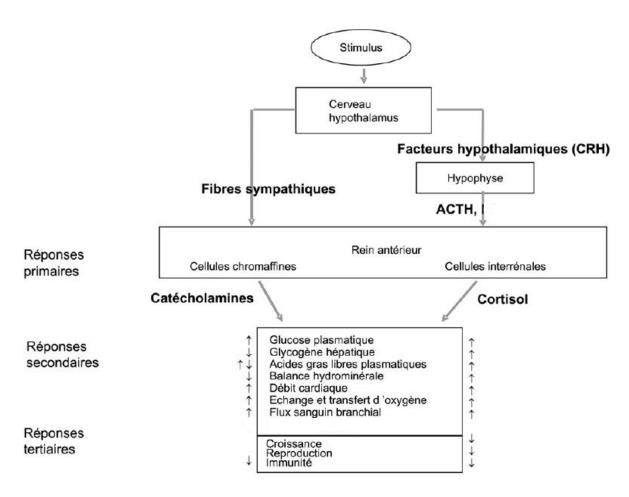
On considère qu'il existe trois phases dans la réaction de l'animal face au stress (Volpato *et al.*, 2007):

- la phase d'adaptation : l'animal est en situation d'inconfort mais ne ressent pas de stress, il n'existe pas de modification physiologique ou comportementale.
- la phase de dépassement de la capacité d'adaptation : il s'agit de la phase d'épuisement. L'animal n'est plus capable de s'adapter, l'intensité, la durée ou la fréquence du stimulus peuvent avoir changé. L'individu lui-même peut avoir changé (voir effet du stress sur la reproduction).
- la mort. Les capacités d'adaptation de l'animal sont totalement dépassées, ce qui mène à sa perte.

#### iii) Réponse primaire au stress

La réponse au stress se décompose en trois étapes, une réponse primaire avec des mécanismes neuroendocriniens mis en place, puis une réponse secondaire qui correspond aux modifications physiologiques de l'animal et enfin une réponse tertiaire lors d'exposition chronique au stress avec des conséquences sur les fonctions du poisson (reproduction, croissance ...) et donc des répercussions sur les paramètres d'élevage (Figure 3). La réponse primaire correspond à l'élévation des taux de catécholamines et de corticostéroïdes. Il semblerait que la cascade physiologique que constitue la réponse secondaire, soit principalement influencée par la sécrétion de catécholamines lors de la réponse primaire au stress (Barton et Iwama, 1991).

Figure 3 : Niveaux d'intégration du stress et les réponses primaire, secondaire et tertiaire au stress.



Source: Millot (2008).

#### a) Voies neuroendocrines

La première réponse hormonale au stress est la sécrétion de catécholamines, avec tout d'abord l'épinéphrine (adrénaline) dans la circulation, s'en suit alors une stimulation du système sympathique. La source des catécholamines du poisson est située dans le corps entier du poisson mais particulièrement au niveau des cellules chromaffines présentes dans la partie antérieure du rein (qui est l'équivalent de la médulla des surrénales) (Millot, 2008) (Figure 4). Toutefois chez l'anguille américaine (Anguilla rostratu), la majorité de l'épinéphrine produite est issue des portions antérieures de la veine cardinale postérieure, et possiblement du cerveau. Le tissu chromaffine est innervé par des fibres ganglionnaires orthosympathiques, ainsi en cas de stress les catécholamines augmentent plus rapidement dans la circulation que les corticostéroïdes. La concentration basale en épinéphrine est inférieure à 3 ng/mL et lors de stress passe de 20 à 100 ng/mL en quelques minutes, puis revient à la normale après environ une demi-heure (Iwama, 2007).

Par la suite, les taux de **corticostéroïdes** et surtout de cortisol (Patino *et al.*, 1987) augmentent. Ceci constitue une **réponse primaire** et hormonale importante (Mazeaud *et al.*, 1977). L'activation de l'axe hypothalamo-hypophyso-interrénale conduit à la libération, au niveau du système nerveux central (hypothalamus), de CRH (Cortico-Releasing Hormone), neuropeptide qui stimule la libération

d'ACTH hypophysaire, laquelle va stimuler la synthèse et la sécrétion de cortisol par l'interrénale (glande homologue du cortex adrénal des mammifères) en association avec d'autres hormones hypophysaires telles que MSH et β-endorphine (Weld *et al.*, 1987; Okawara *et al.*, 1992; Sumpter, 1997; Millot, 2008) (Figure 3). La sécrétion subit un rétrocontrôle négatif de la part de l'axe hypothalamo-hypophysaire (Fryer, 1977).

La concentration basale en corticostéroïdes du poisson est inférieure à 40 ng/mL (Wedemeyer et al., 1990). Trendazo et al.(2008) donnent une cortisolémie basale allant de 1 à 40 ng/mL tandis que la cortisolémie réactionnelle au stress atteint jusqu'à 750ng/mL (Bau et al., 2000). L'élimination du cortisol se fait par conjugaison dans le foie, puis passage dans la bile, les selles et l'urine (Ellis et al., 2007). La demi-vie du cortisol est d'environ une heure, et est plus importante que celle de l'adrénaline.

On retiendra qu'en général, une forte concentration en corticostéroïde reflète un stress sévère et long (Barton *et al.*, 1980; Pickering et Pottinger, 1989).

Il existerait un lien entre sécrétion de catécholamines et de cortisol. En effet, chez la plupart des vertébrés, les catécholamines peuvent agir directement sur la glande pituitaire pour stimuler la sécrétion d'ACTH et donc la sécrétion de corticostéroïdes. Les corticostéroïdes, quant à eux peuvent réguler la synthèse de catécholamines en agissant sur les enzymes qui interviennent dans cette réaction (Barton et Iwama, 1991). Enfin, la proximité du tissu interrénal et du tissu chromaffine suggère un contrôle paracrine (Evans et Claiborne, 2006).

Figure 4: Organisation histologique du tissu interrénal du poisson



1 : cellules chromaffines du tissu interrénal ; 2 : tissu conjonctif ; 3 : vaisseau sanguin.

Source: https://www.flickr.com/photos/129522807@N06/.

#### b) Facteurs de variation de la réponse primaire

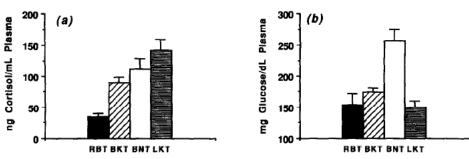
Nous venons de voir qu'une une forte concentration en corticostéroïdes reflétait un stress sévère et long (Barton *et al.*, 1980; Pickering et Pottinger, 1989). Afin de considérer la concentration en corticostéroïdes comme un indicateur de stress nous permettant de témoigner de l'apparition d'une situation stressante pour le poisson, il reste à définir les facteurs non reliés à des stimuli externes stressants et qui peuvent pourtant faire varier la cortisolémie basale et réactive. Ces facteurs sont :

- la **smoltification**. Un poisson vivant en eau douce n'est normalement pas capable de vivre en eau salée, un changement de milieu provoquerait par déséquilibre ionique, une déshydratation du poisson. Les salmonidés migrateurs présentent un mécanisme physiologique leur permettant de réguler cette brutale variation de pression osmotique : c'est le phénomène de la smoltification. Ainsi chez les truites arc-en-ciel anadrome, le taux de cortisol augmente lors de la smoltification (Barton *et al.*, 1985; Young *et al.*, 1989). Il s'agit donc d'un stress physiologique. Ce facteur doit être pris en compte si l'on compare la réponse à des stimuli stressant chez deux poissons, dont un subissant la smoltification, car sa cortisolémie pourra être élevée par les changements physiologiques qu'il vit ;
- le **moment de la journée**. En effet, la cortisolémie varie pendant la journée (Pickering et Pottinger, 1989). Elle est plus élévée au début de la nuit chez le bar (Planas *et al.*, 1990) ;
- la **génétique** (Refstie, 1986; Williamson et Carmichael, 1986). L'expérience de Drew *et al.*(2007) a montré que parmi trois souches de truites, une truite domestiquée peut avoir le même taux de cortisol qu'une truite non domestiquée. Deux souches de truites domestiquées peuvent avoir des réponses au stress différentes. La production de cortisol n'est pas liée à la domestication mais à l'information génétique (Drew *et al.*, 2007). En se basant sur le support génétique de cette variation de sécrétion de cortisol, des projets ont vu le jour pour sélectionner des bars tolérants au stress dont les cortisolémies réactionnelles étaient les plus basses (Millot, 2008) ;
- le **sexe**. Certains auteurs ont remarqué des différences significatives de cortisolémie réactionnelles au stress entre les mâles et les femelles au même âge (Campbell *et al.*, 1994; Pottinger et Carrick, 1999). Les femelles seraient ainsi plus sensibles au stress ;
- le **statut de l'individu**. De façon similaire, l'amplitude de la réponse peut être influencée par le développement du poisson ou son statut (mature ou pas encore) (Barton *et al.*, 1985; Sumpter *et al.*, 1987). Il est d'ailleurs nécessaire que la truite soit âgée de plus d'une semaine pour produire du cortisol (Pottinger et Mosuwe, 1994). Dans une expérience menée sur le poisson *Rhamdia quelen* des scientifiques ont tenté de comparer la réponse en cortisol chez des animaux d'âges différents mais de même taille puis chez des animaux de même âge mais de tailles différentes (Barcellos *et al.*, 2012). Les résultats montrent une réponse au stress similaire chez les poissons de même âge mais de tailles différentes, mais une différence significative dans la réponse au stress des poissons de même taille mais d'âges différents. Tous les tests indiquent que l'âge est un facteur déterminant dans le fonctionnement de l'axe hypothalamo-pituitaire-interrénal (HPI). Il semble que les différences de réaction en fonction de l'âge soient à relier à des réponses neuroendocrines importantes lors du développement. L'activité des surrénaliennes dépendrait en partie de l'âge (Barcellos *et al.*, 2012). Lors d'expériences visant à comparer la réponse au stress de deux poissons, il faut donc veiller à comparer des poissons de même âge ;
- la **reproduction**. La courbe de cortisol en réponse au stress varie de façon très sévère en fonction de la période, notamment lors de la vitellogénèse (Contreras-Sanchez, 1995);
- l'utilisation d'anesthésique. L'anesthésie lors de manipulation de courte durée, diminue la cortisolémie, toutefois ces résultats sont à nuancer lors de manipulations plus longues où une hypercortisolémie est possible (Evans et Claiborne, 2006). Paradoxalement, une sédation légère avec

de la tricaïne (MS222), largement utilisée en aquaculture pour la manipulation des poissons, indiquée afin de « réduire le stress » provoque une élévation de cortisol, de façon similaire à une élévation lors d'un stress aigu (Barton et Iwama, 1991);

- l'espèce. Une expérience a consisté à comparer les concentrations en cortisol chez les salmonidés, après une manipulation stressante. Il semble que la truite grise (*Salvelinus namaycush*) soit l'espèce la plus sensible au stress (Barton et Grosh, non publié) (Figure 5). Toutefois il est impossible de tirer de réelles conclusions, en ne prenant en compte qu'un seul paramètre. En effet, la concentration en glucose plasmatique était, elle, plus élevée chez la truite fario que chez la truite grise.

Figure 5 : Différences de cortisolémie et de glycémie en fonction de l'espèce de truite considérée



RBT : truite arc-en-ciel ; BKT : truite mouchetée ; BNT : truite fario ; LKT : truite grise.

- Source : Barton et Iwama (1991).
- l'intensité / la durée / la fréquence du stimulus nocif. Après une forte augmentation de la cortisolémie, même avec persistance du stimulus la cortisolémie n'augmente plus. Plusieurs hypothèses ont été formulées par Trendazo et al. (2008) pour expliquer ce phénomène :
  - l'adaptation du poisson au stimulus nocif;
  - l'épuisement des cellules interrénales en cortisol.

Toutefois si ce stimulus nocif ne persiste pas dans la durée, mais est exercé ponctuellement la cortisolémie augmente plus fortement et ce plus longtemps (environ une heure lors d'un stimulus persistant pour atteindre une cortisolémie maximale tandis qu'il faut cinq heures pour atteindre une cortisolémie maximale lors de stress répétés).

En prenant en compte ces facteurs de variation de la cortisolémie, la plupart des chercheurs choisissent d'évaluer le stress en mesurant la concentration en cortisol en raison de sa réactivité au stress, et de sa facilité à être mesurée.

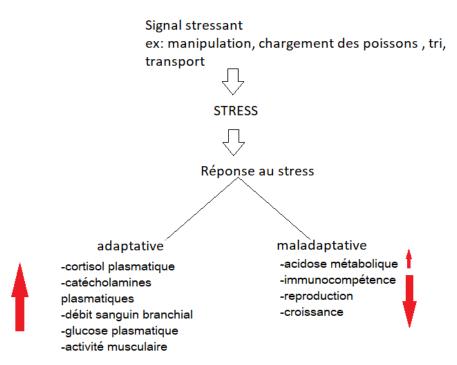
c) Nuance concernant l'association entre stress et cortisol

L'élévation du cortisol en réponse à un stress n'est pas toujours observée. En effet, l'exposition à des toxiques est bien sûr néfaste pour le poisson, elle cause de façon directe de la mortalité ou bien nuit à la santé du poisson, mais ne crée pas nécessairement d'augmentation du cortisol (Barton et Iwama, 1991). De la même façon, la mise en contact avec un parasite sanguin de façon expérimentale, chez la truite arc-en-ciel (Oncorhynchus mykiss), ne provoque pas forcément d'augmentation des corticostéroïdes (Laidley et al., 1988).

#### d) Nuances concernant l'effet délétère du cortisol

Un autre point reste à nuancer : l'aspect négatif du cortisol. Munck et al.(1984) proposent un nouveau regard concernant le rôle de la sécrétion de corticostéroïdes lors du stress, plutôt adaptatif, car elle protège des mécanismes de défense délétères de l'organisme en inhibant l'absorption de glucose par les tissus périphériques, et l'activité d'enzymes protéinases. Pickering (1989) fait l'hypothèse que la sécrétion de corticostéroïdes assure de lutter contre le stress par la néoglucogenèse et son implication dans l'osmorégulation. Ainsi, la réponse au stress est ambivalente et aurait des conséquences maladaptatives mais aussi **adaptatives** (Terlouw et al., 2008) (Figure 6).

Figure 6 : Représentation de la relation entre le signal stressant, le stress et la réponse au stress.



Source: Barton et Iwama (1991).

Notre compréhension des multiples réponses du poisson face au stress comme l'élévation de corticostéroïdes n'est pas encore suffisante pour établir une discrimination sur son rôle adaptatif ou non.

#### iv) <u>Réponse secondaire et tertiaire au stress</u>

La réponse secondaire au stress se compose des changements physiologiques mis en place après l'élévation de cortisol et de catécholamines. Elle se caractérise par des modifications des paramètres biologiques de l'animal : métabolites, paramètres hématologiques, minéraux (Tableau 1 : Liste de quelques elements de la reponse primaire, secondaire et tertiaire au stress. Tableau 1). La réponse tertiaire est la conséquence (Comte, 1995) sur le long terme de la réponse secondaire et de façon plus large du stress. Il s'agit entre autres de l'augmentation de la prévalence des maladies, de la détérioration de la fécondité et de la qualité des gamètes, de la diminution ou l'arrêt de croissance et de la diminution du diamètre des cellules interrénales (Tableau 1). Elle sera abordée au fur et à mesure de la description des mécanismes mis en place lors de la réponse secondaire.

Tableau 1 : Liste de quelques elements de la reponse primaire, secondaire et tertiaire au stress.

Dán anna mainraine ann atanan	Cational and a subsequential and
Réponse primaire au stress	- Catécholamines plasmatiques
	- Corticostéroïdes plasmatiques
	- ACTH
Réponse secondaire au stress	
·	- Glucose plasmatique
NA Abole alliance	- Acide lactique
Métabolique	- Glycogène du foie et des muscles
	- Cholestérol
	- Hématocrite
Uźnatalaniawa	- Leucocrite
Hématologique	- Taux de thrombocytes
	- Hémoglobine
	- Temps de coagulation
	- Chlorure
Hydrominéral	- Sodium
	- Potassium
	- Osmolarité
Structural	- Taille des cellules interrénales
	- Diamètre du noyau des cellules interrénales
	- Morphologie du tissu gastrique
Réponse tertiaire au stress	- Croissance
	- Activité métabolique
	- Résistance aux maladies
	- Tolérance aux températures extrêmes
	- Tolérance à l'hypoxie
	- Capacité de nage
	- Fonction reproductrice
Source : Parton at Iwama (1001)	

Source: Barton et Iwama (1991).

#### a) Effets du stress sur l'immunocompétence du poisson

Le stress est reconnu comme facteur prédisposant à l'infection du poisson par des maladies (Wedemeyer, 1970; Pickering *et al.*, 1987). Schrek *et al.* (2001) le qualifient même « d'immunosuppresseur ». En effet, la mortalité moyenne de la truite arc-en-ciel inoculée avec *Aeromonas salmonicida* passe de 40% à 60% chez les poissons subissant en plus un stress aigu (Barton et Iwama, 1991).

De plus, chez la truite mouchetée (Salvelinus fontinalis) en très mauvais état, le rapport lymphocytes sur cellules du sang est 84% moins important et le titre en cortisol 15 fois plus élevé que

chez le poisson en bon état général (Goede et Barton, 1990). Ainsi, il existerait une corrélation entre cortisol et taux de lymphocytes.

Lors de stress, la baisse de résistance face aux maladies est en partie liée à **une diminution du nombre de lymphocytes et une baisse de leur activité** (Ellis, 1981; Fries, 1986; Pickering *et al.*, 1987). Plusieurs exemples vont dans le sens de ce résultat :

- une manipulation pendant deux minutes cause une lymphopénie chez la truite fario pendant huit heures, qui met environ 72 heures pour retourner à la normale (Pickering *et al.,* 1982) ;
- une simple manipulation de 30 secondes est suffisante pour causer la perte de 26 à 67% des lymphocytes du sang, chez cinq espèces de saumon. Il en est de même chez le doré jaune, où la perte est de 54% des lymphocytes du sang (Barton et Grosh, non publié). Pickering et Pottinger (1987) montrent que la truite arc-en-ciel et la truite fario élevées dans des conditions de surpopulation pendant uniquement trois semaines, voient leur nombre de lymphocytes circulant continuer de chuter, bien que la concentration en cortisol soit elle retournée à la normale après son augmentation ponctuelle.

Une autre donnée vient préciser les mécanismes mis en jeu : le saumon coho (Oncorhynchus kisutch) lorsqu'il subit la smoltification, voit sa cortisolémie augmenter. Il s'agit alors d'un stress physiologique, différent du stress lié à un stimulus stressant. Parallèlement à ce phénomène, la capacité des cellules de la rate à générer des lymphocytes diminue pendant cette période. En faisant l'hypothèse que le stress physiologique et un stimulus extérieur stressant fassent intervenir des mécanismes similaires, le stress et le cortisol agiraient donc en affectant le nombre de lymphocytes produits dans les organes immunitaires comme la rate (Maule et Schreck, 1990a).

Ellsaesser et Clem (1986) mettent en évidence que les lymphocytes de poissons non stressés, incubés avec des macrophages de poissons stressés étaient capables de réagir à un mitogène, ce qui n'était pas le cas de lymphocytes « stressés » avec des macrophages « non stressés ». Ceci suggère que le stress agit directement sur les lymphocytes (cellules B et T) et non sur les macrophages.

En plus de son action suppressive des lymphocytes, le cortisol provoque aussi une altération de la fonction des lymphocytes. Grimm (1985) montre in vitro qu'une concentration physiologique en cortisol supprime la mitose des lymphocytes de la plie (*Pleuronectes platessu*) et suggère qu'il doit s'agir d'un mécanisme essentiel dans la diminution de la résistance aux pathogènes. Le cortisol et le stress diminuent les capacités des lymphocytes à produire des anticorps (Maule et Schreck, 1990a).

Il semble aussi que le cortisol puisse inhiber des facteurs interleukines nécessaires à la différenciation du lymphocyte (Kaattari et Tripp, 1987; Tripp et al., 1987). Cette conclusion est cohérente avec la découverte récente de récepteurs à haute affinité-faible capacité aux glucocorticoïdes à la surface des leucocytes, présents au pôle crânial du rein et sur la rate des saumons Coho, qui sont les deux organes hématopoïétiques principaux (Maule et Schreck, 1990a).

Enfin, un autre mécanisme déprime le système immunitaire du poisson et ceci en agissant directement sur les structures cérébrales de l'animal. Le stress peut provoquer un **dérèglement de l'axe HHI,** à **l'origine d'une immunosuppression** et de la mort du poisson. Chez les saumons sauvages adultes (*Oncorhynchus spp.*) par exemple, tous les sujets meurent après la ponte. La maturation et la ponte chez le saumon du pacifique s'accompagnent de la perte de contrôle de la glande pituitaire sur 22

la sécrétion du cortisol interrénal; et d'un défaut concomitant de clairance du cortisol (Robertson et Wexler, 1957; Hane et Robertson, 1959; Robertson et al., 1961; Hane et al., 1966; Donaldson et Fagerlund, 1968). Ceci provoque une élévation du cortisol du poisson qui succombe à un syndrome de Cushing. Par conséquent le poisson est infecté par des nouveaux pathogènes contre lesquels il ne peut lutter. Une cortisolémie élevée chronique semble être la cause d'immunosuppression, rendant le poisson vulnérable (Schreck et al., 2001).

Néanmoins, les mécanismes qui interviennent dans la relation entre le cortisol et le système immunitaire du poisson ne sont pas encore totalement connus.

- b) Effet du stress sur la reproduction du poisson
  - Stress et chronologie de la reproduction

La chronologie de la reproduction qui inclue ; la puberté, la dominance folliculaire, la maturation de l'ovocyte et l'ovulation est influencée par la physiologie de l'animal qui elle-même dépend des signaux stressants perçus par le poisson. Des perturbations ou des manipulations peuvent affecter les cycles de la reproduction, les ralentir ou les accélérer. Toutefois ceci dépend de l'espèce traitée (Tableau 2). Le tilapia (*Oreochromis niloticus*), par exemple, répond au stress par une accélération ou une inhibition totale de la reproduction, qui dépend de l'étape de maturation pendant laquelle apparait le facteur de stress (Schreck *et al.*, 2001).

Tableau 2: Effets du stress à différents moments de la reproduction chez le Tilapia et la Truite arc-enciel.

	Tilapia soumis à un	Truite arc-en-ciel	Truite-arc-ciel soumise
	stress modéré	soumise à un stress	à un stress sévère
	(Contrera-Sanchez, non	modéré (Contrera-	(Campbell <i>et al.</i> , 1992,
	publié)	Sanchez, 1998)	1994)
Stress apparu tôt lors de	- Faible croissance	- Faible effet sur la	1334)
la vitellogénèse			
ia vitellogellese	- Pas de ponte	croissance	
		- Pas d'effet sur la	
		ponte	
		- Pas d'effet sur la	
		fécondité	
		- Œufs plus petits	
		- Variation importante	
		de la taille des œufs	
		- Pas d'effet sur la	
		survie de la	
		descendance	
Stress apparu	- Ponte précoce	- Pas d'effet sur la	- Pas d'effet sur la
tardivement lors de la		croissance	fécondité
vitellogénèse		- Ponte précoce (2	- Œufs de plus petite
		semaines avant la date	taille
		estimée)	- Taux de survie de la
		- Pas d'effet sur la	descendance plus faible
		fécondité	
		- Pas d'effet sur la taille	
		des œufs	
		- Variation importante	
		du poids des œufs	
		- Pas d'effet sur la	
		survie de la	
		descendance	
Stress pendant toute la	- Non détaillé	- Faible effet sur la	- Pas d'effet sur la
vitellogénèse		croissance	fécondité
		- Ponte précoce	- Ponte tardive (retard
		- Pas d'effet sur la	de trois semaines
		fécondité	environ)
		- Pas d'effet sur la taille	- Œufs de plus petite
		des œufs	taille
		- Variation important	- Taux de survie de la
		du poids des œufs	descendance plus faible
		- Pas d'effet sur la	,
		survie de la	
		descendance	
Course Cobreck et al 120		3330011441160	

Source: Schreck et al. (2001).

Le tilapia face à des facteurs de stress (drainage de l'eau des bassins, dont la conséquence est une concentration des poissons et une exposition à l'air, et présence de filet de pêche), qui apparaissent au début du développement ovarien, décale son ovulation, tandis qu'ils pondent immédiatement lorsque le stress apparait à la fin de la vitellogénèse (Contreras-Sanchez et al., 1998). De la même façon, l'ovulation est anticipée chez la truite arc-en-ciel lorsqu'un signal stressant modéré apparait pendant la phase tardive de la vitellogénèse (Contreras-Sanchez et al., 1998). Il est intéressant de noter que l'ovulation est anticipée lors d'un stress modéré pendant toute la période vitellogénique. La sévérité du facteur de stress semble aussi importante. La truite soumise à un stress sévère pendant les neuf mois qui précédent la ponte produit des œufs de petite taille et une ovulation retardée (Campbell et al., 1992). Lors d'un stress modéré quotidien (dérangement une fois par jour) au début de la vitellogénèse, la truite arc-en-ciel produit de petits œufs, dont les tailles sont variées, tandis qu'il n'y a aucun effet sur la taille des œufs en fin de vitellogénèse (Contreras-Sanchez et al., 1998).

D'autres téléostéens ont montré des stratégies diverses pour supporter le stress. Par exemple, le stress est impliqué dans la régulation de l'inversion sexuelle chez les espèces hermaphrodites (la densité, la croissance et le statut social sont des facteurs déterminants) (Robertson, 1972; Hourigan, 1986). Des changements de stratégies de reproduction lors de situations stressantes sont probablement importants pour maintenir une aptitude à la reproduction chez le poisson en milieu sauvage, il est donc intéressant de connaître ces mécanismes pour gérer correctement des animaux en élevage.

Ces stratégies permettraient d'économiser de l'énergie. En effet, Roff (1982) propose deux modèles de répartition de l'énergie : un maintien du poids et un ajustement dans la production de gamètes, ou un maintien du nombre de gamètes au détriment du tissu somatique. De plus, même si les gamètes sont privilégiés au détriment du tissu somatique, le poisson doit être par la suite capable de maintenir un certain niveau de qualité des œufs. La manière dont l'animal établit un compromis entre sa fécondité, la qualité de ses œufs, et son intégrité reste peu connue.

#### • Effet du stress sur les hormones sexuelles

De plus en plus d'études convergent et montrent que les effets du stress sur la fonction endocrine et son incidence sur la fonction reproductrice passent par l'axe hypothalamo-hypophyso-interrénal (HHI). Toutefois, les études ont montré que les réponses sécrétoires de l'axe pituitaire – gonadique après un traitement au cortisol sont inconstantes. L'étude in vitro de Carragher et Sumpter (1990) suggère quant à elle, que le cortisol agit de façon prédominante et directe sur la sécrétion des hormones stéroïdes du tissu gonadique plutôt que sur l'axe pituitaire-gonadique.

Safford et Thomas (1987) affirment qu'il existe un phénomène transitoire suite à un stress aigu, qui consiste en l'augmentation des hormones sexuelles stéroïdes puis en leur diminution. Ce rôle dépresseur du stress sur les hormones sexuelles, est observé chez le poisson téléostéen femelle par la diminution de la concentration en 17b-œstradiol et chez le poisson téléostéen mâle par la diminution en 11-kétotestosterone (Pickering et al., 1987; Safford et Thomas, 1987; Sumpter et al., 1987; Carragher et Pankhurst, 1991; Clearwater, 1992; Pankhurst et Dedual, 1994). Carragher et Sumpter (1990) supposent ainsi que le cortisol a un effet suppresseur sur le précurseur commun des stéroïdes.

Cet effet suppresseur des hormones sexuelles est observé au sein du follicule du poisson. Carragher et Sumpter (1990) montrent ainsi que le cortisol supprime la sécrétion de testostérone et d'œstradiol des follicules de truites arc-en-ciel. Les auteurs mettent en évidence un effet indirect du cortisol sur l'hormone 17-alpha-20-béta-dihydroxyprogestérone (hormone synthétisée par la thèque et la granulosa du follicule et qui induit la maturation des oocytes du poisson), grâce à la sécrétion de GTH. Pottinger et Pickering (1990) ont observé que la hausse de cortisolémie pendant 4 semaines suite l'introduction d'un implant de cortisol chez des truites arc-en-ciel femelles provoquait 35 à 29% de déclins des sites de fixation de l'œstradiol dans le cytosol et le noyau des cellules du foie, qui est le site de synthèse du vitellogène et parallèlement une diminution de la concentration en stéroïdes contenus dans le vitellus de l'oocyte. L'augmentation du cortisol, provoquerait un déclin des sites de fixation de l'œstradiol dans les cellules du foie synthétisant le vitellus, à l'origine de la baisse d'œstradiol dans le vitellus.

Le stress par la hausse de la cortisolémie provoquerait non seulement une diminution d'œstradiol dans le vitellus des oocytes du poisson mais aussi une augmentation du cortisol dans les œufs. Ainsi, il a été mis en évidence que le transfert maternel d'hormones comme le cortisol peut être modifié par le stress (Campbell *et al.*, 1992, 1994; Yeoh, 1993). Ceci a été confirmé par Stratholt *et al.* (1997), qui ont montré que la concentration en cortisol chez les œufs de saumon argenté (*Orhynchus kisutch*), était plus importante chez les poissons ayant subi un stress deux semaines auparavant. De plus, cette modification des hormones présentes dans l'œuf aurait des conséquences importantes. En effet, plusieurs études ont montré la présence d'une large quantité d'hormones maternelles dans les oocytes matures de téléostéens, ce qui laisse penser que les hormones jouent un rôle majeur dans la régulation de mécanismes du développement après la fécondation (Lam, 1985; Brown *et al.*, 1989; Brown et Bern, 1989; Feist *et al.*, 1990; Schreck *et al.*, 1991; Ayson et Lam, 1993; Yeoh *et al.*, 1996a,b). Par conséquent, le stress peut augmenter le transfert de cortisol dans l'œuf, ce qui a des effets sur le développement du jeune.

Il est toutefois difficile de conclure sur le rôle unique des hormones de la réponse primaire malgré les données évoquées précédemment. En effet, certaines études suggèrent que les catécholamines pourraient avoir un rôle dans l'ovulation (Jalabert, 1976). Il a aussi été démontré que des facteurs de stress pouvaient augmenter la concentration en LH et FSH chez la truite fario (*Salmo trutta*) (Pickering *et al.*, 1987; Sumpter *et al.*, 1987). Ce lien entre stress et gonadotropine, a été exploré en laboratoire par Schreck *et al.* (1989) qui ont montré qu'une préparation brute en gonadotropine provoquait une sécrétion interrénale de cortisol chez le saumon coho.

#### • Qualité de la descendance face au stress

Dès lors, il semble que le stress ressenti par la femelle ait des conséquences sur sa descendance. Campbell *et al.* (1992, 1994) ont montré qu'un stress sévère chez la truite arc-en-ciel peut affecter le **taux de survie de sa descendance.** Cette diminution du taux de survie peut être due à une réduction des réserves énergétiques de l'œuf, ainsi qu'aux dommages de l'œuf causés directement par le facteur de stress. Au contraire, les femelles ayant subi un stress modéré durant des étapes variées de la vitellogénèse produisent une progéniture dont la mortalité n'est pas affectée (Contreras-Sanchez *et al.*, 1998). Néanmoins, il est possible que des œufs plus petits, et par conséquent de plus petits poissons non adaptés au milieu sauvage, soient le résultat de situations de stress, comme l'affirment Contreras-Sanchez *et al.* (1998). L'expérience de McCormick (1998) a confirmé cette supposition en

montrant qu'il existait une corrélation inverse entre concentration en cortisol et taille des œufs, en effet le stress induit par la présence de prédateurs et, dans une moindre mesure, par des individus de la même espèce, provoque chez les femelles castagnoles la production d'œuf avec une concentration plus élevée en cortisol et de plus petites tailles.

#### • Méthodes de protection de la descendance

Comme nous l'avons évoqué avec la théorie de Roff (1982), il faut trouver un compromis entre fécondité, qualité des œufs, et intégrité du poisson géniteur. Le compromis entre fécondité et qualité des œufs, peut être illustré en cas de stress nutritionnel, lorsque le poisson femelle réabsorbe ses œufs pour économiser de l'énergie ou des nutriments pour les œufs restants. De plus, il existe de nombreux mécanismes maternels pour épargner les œufs de réponses physiologiques délétères, induites par le stress. Prenons l'exemple du cortisol, sécrété lors d'un stress, qui est délétère pour le développement et la croissance (Schreck, 1992), mais aussi immunosuppresseur (Schreck, 1996). Il y 'a 17 fois moins de cortisol dans le fluide ovarien et 30 fois moins dans les œufs que dans la circulation (Contreras-Sanchez, 1995). Il est alors très probable que la femelle protège ses œufs de l'hypercorticisme.

Plusieurs mécanismes permettent à l'œuf d'être protégé de l'augmentation en cortisol :

- -la **brièveté de l'augmentation en cortisol** en début et fin de vitellogénèse. En effet, la concentration en cortisol atteint une valeur maximale 20 minutes après l'application du stress et retourne à une valeur de repos 40 minutes après l'application du stress. Ainsi bien que la nature lipophile des œufs les rende capables de rapidement prendre en charge le cortisol, ceci est très limité par la brièveté de l'augmentation du cortisol circulant ;
- la **présence de protéines de liaison**. Les protéines de liaison captent la majorité des stéroïdes pour les maintenir dans la circulation maternelle. Lors de la maturation chez la truite arc-en-ciel, 45% des corticostéroïdes sont liés à des protéines de fixation, et 33% à l'albumine (Caldwell *et al.*, 1991) ;
- -les **enzymes qui métabolisent le cortisol**. Les enzymes présentes dans le follicule peuvent convertir le cortisol qui quitte la circulation en un métabolite inactif, la cortisone dans le follicule.

Certains points restent toutefois à éclaircir. Un mécanisme permettant aux corticostéroïdes de sortir de l'œuf et de retourner dans la circulation générale n'est toujours pas connu. Les mécanismes par lesquels l'infection des œufs de poisson est limitée ou évitée ne sont pas encore connus, bien que l'imperméabilité de l'œuf puisse le protéger. Il est néanmoins décrit que la femelle transmet à son embryon une protection par chargement de l'œuf en lectine et hemagglutines (Brown *et al.*, 1990, 1994; Yousif *et al.*, 1994a, b, 1995; Tatner, 1996 ; Yano, 1996).

#### c) Effets du stress sur le métabolisme et la croissance

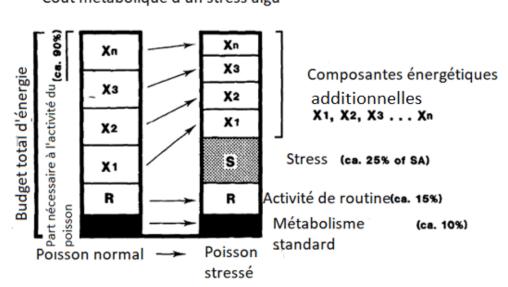
#### • Stress et dépense énergétique

Selon le modèle de Schreck (1981), le poisson a un potentiel génétique défini qui est contraint par l'environnement et peut être réduit par le stress notamment par la dépense énergétique qu'engendre le stress. Le stress impose une dépense énergétique qui comprend deux composantes :

- une dépense énergétique pour surmonter les perturbations ;
- une dépense énergétique pour corriger les déséquilibres hydrominéraux. La demande en énergie est nommée « charge allostatique » (McEwen et Wingfield, 2003).

Pour évaluer le coût du stress du poisson, Barton et Schreck (1987) et Davis et Schreck (1997), mirent en évidence qu'une manipulation de la tête du saumon coho, créait une augmentation de 25% de l'énergie disponible pour son activité. Le coût métabolique du stress engendre une perte d'énergie disponible pour les autres fonctions de l'animal (Figure 7).

Figure 7 : Coût métabolique d'un stress aigu sur les performances du poisson.



Coût métabolique d'un stress aigu

Source: Barton et Iwama (1991).

#### • Stress et respiration

Les recherches sur la respiration des poissons, ont toujours montré que les manipulations augmentaient le métabolisme et la consommation en oxygène (Saunders, 1963; Korovin *et al.*, 1982). Barton et Schreck (1987) ont montré qu'un poisson stressé consommait deux fois plus d'oxygène. En effet, pour toutes les expériences effectuées, une période de récupération est conseillée dans une chambre de respirométrie (Beamish, 1978), ce qui permet après le stress vécu durant ces manipulations, un retour à la normale de la respiration du poisson. Cette observation est associée à une modification endocrine. Barton et Schreck (1987) ont ainsi mis en évidence une **corrélation positive entre cortisol plasmatique et consommation en oxygène.** 

• Stress et hormones de régulation du métabolisme et de croissance

Les corticostéroïdes pourraient être incriminés comme médiateurs du stress, à l'origine d'une baisse de croissance. Davis *et al.* (1985) rapportent une réduction de 2/3 du poids du poisson chat après un régime à base de cortisol permettant d'atteindre une concentration en cortisol équivalente à un poisson stressé. Néanmoins, un protocole de manipulation utilisé pour élever le plasma cortisol de façon aigüe, n'a pas suffi pour affecter la croissance de la truite arc-en-ciel sur une semaine (Barton et Schreck, 1987).

Le cortisol affecterait la croissance en agissant sur l'hormone de croissance (GH, growth hormone). Ainsi, il a été mis en évidence que lorsque la truite arc-en-ciel était soumise à un stress aigu, sa concentration en GH baissait, tandis que lors d'un stress chronique la concentration en GH était élevée et l'augmentation de GH était corrélée positivement à l'augmentation de cortisol plasmatique (Pickering, 1990).

Le cortisol pourrait aussi jouer sur la croissance, grâce à son action sur les enzymes (Storer, 1967; Inui et Yokote, 1975). Dans une étude menée par Davis *et al.* (1985), la baisse de la croissance lors d'un régime à base de cortisol était accompagnée d'une élévation d'enzyme aminotransférase hépatique. Ils firent l'hypothèse que le cortisol stimulait le métabolisme des protéines, pour synthétiser de l'énergie au détriment donc de la croissance.

Concernant le métabolisme, le cortisol stimule la néoglucogenèse chez le poisson. Les catécholamines, quant à elles, stimulent la glycogénolyse et donc la formation de glucose. Leach et Taylor (1980) ont été les seuls à mener une expérience conduisant à déterminer une relation définitive entre l'élévation de la concentration en cortisol suite au stress et le glucose. Ils montrèrent que l'élévation normale du cortisol chez le poisson choquemort (*Fundulus heteroclitus*) était évitée par la metyrapone, un élément empêchant la synthèse du cortisol; l'élévation de la concentration en glucose n'était alors que transitoire. En comparaison avec les poissons ayant subi eux aussi une manipulation stressante mais non traités avec metyrapone, Leach et Taylor(1980) conclurent que le cortisol devait agir en maintenant la concentration de glucose élevée après une augmentation médiée par les catécholamines, tant que par la stimulation de la néoglucogenèse et la régulation périphérique de l'absorption du glucose.

Pour conclure, la réponse secondaire au stress, touche le métabolisme en provoquant une déplétion des réserves de glycogène hépatique dont la résultante est l'élévation du glucose plasmatique qui impacte la concentration en acides gras circulants et l'inhibition de la synthèse protéique (Barton et Iwama, 1991). Néanmoins les mécanismes exacts mis en jeu ne sont pas encore clairs.

#### d) Effets du stress sur l'osmolarité du poisson

Le stress se manifeste aussi par une perturbation de l'équilibre hydrominéral. L'animal perd de l'eau salée et se gorge d'eau douce (Schreck et al., 2001). Le cortisol augmente la perméabilité des branchies et de l'intestin aux ions et donc à l'eau. La régulation des ions comme les ions calcium, sodium et chlorure, est alors mise en œuvre (Pierson et al., 2004).

# e) Effets du stress sur la morphologie de la truite

Il semblerait que sous l'effet du stress, les truites non dominantes présentent un obscurcissement de la peau (Kittilsen et al., 2009). Les animaux sont aussi plus petits, nous avions d'ailleurs évoqué l'impact du stress sur la croissance du poisson. Un raccourcissement de la tête du poisson peut aussi être observé (Hallerman et al., 2007). Il est aussi fréquent d'observer des animaux présentant des malformations vertébrales. Toutefois le mécanisme d'ossification des poissons est mal connu. Afin de pallier à ce problème, une étude de l'INRA a montré, chez la truite arc-en-ciel qu'un exercice modéré à soutenu (nage rapide jusqu'à 1,5 fois la longueur du corps par seconde) réduit de façon significative le nombre de vertèbres fusionnées, améliore le taux de minéralisation de l'animal, et aurait donc un effet positif sur le poisson, surtout au stade juvénile où sa croissance est importante (Deschamps et al., 2009). Ces anomalies morphologiques témoignent d'une atteinte du Bien-être des poissons, et constituent une perte économique importante, puisque les poissons malformés sont exclus de la consommation.

En conclusion, le stress impacte de nombreuses fonctions de l'animal. Mais les études ont montré que l'on observait des effets sur la reproduction, la croissance et l'immunocompétence des animaux surtout lors de stress chronique (Huntingford *et al.*, 2006). Il reste cependant beaucoup de points à éclaircir concernant les mécanismes mis en jeu.

### v) Mesure du stress

Nous venons d'évoquer la réponse primaire de nature neuroendocrinienne et la réponse secondaire qui correspond à des modifications physiologiques du poisson. Ces réactions au stress correspondent à la sécrétion de médiateurs du stress qui sont donc mesurables.

Pour qu'un indicateur de stress soit fiable il faut :

- qu'il ait une valeur diagnostique ;
- qu'il soit informatif sur le statut actuel du poisson ;
- qu'il soit spécifique d'une réponse au stress ;
- qu'il ait une valeur basale fixe;
- qu'il permette un accès non invasif, simple, et bon marché.

Ainsi, parmi les différents médiateurs de la réponse au stress, la rapidité de la sécrétion réactionnelle des catécholamines, la grande variabilité de l'ACTH, le manque de représentativité des éléments de la réponse secondaire au stress, l'appréciation subjective des changements de comportements et l'obligation de sacrifier les poissons pour accéder à la mesure des neurotransmetteurs, ont mené les scientifiques à choisir le cortisol comme indicateur de stress (Tableau 3).

Tableau 3: Synthèse des méthodes de mesure des médiateurs de la réponse au stress et les inconvénients associés à ces mesures.

	Technique	Inconvénients	Source
Mesure des	- Dosage des	- Pas fiable :	(Hugues, 1981;
catécholamines	catécholamines	sécrétion rapide et	Gingerich et
	plasmatiques, après prise	manipulation qui	Dottar, 1989)
	de sang	induit elle-même le	
		stress.	
Mesure des	- Chromatographie liquide	- Sacrifice des	(Overli <i>et al.,</i>
neurotransmetteurs	à haute performance sur	animaux.	2001)
	le cerveau.		
Masura das composants	Masura da l'avarassian	- Grande variation	(Cumptor at al
Mesure des composants	- Mesure de l'expression		(Sumpter <i>et al.</i> ,
de l'axe HHI	génétique :	notamment de l'ACTH.	1986; Pickering
	Immunofluorescence.	- CRH pas fiable.	et al., 1991)
Mesure des éléments de	- Colorimétrie ou	- Glycogène ne varie	(Trendazo et al,
la réponse secondaire	spectrophotométrie,	pas toujours.	2003; Cairns et
	après prise de sang	- Nombreux facteurs	al., 2008)
		de variation de chaque	
		paramètre.	
Mesure des	- Observation.	- Nombreux facteurs	(Brown et al.,
modifications		de variation de chaque	2009)
comportementales		paramètre.	
		- Observateur aguerri.	

Source: Hugues (1981); Sumpter *et al.* (1986); Gingerich et Dottar (1989); Pickering *et al.* (1991); Overli *et al.* (2001); Trendazo *et al.* (2003); Cairns *et al.* (2008); Brown *et al.* (2009).

Il est possible de mesurer le cortisol par différents moyens de collecte : prise de sang, par la bile, par homogénat du corps entier, ou dans l'eau du milieu ou les selles du poisson (Tableau 4). Afin de choisir la manière la plus appropriée, il faut garder en tête les critères de sélection d'un bon indicateur de stress ; à la fois représentatif et fiable mais occasionnant le moins de dommages possibles pour le poisson. En général, c'est le **cortisol sanguin** qui est mesuré en raison de sa meilleure représentativité même si la manipulation est longue et peut en elle-même stresser le poisson.

Tableau 4 : Avantages et inconvénients des différentes méthodes de collecte du cortisol.

Support de collecte du	Avantages	Inconvénients	Sources
cortisol			
Sang (cœur, veine ou	- Meilleure	- Manipulation longue,	(Pickering <i>et al.</i> ,
artère caudale, veines	représentativité de	stress dû à la	1982; Ellis et al.,
cardinales	l'activité sécrétoire des	manipulation, stress des	2004)
postérieures)	cellules interrénales.	autres animaux.	
Bile	- Lors de <b>stress</b>	- Décalage avec la	(Ellis et al., 2005)
	chronique.	situation de stress.	
	- Poissons trop petits	- Perte de précision,	
	pour une prise de sang.	tous les stéroïdes	
		cortisol-like sont	
		détectés.	
		- Sacrifice des animaux.	
Homogénat de corps	- Lors de <b>stress</b>	- Décalage avec la	(Pottinger et al.,
entiers	chronique.	situation de stress.	2002)
	- Poissons trop petits	- Perte de précision,	
	pour une prise de sang.	tous les stéroïdes	
		cortisol-like sont	
		détectés.	
		- Sacrifice des animaux.	
Eau du milieu	- Non invasif.	- Perte de précision sur	(Ellis et al., 2004)
		le stress individuel.	
		- Nécessité de connaitre	
		les paramètres du	
		milieu : débit, biomasse.	
Selles	- Non invasif.	- Prélèvement précoce	(Ellis et al., 2004;
	- Contrairement à l'eau,	pour éviter la	Brandson, 2008)
	mesure individuelle	désintégration des	
	possible.	selles.	
		- Quantité de selles	
		dépendante de	
		l'alimentation.	

Source: Pickering et al. (1982); Ellis et al. (2004); Ellis et al. (2005); Brandson (2008).

# vi) <u>Modifications comportementales en réponse au stress</u>

Les réponses comportementales au stress constituent la première modification visible par l'éleveur. Elles peuvent apparaître avant que la réponse primaire au stress se mette en place, le poisson utilise alors la plasticité de son comportement et son potentiel adaptatif pour surmonter le défi imposé par l'environnement, par exemple en recherchant un habitat moins contraignant, ce qui est impossible en élevage (Bégout Anras et Lagardère, 2004). Le choix d'une stratégie d'adaptation dépend de différents facteurs tels que : les facteurs environnementaux, la disponibilité en proies et leur

accessibilité dans le milieu, les risques de prédation, le comportement des autres poissons du groupe ainsi que l'état physiologique des individus (Dill *et al.*, 1987). Elles peuvent aussi être la conséquence des modifications physiologiques mises en place lors de la réponse secondaire et tertiaire, par exemple la consommation accrue en oxygène lors de stress provoque l'augmentation de l'activité ventilatoire du poisson.

# a) Comportement d'exploration

On considère que l'exploration est le temps attribué à la recherche de ressources alimentaires (Danchin *et al.*, 2008). La baisse du temps alloué à la recherche et à la prise alimentaire est une modification comportementale qu'il est important de prendre en compte puisqu'elle est considérée comme la cause principale de baisse de croissance après l'exposition à un facteur stressant (Wendelaar Bonga, 1997). De plus, les facteurs de stress rencontrés en aquaculture réduisent la prise alimentaire et la motivation à se nourrir. La rapidité de la nage du poisson lorsqu'on lui présente de la nourriture est d'ailleurs considérée comme un indicateur du Bien-être, notamment chez la truite arc-en-ciel (Øverli *et al.*, 2006a). Le temps écoulé pour commencer à se nourrir après la présentation de l'aliment, a été utilisé comme indicateur du Bien-être du Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), élevé en circuit fermé (Martins *et al.*, 2009).

Les facteurs de stress entrainant un changement du budget temps alloué à la recherche alimentaire sont :

- une modification de la qualité de l'eau (Espmark et Baeverfjord, 2009; Martins et al., 2009; Santos et al., 2010) ;
- une modification des densités d'élevage (Ellis et al., 2002);
- l'usage d'anesthésiques et la vaccination (Sørum et Damsgard, 2004);
- l'établissement de relation de dominance, après des changements de structure sociale comme par exemple après un tri (Alanara *et al.*, 1998) ;
- la réalisation d'un nettoyage des bassins (Rubio et al., 2010).

#### b) Activité ventilatoire

L'activité ventilatoire est accomplie grâce aux mouvements operculaires. Il est important que l'activité ventilatoire soit maintenue puisqu'elle assure la teneur en O<sub>2</sub>, et l'équilibre acido-basique (pH). L'augmentation de l'activité ventilatoire est un signe de stress communément utilisé pour évaluer un problème de Bien-être. Il existe des chémorécepteurs sensibles à l'oxygène au niveau de la cavité buccale (proches des papilles gustatives) (Ishida *et al.*, 1996) et d'autres au niveau des lits vasculaires des branchies (Burleson et Milsom, 2003). La durée de retour à une activité ventilatoire normale après un stress est très variable et dépend du statut sanitaire du poisson.

Les facteurs de stress qui font augmenter la fréquence des mouvements operculaires sont :

- les paramètres de l'eau (concentration en oxygène dissous, dioxyde de carbone, ammoniac, et nitrates);
- la lumière artificielle ;
- des bruits perçus comme aversifs par le poisson ;
- des odeurs stimulant le poisson;
- des températures ou substrats inadaptées ;
- l'espace restreint ;
- la proximité de l'humain et une manipulation (Brydges et al., 2009) ;
- la diminution de l'alimentation;
- le transport (Barreto et Volpato, 2006);
- l'exposition à l'air (White et al., 2008);
- la présence de prédateurs (Barreto et al., 2003) ;
- les maladies (Byrne et al., 1991).

Il est important de noter qu'une augmentation de l'activité ventilatoire, rend le poisson plus vulnérable aux substances chimiques toxiques puisque les branchies sont plus exposées (Pierron *et al.*, 2007; Couillard *et al.*, 2008).

# c) Comportements d'agression

En limitant les ressources lors de stress nutritionnel, des comportements de compétition apparaissent, provoquant l'émergence de hiérarchies établies par la présence de dominants (Jobling, 1983; Jobling et Koskela, 1996). Les comportements agonistiques incluent : les morsures, les attaques, et les comportements de menace. Les comportements de subordination incluent : la fuite ou bien l'immobilité.

Les facteurs de stress qui vont avoir une influence sur ces comportements sont :

- la densité d'élevage. Une densité plus élevée favorise les agressions (Keeley, 2000) ;
- la distribution spatiale et temporelle de nourriture. Une nourriture distribuée à un endroit précis et non uniformément favorisera l'apparition de comportement de compétition pour l'accès à la ressource alimentaire (Bégout-Anras et Lagardère, 2004);
- la sous-alimentation augmentera les agressions (Symons, 1968);
- la fréquence du nourrissage. Plus les nourrissages seront fréquents moins il y'aura d'agressions pour accéder à la ressource alimentaire (Noble *et al.*, 2007a,b).

Des facteurs plus individuels font varier ces comportements tels que le sexe et l'âge des animaux (Ejike et Schreck, 1980), et le caractère « audacieux » de l'individu qui lui vaut le nom d'individu « manipulateur » (Bégout Anras et Lagardère, 2004). Chez les individus subordonnés il peut y'avoir des conséquences comportementales aux agressions subies comme une diminution de la prise alimentaire, tout comme une baisse de la motilité et un changement de couleur du poisson (vu dans la réponse secondaire et tertiaire) (Denight et Ward, 1982; Winberg et Nilsson, 1993a, b; Øverli et al., 1998; O'Connor et al., 1999). Par conséquent, une méthode indirecte pour évaluer les agressions consiste à compter le nombre de lésions cutanées. Almazan-Rueda et al. (2004) ont ainsi mis en évidence une corrélation positive entre le nombre de cicatrices et le nombre de comportements agressifs observés.

# d) Comportements natatoires

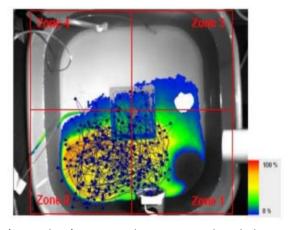
#### Individuels

La capacité de nage a été définie par Beamish (1978) comme un indicateur de la capacité du poisson à se nourrir et à échapper aux prédateurs. De nombreux paramètres de qualité de l'eau peuvent avoir des conséquences sur la nage du poisson dont l'hypoxie, qui réduit la vitesse de la nage de l'esturgeon blanc (Crocker et Cech, 1997) et de la morue d'atlantique (*Gadus morhua*) (Schurmann et Steffensen, 1994; Herbert et Steffensen, 2005). Néanmoins ce n'est pas le cas chez toutes les espèces puisque l'hypoxie augmente la vitesse de nage de l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) (Tang et Boisclair, 1995).

#### De groupe

Les poissons en aquaculture sont élevés à forte densité, et il est très compliqué d'évaluer le comportement d'un seul individu ,même si les études ont montré qu'un seul individu pouvait donner l'impulsion au groupe entier (Romey, 1996). Aussi, les éleveurs inspectent le groupe entier et particulièrement leur comportement natatoire de groupe ce qui leur permet d'apprécier: leur faim, leur niveau de stress et leur statut sanitaire. Il est donc intéressant de prendre en compte la distribution spatiale du groupe vers le fond ou une colonne d'eau en particulier (Figure 8), la rapidité et les directions de leur nage. En général, lors d'un stimulus nocif, les poissons réagissent par des mouvements de fuite vers le fond de la cage ou du tank. Ainsi, une concentration des animaux vers le fond de l'eau peut nous indiquer une récente exposition à un stress (Stien et al., 2007; FASTFISH, 2009; Bratland et al., 2010).

Figure 8: Exemple de trajectoire de nage obtenue grâce aux logiciels Visilog 6.2 et SEE\_FISH, de Truites arc-en-ciel soumis à un stimulus stressant.



Le dégradé de couleur représente la répartition des poissons dans le bassin, et le trait bleu représente la trajectoire de nage d'un poisson « manipulateur ».

Source: http://archimer.ifremer.fr/doc/00032/14276/11549.pdf.

# e) Stéréotypies

Mason (1991) décrit les comportements stéréotypiques comme un comportement répété, invariant, sans but ni fonction. Cette définition a été revue après de nombreuses études et il semble qu'il existe une fonction adaptative du comportement stéréotypique, provoquant la libération d'opioïdes (Cronin *et al.*, 1986). Il est reconnu que le développement de stéréotypies est **une réponse** à une frustration, ou à un inconfort (Wurbel et Stauffacher, 1997). Almazan-Rueda *et al.* (2004) distinguent deux comportements stéréotypiques chez le poisson chat africain reconnus comme étant des indicateurs du stress chronique :

- une nage compulsive continue;
- une nage en triangle ou en cercle qui dure entre 10 à 240 secondes.

Kristiansen *et al.* (2004) distinguent chez le flétan de l'atlantique, un comportement stéréotypique de nage en anneaux verticaux. Ils suggèrent aussi que les méthodes d'élevage et en particulier la densité d'élevage puisse être une cause des stéréotypies observées.

# C) La douleur

# i) <u>Définition</u>

D'après l'association internationale d'étude de la douleur (IASP, 1994), la douleur est définie comme « une sensation désagréable et une **expérience émotionnelle associées à une atteinte du tissu ou à une éventuelle atteinte du tissu »**. « La douleur est toujours subjective » et est l'expérience que l'on associe à une blessure potentielle. Chandroo *et al.* (2004) résument cette définition en expliquant que la douleur est une sensation négative et une expérience mentale, tout comme une émotion de souffrance, ou d'agonie tandis que la nociception est physique. Il s'agit d'une réponse inconsciente à un stimulus nocif dont un changement physiologique ou de comportement est le résultat.

Quelle est donc la fonction de la douleur ? La douleur serait une adaptation lors de l'évolution qui aide l'individu à survivre, par un signal qui permet à l'animal de **se soustraire à des situations qui peuvent lui porter atteinte**, et donc augmente leur chance de transmettre son potentiel génétique aux futures générations. Comment savoir si le poisson ressent la douleur ? Pour répondre à cette question Neville Gregory, professeur à l'University of London's Royal Veterinary College, (1999) propose plusieurs critères :

- 1) établir la présence chez le poisson, de **neurotransmetteurs**, **de neurones**, **et structures cérébrales** connues chez les mammifères pour conduire l'information.
- 2) exposer le poisson à des stimuli considérés comme douloureux pour l'homme et déterminer si les réponses à la douleur de l'animal peuvent être supprimées par **l'action d'analgésiques**.
- 3) rechercher si le poisson peut apprendre à associer un stimulus aversif à un signal neutre et qu'il puisse par la suite mettre en place un **comportement d'évitement** quand il est uniquement soumis au signal neutre, ce qui prouverait qu'il est capable d'anticipation mais aussi que ses comportements d'évitement sont peu probablement de simples réflexes.

#### ii) Neuroanatomie

# a) Nocicepteurs

Pour répondre au premier critère, Sneddon (2002) étudie la douleur du poisson et révèle que le poisson possède des **nocicepteurs** capables de détecter un stimulus qui puisse endommager l'animal comme une pression mécanique (une force physique), une température excessive (une montée de chaleur), un produit érosif (acide acétique). Les nocicepteurs sont des protoneurones à terminaisons libres, dont les fibres encodent préférentiellement des stimuli nociceptifs. Les nocicepteurs du poisson sont similaires à ceux des mammifères, et sont répartis en deux catégories de fibres nerveuses qui terminent au niveau de la tête (Figure 9) et diffèrent par leur diamètre et leur vitesse de conduction du message. On distingue :

- Les **fibres A** qui sont de petits diamètres et myélinisées, dont la vitesse de conduction est élevée. Elles sont à relier aux douleurs « furtives ». Elles comprennent les mécanorécepteurs et les mécanonocicepteurs.
- Les **fibres C** encore plus petites et non myélinisées, leur vitesse de conduction est plus faible, elles sont associées aux douleurs plus intenses et prolongées. Elles comprennent les nocicepteurs polymodaux (sensibilité à des stimuli de natures différentes), les mécanorécepteurs et les axones moteurs post-ganglion autonome (Dunlop et Laming, 2005). Chez la truite arc-en-ciel, les fibres A représentent 25% des fibres et sont plus abondantes que les fibres C (environ 4%) tandis que chez les mammifères, ce sont les fibres C qui sont les plus abondantes. Elles diffèrent aussi par leur vitesse de conduction qui est plus lente que celle des mammifères. Ces fibres se retrouvent au niveau du nerf trijumeau (Sneddon, 2002). Elles ont des propriétés similaires à celles des mammifères :
- Des potentiels d'action de forte amplitude et de longue durée ;
- Une dépolarisation lente (De Armentia et al., 2000);
- Leur taille de fibres est du même ordre.

Figure 9: Détail de la position de quelques nocicepteurs au niveau de la tête d'une truite arc-en-ciel.



Source: Yue (2008).

Il est rapporté que chez le poisson rouge le taux d'activité des nocicepteurs peut dépendre de l'intensité du stimulus tandis que chez la truite il n'y a pas d'influence (Dunlop et Laming, 2005). Il existe deux voies majeures par lesquelles le stimulus nocif transite :

- la voie trigéminée qui transmet les informations venant de la tête du poisson ;
- la voie spinothalamique qui transmet les informations venant du reste du corps. Les mécanismes exacts ne sont pas encore clairs.

#### b) Structures cérébrales

La grande différence anatomique du poisson par rapport aux mammifères réside en **l'absence** de néocortex; qui fut un des arguments en faveur de l'absence de douleur du poisson (Rose, 2002). Bien que le néocortex joue chez l'être humain un rôle central dans la sensation de douleur, la perception de la douleur résulte de l'interaction entre le néocortex et des aires cérébrales anciennes du point de vue évolutif, comme le thalamus. Emerge alors l'idée que des zones phylogénétiquement plus anciennes du cerveau, dont les poissons disposent également, soient suffisantes pour une sensation de douleur simple (CENH, 2014).

Sneddon (2003) démontre ainsi que le poisson possède des aires cérébrales nécessaires à la nociception : un pont cérébral, une médulla, un thalamus (qui est essentiel à la perception de douleur chez l'humain). Chez les poissons téléostéens, les hémisphères cérébraux sont développés et possèdent des complexes de projection au diencéphale et au mésencéphale. Le pallium qui est la voûte des hémisphères cérébraux et le subpallium (qui est le télencéphale ventral) reçoivent des informations en provenance du thalamus (Chandroo et al., 2004). Il a d'ailleurs pu être mis en évidence chez le poisson zèbre, la présence de noyaux afférents au pallium et de zones de projections terminales efférentes.

De plus, chez les poissons comme chez les mammifères, se trouve dans le système nerveux et à forte concentration dans le thalamus, la **substance P** qui est un peptide neurotransmetteur qui module la sensibilité à la douleur (Hornby *et al.*, 1987; Sharma *et al.*, 1989; Mattioli *et al.*, 1997). La substance P est produite par les fibres de faible diamètre et est secrétée dans la corne dorsale de la moelle épinière après un stimulus nocif.

#### c) Réponses comportementales

Les réponses comportementales constituent le troisième critère évoqué par Neville (1999) concernant la capacité du poisson à exprimer un comportement d'évitement lorsque qu'il ressent une douleur. Les poissons réagissent différemment à des stimuli stressant; en changeant leur couleur, ou leur mouvement, en nageant plus rapidement ou au contraire en s'immobilisant, ou encore en utilisant une colonne d'eau différente et une profondeur d'eau différente (Sloman *et al.*, 2001; Sloman *et al.*, 2002). Toutefois, ces réactions permettent-elles de conclure que le poisson ressent la douleur ?

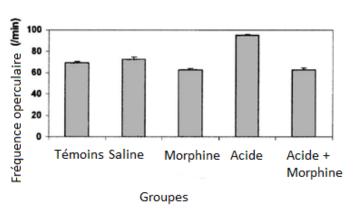
Pour répondre à cette question Sneddon (2009) propose d'étudier la perception de la douleur chez le poisson rouge et chez la truite en s'appuyant sur leur capacité d'apprentissage. Les chercheurs ont utilisé le comportement d'évitement en réponse à un stimulus nociceptif (choc électrique). Les poissons furent placés seuls dans des bacs, et à chaque fois qu'un animal nageait dans une certaine partie du bac, il recevait un choc électrique sur sa peau. En réponse aux chocs électriques, toutes les espèces de poissons montrent des signes de fuite et d'échappement jusqu'à diminuer leur nage, ou s'immobiliser, voire éventuellement à éviter les zones électrifiées. Les scientifiques ont observé que les comportements de fuite et d'évitement changeaient drastiquement quand un poisson de la même espèce était lui aussi présent dans le même bac. Au lieu d'éviter la zone où le choc électrique est appliqué, la truite arc-en-ciel préfère rester dans une zone électrifiée si elle a la possibilité d'être proche de l'individu de la même espèce. Au contraire, le poisson rouge évite quand même les zones

électrifiées. Les scientifiques expliquent cette différence par les degrés de socialisation des animaux. Le poisson rouge n'est d'ailleurs pas une espèce sociale. Les découvertes de cette étude sur la douleur nous montrent que la réponse au stress ne peut être purement un réflexe, puisque les poissons peuvent contrôler leur comportement d'évitement.

# d) Sensibilité aux analgésiques

On s'intéresse ici à la suppression de la réponse à la douleur du poisson par l'action d'analgésique, lorsqu'on applique un stimulus considéré comme douloureux pour l'homme. Il s'agit d'un critère essentiel évoqué par Neville (1999) pour s'assurer que le poisson ressente la douleur. Tout d'abord, il a été mis en évidence la présence de **récepteurs aux opioïdes** chez le poisson (Vecino *et al.*, 1995). De plus, l'expérience de Sneddon (2003) a montré que les comportements de stress (augmentation de la fréquence operculaire, arrêt de l'alimentation) suite à l'injection d'acide acétique au niveau de la lèvre des poissons, pouvaient disparaître grâce à l'administration de morphine (Figure 10).

Figure 10 : Fréquence operculaire chez cinq groupes de poissons ayant reçu des traitements différents.



L.U. Sneddon/Applied Animal Behaviour Science 83 (2003) 153-162

Source: Sneddon (2003).

La douleur est une sensation désagréable qui informe le poisson qu'un dommage tissulaire va avoir lieu ou a eu lieu. Ceci permet à l'animal de se soustraire pour éviter, pour arrêter, ou limiter la lésion. La mise en évidence de l'existence de la douleur du poisson, est une condition nécessaire pour que l'humain accepte de prendre en compte le Bien-être de l'animal. Plusieurs études laissent à penser que les poissons ressentent la douleur. Ils possèdent des nocicepteurs, des voies spinothalamiques et trigéminées transmettant l'information douloureuse jusqu'aux structures centrales. De plus des récepteurs aux opioïdes et une réponse aux analgésiques avec modification du comportement, montrent que la réponse à un stimulus désagréable n'est pas un simple réflexe. L'observation de truites capables d'anticiper la douleur, en modifiant leur comportement est aussi un critère en faveur de leur capacité à ressentir la douleur.

# D) Débat concernant la légitimité de prendre en compte le Bien-être du poisson

# i) <u>Débat concernant la conscience du poisson</u>

Malgré les critères précédemment cités, les scientifiques s'opposent concernant les capacités cognitives du poisson, et ce en raison du manque de connaissances scientifiques. Ainsi, Rose (2002) déclare qu'observer la réponse du poisson à un potentiel stimulus désagréable, et considérer qu'il s'agit d'une « réponse à la douleur » (Sneddon et al., 2003) est une affirmation prématurée. Rose (2002) tire son argumentation en se basant sur la théorie darwinienne et sur l'absence de néocortex du poisson, suggérant qu'il est quasi impossible pour eux de percevoir consciemment la douleur. Chandroo et al. (2004) récusent cette théorie en se basant sur la neurobiologie et la littérature concernant l'éthologie du poisson, et suggère une conscience primitive. De plus, si la présence d'un large et développé néocortex conditionne l'expérience de la douleur comme le suggère Rose(2002), alors cette théorie impliquerait que les oiseaux les amphibiens tout comme d'autres mammifères n'aient pas la capacité de ressentir la douleur, ce qui reste infondé (Gentle, 1992; Machin, 2001; Stevens, 2004). Par ailleurs, Edelman et Tononi (2000) déclarent que les propriétés de la conscience sont liées à un processus nerveux particulier présent au niveau du système thalamo-cortical et non dans le néocortex. Sandoe et al. (2004) concluent qu'en l'absence de certitude, ils laissent à leurs lecteurs la possibilité de conclure sur les suppositions que nous offrent les travaux réalisés. Un autre point qui reste à éclaircir concernant la conscience du poisson reste la possibilité de transposer les résultats obtenus chez les poissons modèles (truite, saumon, poisson zèbre) aux autres poissons. Si les poissons étudiés perçoivent consciemment la douleur, est-ce le cas de tous les poissons ?

# ii) Relation entre Bien-être et valeur attribuée à l'animal

Nous avons précédemment évoqué le manque de connaissances scientifiques qui imposait un débat concernant la conscience du poisson. Toutefois ce n'est pas seulement le manque de connaissances scientifiques qui crée un débat au sein des chercheurs et plus largement des individus. En effet, le Bien-être est un sujet sociétal qui a émergé ces vingt dernières années avec l'intérêt de l'opinion publique concernant les conditions d'élevage et d'abattage des animaux en élevage intensif. Il ne s'agit donc pas seulement de savoir si un animal est capable de souffrir et si nous devons par conséquent prendre en compte son Bien-être, mais aussi de se questionner sur le devoir moral que l'Humain a envers les animaux qu'il élève et la valeur qu'il donne à ces animaux. Le débat repose donc sur des arguments plus profonds qui touchent à l'éthique comme aux croyances. Cette préoccupation morale s'est tout d'abord portée vers les mammifères puis vers les espèces avicoles comme les poules élevées en cage, mais qu'en est-il aujourd'hui des poissons?

La Commission fédérale d'éthique pour la biotechnologie dans le domaine non humain (CENH, 2014) dans un rapport concernant l'utilisation éthique des poissons s'est penchée sur la question du respect moral des poissons indépendamment de leur utilité pour l'être humain. Quels sont les critères décisifs à cet égard? Les poissons répondent-ils à ces critères? Que signifie « devoir respecter un organisme du point de vue moral »? Pour répondre à ces questions, il faut d'abord décrire les possibles valeurs qu'on peut attribuer aux poissons:

1) La valeur instrumentale est celle que l'on accorde à un organisme du fait de son utilité pour l'être humain ou un autre organisme. Le poisson de consommation par exemple, qui d'un point de vue nutritionnel a une valeur instrumentale pour l'humain ;

- 2) La valeur relationnelle résulte du lien qui nous unit à un organisme. Il s'agit d'une valeur immatérielle et sentimentale comme celle d'un amateur possédant une carpe Koï. Aux yeux d'une autre personne l'animal aura moins de valeur ;
- 3) La valeur morale est celle que l'on accorde à un organisme pour lui-même, indépendamment de son utilité ou de la relation qui l'unit à quelqu'un.

La manière dont l'animal est traité dépend aussi de la théorie éthique sur laquelle on se base. Selon les théories éthiques déontologiques, une action est juste si elle est effectuée conformément aux obligations que l'on a envers un individu doté d'une valeur morale. Cette approche est défendue par une large majorité de la CENH (2014).

Il existe d'autres théories éthiques, notamment les théories conséquentialistes, selon lesquelles une action est considérée comme juste ou injuste sur la seule base de ses conséquences pour toutes les parties concernées.

La question est donc de savoir si les poissons ont-une valeur morale ? En d'autres termes : ontils leur place dans le cercle des organismes ayant droit à un respect moral même quand ils ne revêtent aucune valeur instrumentale ni relationnelle à nos yeux ? La réponse à cette question varie en fonction des **positions éthiques adoptées**. On peut citer les positions éthiques principales (CENH, 2014) :

- Les positions anthropocentriques placent l'être humain au centre. Seul l'être humain compte au nom de sa valeur morale. Les poissons n'ont par conséquent aucune valeur morale ;
- Les positions pathocentriques mettent en avant la capacité d'un organisme à éprouver de la douleur et sa sensibilité comme critères éthiquement pertinents pour lui attribuer une valeur morale ;
- Les positions biocentriques respectent moralement tous les organismes au nom de leur valeur morale. Ici, la sensibilité n'est pas une condition nécessaire pour justifier qu'un organisme possède une valeur morale ;
- Les positions écocentriques placent au centre non seulement les organismes, mais aussi la nature comprise comme une interaction vaste et complexe d'entités.

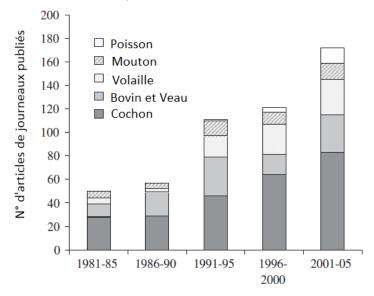
La majorité des membres de la CENH (2014) s'est positionnée en faveur de la **position biocentrique**. Une minorité soutient une position pathocentrique car pour eux la sensibilité, à savoir la capacité de percevoir quelque chose comme négatif pour soi-même, est alors le critère déterminant pour savoir si un organisme possède une valeur morale ou non. Il résulte des positions défendues au sein de la CENH (2014) que nous devons respecter moralement les poissons lorsque nous les utilisons, soit parce qu'ils sont des organismes vivants soit parce qu'ils sont dotés de sensibilité.

Les membres ajoutent aussi une **approche hiérarchique**, ils exigent le respect de l'ensemble des intérêts des organismes dotés d'une valeur morale, mais à des niveaux différents. De ce point de vue, les intérêts des organismes doués d'une plus grande complexité sont considérés comme supérieurs aux intérêts comparables des organismes moins complexes. Cela est habituellement justifié par le fait que la complexité des caractéristiques d'un organisme va de pair avec sa capacité à percevoir quelque chose comme négatif ou de voir ses intérêts lésés. Un problème surgit toutefois, l'argumentation d'une pondération du statut moral des poissons par rapport au statut moral d'autres organismes. Cette position biocentrique donne une valeur morale aux poissons, toutefois l'approche hiérarchique permet de pondérer les propos de la CENH(2014) qui tolère par conséquent l'activité humaine (pêche, pisciculture, expérimentation).

# iii) Vision de l'opinion publique concernant le Bien-être du poisson

Les récents travaux scientifiques sur la sensation de douleur et les capacités cognitives chez les poissons peuvent être vus comme une réaction au malaise moral croissant face aux méthodes de capture et de mise à mort (Millot, 2008). Ainsi le nombre de publications contenant le mot « stress » et « abattage »(slaughter) concernant les poissons a fortement augmenté ces dernières années (Terlouw et al., 2008) (Figure 11). Jusqu'en 1991, aucune publication ne traitait d'ailleurs de ce sujet.

Figure 11: Evolution du nombre de journaux internationaux contenant les mots "stress" et "abattage" (slaughter) en fonction des espèces concernées de 1981 à 2005.



Source: Terlouw et al. (2008).

Des études se sont d'ailleurs intéressées à l'impact qu'avait la notion de Bien-être sur le consommateur. Dans une étude menée sur les consommateurs norvégiens de saumon d'élevage, 60% des ménages interrogés se disent prêts à payer plus cher le poisson qu'ils achètent afin de contribuer au Bien-être de l'animal. Les points retenus comme critères de Bien-être étaient ; l'absence de blessure, la résistance aux maladies, et une alimentation adaptée (Grimsrud *et al.*, 2013).

Quant aux associations de protection animale, elles s'insurgent contre les densités, les maladies, les méthodes de jeûne et d'abattage appliquées en aquaculture. Elles regrettent le manque de précision concernant la législation européenne (L214, 2016). Toutefois, on observe une **amélioration de l'image de l'aquaculture, par les progrès effectués en matière d'impact environnemental**. En effet, le dossier L214 (2017) sur l'aquaculture montre l'évolution de l'alimentation des poissons en élevage par l'utilisation des déchets de pêche halieutique et la hausse de la part végétale des rations distribuées aux poissons. Une des critiques adressées à l'aquaculture était jusque-là la nécessité de s'approvisionner en poissons halieutiques pour nourrir les poissons d'élevage. Aujourd'hui, l'aquaculture s'est détournée de ce mode d'approvisionnement.

#### **Conclusion:**

Le Bien-être est un sujet d'actualité et de société comme le montre l'évolution du nombre de publications à ce sujet (Terlouw et al., 2008). En effet, la conscience du poisson, sa capacité à ressentir la douleur, ou le stress ont été au cœur de nombreux débats (Rose, 2002; Sneddon, 2003). Pourtant, même si certains mécanismes doivent encore être éclaircis, la mise en évidence d'analogies anatomiques, physiologiques et comportementales souligne la capacité du poisson à développer des réactions de stress et de douleur. Le signal stressant est perçu par l'animal grâce à ses sens par l'intermédiaire de récepteurs périphériques, il subit une transmission périphérique par le thalamus et le striatum puis est intégré au niveau central dans la région postéro-dorsale du télencéphale : on parle d'axe thalamo-striato-cortical. Si le signal est ressenti comme étant stressant, les axes hypothalamohyposo-interrénale et sympatho-chromaffines sont activés, dont la conséquence est la libération de cortisol et d'adrénaline. Cette réponse neuro-endocrine au stress constitue la réponse primaire (Sumpter, 1977; Weld et al., 1987; Okawara et al., 1992; Millot, 2008). La réponse primaire déclenche une réponse secondaire qui est la modification des indices physiologiques du poisson. A long terme, des effets chroniques du stress sur la reproduction, la croissance, et l'immunocompétence du poisson sont observés, on parle alors de réponse tertiaire au stress (Barton et Iwama, 1991). Outre la découverte de structures neuroanatomiques participant au stress de l'animal, l'existence de structures permettant aussi au poisson de ressentir la douleur (Sneddon, 2002), a été une avancée dans la prise en compte du bien-être des poissons. En effet, lorsque le signal est perçu comme agressif pouvant provoquer des dommages tissulaires, les nocicepteurs sont stimulés, le message passe par les voies spinothalamique et trijuminale, pour atteindre le pallium et subpallium (Chandroo et al., 2004). L'usage d'analgésiques permettrait alors de diminuer la douleur ressentie en agissant sur des récepteurs aux opioïdes que possède le poisson. La mise en évidence scientifique de l'existence de la douleur, ou du stress du poisson n'est pas la seule condition à la prise en compte de leur Bien-être. Il ne s'agit pas seulement de savoir si un animal est capable de souffrir et si nous devons par conséquent prendre en compte son Bien-être, mais aussi de se questionner sur le devoir moral que l'Humain a envers les animaux qu'il élève et la valeur qu'il donne à ces animaux (CENH, 2014). Le débat repose donc sur des arguments plus profonds qui touchent à l'éthique.

La question est donc de savoir pour quelle raison il faudrait respecter l'animal et donc la valeur que l'on lui donne. Si on accorde une valeur instrumentale au poisson, on considère qu'il n'a d'intérêt que par l'avantage qu'il nous apporte, un intérêt alimentaire ou pour le loisir s'il s'agit de pêche sportive, s'il s'agit d'une valeur relationnelle, on lui accorde une valeur quasi affective, enfin lorsque le poisson a une valeur morale, on considère qu'il a une valeur en tant qu'être vivant sans rapport à l'être humain. Le choix d'accorder une valeur instrumentale, relationnelle ou morale à un animal dépend de la position que l'on adopte. Il semble que la position actuelle, qui est celle partagée par des associations de défense des animaux, est une position biocentrique, où chaque organisme a une valeur ne dépendant pas de sa sensibilité, mais du fait qu'il soit vivant. L'approche développée au travers de la notion d'élevage est une approche hiérarchique, qui permet de justifier une utilisation du poisson pour l'homme même si cela restreint le Bien-être de l'animal.

# II- Réglementation concernant le Bien-être du poisson

# A) Les acteurs de l'amélioration du Bien-être d'un point de vue réglementaire

L'impulsion en matière d'amélioration du Bien-être des animaux est souvent du ressort de l'Europe. Ainsi au niveau européen, c'est la Direction Générale «Santé et Protection des Consommateurs» (DG SANCO) qui est en charge de l'évolution de la réglementation sur la protection des animaux dans les élevages. La DG SANCO propose des textes (directives ou règlements) qui sont ensuite discutés au Parlement européen. La décision finale revient au Conseil des ministres de l'Agriculture. Puis, les pays de l'Union Européenne transposent (pour les directives) ou appliquent directement (pour les règlements) cette réglementation dans le droit national. L'OIE (organisation mondiale de la santé animale) quant à elle, élabore les documents normatifs relatifs aux règles utilisables par les Pays Membres. Parmi les principaux ouvrages normatifs produits par l'OIE figure le Code sanitaire international pour les animaux aquatiques (OIE, 1995). Les normes de l'OIE sont reconnues par l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC) en tant que règles sanitaires internationales de référence. Elles sont élaborées par des commissions spécialisées élues et des groupes de travail regroupant des scientifiques mondiaux dont la plupart sont des experts. Ces normes sont adoptées par l'Assemblée mondiale des délégués.

# B) Le statut actuel du poisson

La loi française dite «nature» du 10 juillet 1976, stipule que «tout animal, doit être placé par son propriétaire dans des conditions compatibles avec les impératifs biologiques de son espèce». Elle interdit donc d'exercer des «mauvais traitements envers les animaux domestiques ainsi qu'envers les animaux sauvages apprivoisés ou tenus en captivité» et rend nécessaire de «leur éviter des souffrances lors des manipulations inhérentes aux diverses techniques d'élevage, de parcage, de transport et d'abattage» (articles 214-1 et 214-3 du Code Rural). Le traité d'Amsterdam (Union Européenne, 1999) quant à lui, a fait passer les animaux d'un statut de biens marchands à celui d'êtres sensibles. En France, cette reconnaissance de la sensibilité est actée en 2015, où le Code civil reconnaît que les animaux sont des êtres doués de sensibilité mais qui restent soumis au régime des biens.

#### C) Les recommandations de l'OIE

L'OIE (article 7.1.1 sur le Bien-être des poissons en élevage) considère que les poissons :

- contribuent au Bien-être de l'Homme. La valeur attribuée à l'animal est donc une valeur relationnelle et instrumentale ;
- ont une santé qui dépend en partie de leur Bien-être. Le Bien-être est alors décrit comme une mesure prophylactique ;
- que le respect de leur Bien-être participe à leur productivité en élevage et donc peut être « source d'avantages économiques ». Le poisson est donc associé à une valeur économique et donc instrumentale. Ces raisons poussent l'organisation à élaborer des lignes directrices concernant le transport, l'abattage et la manutention des animaux.

# i) <u>Transport</u>

# a) Responsabilités des acteurs

De façon générale, l'OIE donne des **responsabilités** à « l'autorité compétente », aux propriétaires et gérants d'établissement où sont détenus les animaux et aux transporteurs (OIE, 2017). L'autorité compétente doit :

- établir des normes minimales ;
- imposer un examen clinique pré, pendant, et après le transport ;
- organiser la certification et la formation du personnel, tout comme la traçabilité par des registres des animaux ;
- veiller à ce que les règles soient respectées.

Les propriétaires et gérants des établissements où sont détenus les poissons doivent :

- assurer la santé générale des poissons, par des conditions de Bien-être satisfaisantes ;
- faire en sorte que le personnel qui charge ou décharge les poissons soit formé afin de limiter les blessures et le stress ;
- définir un plan d'urgence, afin d'abattre si nécessaire de façon « appropriée » les poissons à chaque étape du transport.

Les transporteurs doivent utiliser un véhicule bien entretenu et adapté à l'espèce à transporter.

# b) Compétences des transporteurs

Concernant les connaissances obligatoires que l'autorité compétente doit s'assurer d'apporter au personnel en charge du transport, la formation comprend une partie pratique et une partie théorique concernant :

- le comportement, la physiologie et les signes évocateurs de maladie ou d'altération du Bien-être animal ;
- l'utilisation et l'entretien du matériel assurant la santé et le Bien-être des poissons ;
- la qualité de l'eau et les procédures correctes de renouvellement de l'eau ;
- les méthodes de manipulation des poissons vivants pendant le transport, le chargement et le déchargement (avec les caractéristiques d'espèces, s'il y a lieu) ;
- les méthodes d'inspection des poissons et la gestion des problèmes fréquemment rencontrés pendant les transports, comme les variations des paramètres qualitatifs de l'eau, les intempéries et les interventions d'urgence ;
- les méthodes convenables de mise à mort ;
- la tenue de carnets de route et de registres.

# c) Critères du transport

## Maitrise et gestion du transport

#### Le transport doit être planifié. Ainsi doivent être définis en amont :

- le type de véhicule et de matériel. Il est conseillé de choisir un véhicule capable de contenir les densités calculées scientifiquement pour respecter le Bien-être des animaux. L'équipement doit aussi

être vérifié et bien conçu afin d'éviter les blessures des animaux (exemple : l'angle d'une pompe à poissons) ;

- l'itinéraire et la durée du transport ;
- l'évaluation des besoins d'acclimatation des poissons à la qualité de l'eau au site de déchargement ;
- les soins éventuels requis par les poissons pendant le transport ;
- les procédures d'intervention d'urgence relatives au Bien-être des poissons ;
- le niveau de sécurité biologique requis (procédures de nettoyage et de désinfection, points de renouvellement de l'eau, traitement de l'eau de transport entre autres). Le but étant de maintenir une qualité d'eau en accord avec le Bien-être des animaux, que l'acclimatation après déchargement soit facile et qu'en cas d'incident le stress des animaux ne perdure pas grâce à des plans d'urgence.

Les **véhicules** doivent répondre aux besoins des poissons, pour cela ils doivent:

- être adaptés à l'espèce, au poids et au nombre de poissons. Ces données doivent avoir été établies scientifiquement ;
- être en bon état ;
- contenir un système de distribution d'eau et d'oxygène capable de répondre aux besoins des poissons quelles que soient les circonstances du trajet ;
- fournir un accès simple aux poissons afin d'être capable de vérifier à tout moment du transport leur état et le maintien du Bien-être ;
- comporter un matériel de manipulation des animaux (pompe, filet etc.) conçu et entretenu pour ne pas causer de blessures aux poissons. La conception du véhicule et la qualité du milieu de transport doivent permettre d'éviter les blessures et le stress, afin de respecter le Bien-être du poisson (Figure 12).

Figure 12 : Camion de transport de poissons vivants.



Source: https://pisciculture-beaume.com/tarif-pisciculture-carpes-truites-sandres-amours-gardons/.

# L'eau utilisée quant à elle doit aussi répondre à plusieurs critères :

- ses caractéristiques (notamment teneur en O<sub>2</sub>, en CO<sub>2</sub> et en NH<sub>3</sub>, pH, température, salinité) doivent être adaptées à l'espèce transportée et à la méthode de transport.
- un équipement de contrôle de la qualité de l'eau doit être présent lors du transport.
- lors du déchargement, il est bienvenu d'acclimater le poisson à la nouvelle eau présente dans les bassins. Le but étant de maintenir et de surveiller la qualité de l'eau, pour qu'une détérioration du milieu de vie n'affecte pas le Bien-être du poisson.

# • Gestion des poissons

Nous venons de décrire les recommandations concernant les véhicules transportant les poissons et leur milieu de transport, ainsi que les mesures imposées au personnel qui intervient lors du transport. Mais qu'en est-il des poissons en eux-mêmes ? Les poissons doivent avoir subi une période de préparation au transport :

- un jeûne, qui doit tenir compte de l'espèce et du stade de développement des animaux. Ceci permettrait de maintenir une bonne qualité de l'eau en limitant les fèces lors du transport.
- un contrôle de la capacité des poissons à être transportés. Certains seront considérés inaptes lorsqu'une maladie est déclarée, lorsqu'il y'a présence de blessures visibles, lorsqu'ils présentent un comportement inhabituel, ou après une exposition récente à un facteur de stress comme une hausse de température.
- une acclimatation à l'eau de transport pour certaines espèces.

#### Après le transport, les poissons sont à surveiller :

- les poissons déchargés doivent être observés par un technicien.
- les poissons blessés doivent être éliminés dans des conditions adéquates comme lors du plan d'urgence.
- les poissons présentant des signes cliniques doivent être évalués par un vétérinaire ou personne compétente, et s'il est décidé qu'ils soient éliminés alors là encore les conditions d'abattage doivent être adéquates.

L'intérêt de ces mesures est que les poissons voyagent dans les meilleures conditions, en évitant à un poisson déjà affaibli de subir le stress lié au transport.

#### ii) Arrivée au centre de rassemblement des poissons

Le lieu d'arrivée des poissons est le centre de rassemblement, et d'abattage (Figure 13). Les animaux y sont déchargés des véhicules de transport et restent dans des bassins avant d'être abattus. L'OIE définit certaines recommandations de base, concernant ces étapes.

Figure 13 : Déchargement des truites après transport.



Source: http://www.mathonet-gabriel.be/pages/11\_1-Production.html.

#### a) Compétence du personnel

Tout comme le transport, le personnel assurant la manipulation, l'étourdissement et la mise à mort doit être formé spécifiquement. Toutefois il n'y a pas de critères aussi détaillés que pour le transport. Le but est de manipuler les poissons de façon à limiter leur stress.

### b) Structures

Les locaux doivent être construits en fonction de l'espèce. Leur taille dépend de la capacité d'abattage du site. Ceci permettra d'éviter que les animaux ne restent trop longtemps dans des eaux à forte densité si les capacités d'abattage sont faibles et donc vise à améliorer le Bien-être des poissons. Au sein des locaux d'hébergement, les filets et bassins doivent être conçus et entretenus pour limiter les blessures de même pour les pompes et tuyaux, tout comme lors du transport.

# c) Opérations de chargement, transfert, déchargement

Ces étapes doivent se dérouler dans des conditions minimisant les risques de blessures et de stress. En cas de dysfonctionnement, tout comme pour le transport, un plan d'urgence doit être prévu pour réduire le stress des animaux.

#### Paramètres physiques à contrôler

Une **analyse de l'eau est à réaliser** (exemple : température, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, pH et salinité) à l'arrivée des poissons, avant déchargement, en cas de valeurs non adéquates, des mesures correctives doivent être mises en place. En plus d'un matériel entretenu ne lésant pas l'animal, des paramètres tels que la hauteur, la pression, la vitesse de pompage doivent être ajustés pour ne pas nuire à l'animal. Ces recommandations visent à fournir un environnement non stressant au poisson afin de respecter son Bien-être.

### Concernant les animaux eux-mêmes

Avant de transférer les animaux vers la machine d'étourdissement et ou d'abattage, les poissons en mauvais état doivent être séparés et éliminés comme après le transport, dans des conditions adéquates dîtes « humainement acceptables » par l'OIE.

Le jeûne des poissons ne doit pas être « trop long » (aucune durée précise n'est donnée), comparé à ce qui est nécessaire pour vider les viscères et améliorer les propriétés organoleptiques du produit. En effet l'une des libertés du Bien-être est l'absence de faim, ainsi limiter le jeûne permet de limiter le stress nutritionnel.

# iii) <u>Etourdissement et abattage</u>

Une fois, déchargés, les animaux sont transférés pour être étourdis et/ou abattus. L'OIE recommande que les poissons d'élevage soient étourdis avant l'abattage. La méthode d'étourdissement doit engendrer une perte de conscience immédiate et irréversible, si ce n'est pas le cas les poissons doivent être abattus avant de pouvoir reprendre conscience. Pour s'assurer de cette perte de conscience et donc vérifier que l'étourdissement est correct, il faut observer l'arrêt des

mouvements corporels et operculaires associés à la respiration, et la perte du réflexe vestibulooculaire, c'est-à-dire que le regard ne se stabilise pas lors du mouvement de la tête.

L'OIE déclare que la méthode d'abattage doit être adaptée à l'espèce et ce grâce à des connaissances scientifiques (Tableau 6,

- ). Ainsi à chaque espèce correspond une méthode d'étourdissement/ abattage :
- la percussion ou l'électrocution pour la carpe et les salmonidés ;
- l'électrocution pour l'anguille ;
- la décérébration à l'aide d'une pointe ou d'un emporte-pièce ou bien le tir à balle pour le thon.

L'OIE définit pour chacune de ces méthodes des points à respecter, afin que l'animal subisse le moins de stress possible. En cas de dysfonctionnement, un dispositif d'étourdissement de secours doit être mis en place. En cas de retard prévisible de l'abattage, l'étourdissement doit aussi être retardé afin que des poissons étourdis ne reprennent pas conscience.

Tableau 5 : Synthèse des méthodes d'abattage/étourdissement électriques.

Méthode	Préoccupations et	Avantages	Désavantages
spécifique	impératifs majeurs de la		
•	protection animale		
Electrocution	- Application d'un courant	- Perte immédiate de	- Difficulté de
	électrique d'intensité, de	conscience.	standardisation de
	fréquence et de durée	- Convient à des	cette méthode.
	suffisante pour causer une	poissons de taille	- Paramètres
	perte de conscience	petite à moyenne.	optimaux inconnus
	immédiate.	- Convient pour	pour certaines
	- Attention à ce que le	abattre un grand	espèces.
	matériel soit entretenu et	nombre de poissons	
	conçu de manière	sans les retirer de	
	appropriée.	l'eau.	
Electronarcose	- Application d'un courant	- Contrôle visuel de	- Etourdissement
	électrique d'intensité, de	l'étourdissement.	partiel du poisson s'il
	fréquence et de durée	- Possibilité d'étourdir	est mal positionné.
	suffisante pour causer une	une nouvelle fois les	- Paramètres
	perte de conscience	poissons et de façon	optimaux inconnus
	immédiate.	individuelle.	pour certaines
	- Attention à ce que le		espèces.
	matériel soit entretenu et		- Ne convient pas aux
	conçu de manière		lots de poissons de
	appropriée.		taille hétérogène.
	- Présentation du poisson		
	par la tête afin de favoriser		
	l'électrocution du cerveau.		

Source: OIE (2016).

Tableau 6: Avantages et inconvénients des méthodes d'abattage/étourdissement mécaniques.

Méthode	Préoccupations et	Avantages	Désavantages
spécifique	impératifs majeurs		
speemque	de la protection		
	animale		
Percussion	- Poissons à retirer	- Perte immédiate de	- Compliqué si les
	rapidement de l'eau.	conscience.	animaux se débattent.
	- Poissons	- Convient aux	- Etourdissement partiel
	immobilisés et	poissons moyens à	si le coup n'est pas assez
	assommés à l'aide	grands.	puissant.
	d'un objet		-Méthode manuelle
	contendant ou d'un		impossible à employer
	pistolet à percussion		sur de nombreux
	automatique.		poissons de taille
	- Coup suffisamment		hétérogène.
	fort pour que la perte		
	de conscience soit		
	immédiate.		
Décérébration à	- Poissons à retirer	- Perte immédiate de	- Compliqué si les
l'aide d'une pointe	rapidement de l'eau.	conscience.	animaux se débattent.
ou d'un emporte-	- Positionnement de	- Convient aux	- Mauvaise pénétration
pièce	la pointe au niveau	poissons moyens à	et blessures, si l'animal
	du cerveau pour	grands.	est mal positionné.
	assurer une perte de	- Décérébration sous	-Méthode <b>impossible à</b>
	conscience	l'eau pour éviter	employer sur de
	immédiate.	l'exposition à l'air des	nombreux poissons.
	- Immobiliser	petits thons.	
	préalablement	- « Point mou » entre	
	l'animal pour insérer	les deux yeux du thon	
	correctement la	facilite la pénétration	
	pointe.	de la pointe.	
Tir à balle	- Viser correctement	- Perte immédiate de	- Distance de tirs et
	<b>le cerveau</b> du	conscience.	calibre des armes à
	poisson.	- Parfaitement	adapter aux poissons.
	- Distance opérateur-	adaptée aux grands	- Stress chez les
	poisson la plus courte	poissons comme le	congénères.
	possible.	thon.	

Source : OIE (2016).

# D) Règlementation européenne

# i) <u>Transport</u>

Nous venons de voir les références de l'OIE concernant le Bien-être des poissons lors du transport et de l'abattage. Qu'en est-il de l'application de ces recommandations dans le droit européen? Le Règlement (CE) n° 1/2005 du Conseil du 22 décembre 2004 (UE, 2004) relatif à la protection des animaux pendant le transport et les opérations annexes, fait suite à directive 91/628/CEE du Conseil d'Europe du 19 novembre 1991 relative à la protection des animaux en cours de transport. Ce texte stipule que «nul ne transporte ou ne fait transporter des animaux dans des conditions telles qu'ils risquent d'être blessés ou de subir des souffrances inutiles».

Les axes développés dans ce règlement sont les mêmes que ceux donnés par l'OIE à savoir :

- limiter les durées de transports des animaux et répondre à leurs besoins, en s'appuyant sur des données scientifiques ;
- des structures et véhicules conçus pour éviter les blessures, et respecter le Bien-être des animaux.
- des inspections et contrôles des animaux et véhicules ;
- des documents administratifs permettant le suivi des animaux (certificats, autorisations etc.);
- une formation permettant aux personnes manipulant les animaux, d'acquérir des connaissances en matière de Bien-être des poissons et d'être capables de reconnaitre des signes de stress et de corriger les paramètres du milieu en conséquence ;
- une responsabilité fixée aux autorités compétentes.

Toutefois l'accent est porté sur le côté administratif : contenu des documents relatifs au transport (heure de départ, origine des animaux etc.), demande d'autorisation, délivrance d'autorisation, responsabilités, et sanctions en cas de non-respect des règles de biosécurité etc. Peu de détails sont fournis concernant les densités exactes à respecter, le matériel nécessaire, et la durée exacte du transport des poissons etc. En comparaison, le Règlement (CE) N° 1/2005 donne des densités maximales autorisées, des températures, des durées de transports maximales, ainsi que des normes de conception des camions de transport, précises, en fonction de l'espèce considérée, pour les équidés, les bovins et ovins, les lagomorphes et volailles (Figure 14).

Transport 12h max Volailles et lapins\* Déchargement, repos, eau, nourriture 481 Veaux, agneaux Transport 9h Transport 9h Déchargement, repos, eau, nourriture 24h chevreaux et porcelets h 111 Repos + eau Déchargement, repos, eau, nourriture 24h Transport 24h + eau en permanence 24h Chevaux et équidés Transport 8h Déchargement, repos, eau, nourriture 24h non enregistrés 3 8h **24**h eau Bovins, ovins et caprins Transport 14h Déchargement, repos, eau, nourriture 24h Transport 14h  $24^{h}$ Repos + eau

Figure 14: Règlementation concernant le transport des animaux d'élevage, poissons exclus.

 $Source: http://www.cantal.gouv.fr/transport-d-animaux-vivants-r1643.html?page=rubrique\&id\_rubrique=1643\&id\_article=2155.$ 

# ii) <u>Abattage</u>

Le Règlement (CE) n° 1099/2009 du Conseil du 24 septembre 2009 (UE, 2009) sur la protection des animaux au moment de leur mise à mort reconnait que l'abattage peut créer chez l'animal douleur et stress et que par conséquent un étourdissement doit être effectué avant la mise à mort. Toutefois « Les recommandations (de l'EFSA) relatives aux poissons d'élevage n'ont pas été incluses dans ce présent règlement, parce que de plus amples avis scientifiques sont nécessaires et qu'une évaluation économique plus approfondie s'impose dans ce domaine ».

# E) Transposition dans le droit français

Nous venons de donner les grandes lignes de la législation européenne concernant le Bien-être des poissons d'élevage lors de certaines étapes. Qu'en est-il de la législation française ? Dans le droit de l'Union européenne, un règlement est obligatoire dans tous ses éléments dès son entrée en vigueur, ceci signifie qu'il est directement applicable sans aucune mesure de transcription nationale ; contrairement à la directive qui est un objectif de l'Union à transposer dans le droit national sous un délai déterminé. Par conséquent, la France se doit de respecter le Règlement (CE) n° 1/2005 relatif à la protection des animaux pendant le transport et les opérations annexes.

Etant donné le manque de cadre législatif concernant l'élevage de poissons, comparé à celui de mammifères par exemple, des organisations indépendantes se sont mobilisées afin d'élaborer un guide à destination des éleveurs piscicoles. La FFA (fédération française d'aquaculture), l'UNPSA (union nationale aquacole de prévention sanitaire), la CIPA (comité interprofessionnel des produits de l'aquaculture), la DPMA (directions des pêches maritimes et de l'aquaculture), et l'OFIMER (office national des produits de l'aquaculture) en association avec la DGAL (direction générale de l'alimentation, qui dépend du ministère français de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt) et des vétérinaires aquacoles ont permis l'élaboration du **Guide de bonnes pratiques sanitaires** 

piscicoles (GBPSP) (Borde, 2004). Le but était de fournir à l'éleveur un support concernant les points clefs de la conduite d'élevage afin de maintenir un bon état sanitaire de l'exploitation piscicole. Le Bien-être du poisson y est évoqué car « la réduction des facteurs de stress réduit le risque de déclenchement de la maladie ».

La réglementation française est assez évasive au sujet des pratiques d'élevage en pisciculture, cependant il existe des normes précises relatives à la qualité de l'eau, et par conséquent au milieu de vie des poissons en aquaculture grâce à la loi **LEMA** (loi sur l'eau et les milieux aquatiques), loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006. Cependant, les objectifs définis dans cette loi devaient être atteints en 2015, et un recours fut possible en cas d'impossibilité de réaliser les objectifs, pour reculer l'échéance à 2021, et 2027.

# F) Certifications

Etant donné le manque de précision concernant la réglementation en pisciculture, les normes suivies par les éleveurs sont souvent celles établies par les labels. Les labels permettent aussi d'offrir une image de qualité au produit et répondent à la demande du consommateur (Grimsrud *et al.*, 2013). Plusieurs certifications de qualité existent dont : le Label Rouge, le Label Bio, la Filière Qualité Carrefour, la certification Aquaculture de Nos Régions. Dans la suite de ce travail, sera développé le cahier des charges du Label Rouge en élevage de turbots et saumons (il n'existe plus d'élevage de truites Label Rouge), ainsi que le Label Bio, les autres certifications n'ayant pas souhaité communiquer leur cahier des charges. Les Labels Rouge et Bio, appliquent certaines des recommandations de l'OIE comme l'élimination des poissons moribonds avant le transport, et l'étourdissement obligatoire en Label bio. En effet, l'étourdissement n'est pas toujours réalisé dans les élevages standards, et le Label Rouge ne rend pas cette pratique obligatoire. Le Respect du Bien-être est un argument cité pour justifier les techniques de pêches, de transport et les techniques d'abattage préconisées par les programmes de certification (Tableau 7).

Tableau 7: Comparaison des normes obligatoires établies par les Labels Rouge et Bio concernant la manipulation des poissons, leur transport, et leur abattage.

	Label Rouge	Label Bio
Opérations préalables au transport	- Plusieurs tris préalables doivent permettre d'éliminer les poissons moribonds, blessés et malformés avant le transport Les animaux sont pêchés à l'épuisette afin de « ménager leur intégrité ». Si la pêche est compliquée il est possible d'abaisser le niveau d'eau des bassins, afin d'éviter le stress des poissons.	- La manipulation ne doit pas être « stressante » pour le poisson et il faut « veiller à ne pas faire souffrir les animaux inutilement lors de la capture » Les reproducteurs seront anesthésiés pour le transport.
Jeûne	- La durée du <b>jeûne</b> est de maximum <b>6 jours</b> pour le turbot et de maximum <b>10 jours</b> pour le saumon label rouge. (N.B : en élevage standard de saumon il varie entre 3 et 21 jours).	- La durée du <b>jeûne</b> est de <b>2 à 6 jours</b> maximum.
Caractéristiques du milieu de transport	- La densité de transport doit être inférieure à <b>100</b> kg/m3 pour les saumons.	<ul> <li>La densité de transport doit être de 400kg/ m3 pour la carpe et de 170 kg/ m3 pour les autres poissons, « afin respecter le Bien-être des poissons ».</li> <li>L'oxygénation et/ ou l'aération sont autorisées.</li> <li>Les caractéristiques de l'eau doivent répondre aux besoins physiologiques des animaux (température optimale, concentration en oxygène dissous).</li> </ul>
Abattage	-L'âge minimal est de 17 mois et le poids minimal de 400g pour le turbot, et de 12 à 24 mois pour le saumonLa saignée, puis l'immersion après rinçage dans un bain d'eau glacée, à une température proche de 0°C est la méthode utilisée pour le turbot censée « limiter le stress lors de l'abattage car il y' a une perte de conscience rapide par l'arrêt de l'irrigation du cerveau »La percussion et la saignée doivent être effectuées dans les trente secondes qui suivent la sortie du saumon de l'eau.	-L'étourdissement est obligatoire par choc électrique, un choc sur la tête, un engourdissement par le froid, ou par asphyxie en milieu aquatique, enrichi en dioxyde de carbone. -La saignée/et ou l'éviscération sont par la suite réalisées.

Source: DGPEI (2007); Association Turbot Qualité (2010), Scottish Quality Salmon (2013).

# G) Exemple des autres pays

Comme nous l'avons vu précédemment, l'application des directives européennes est fonction du pays. Ainsi, en matière de Bien-être, certains pays sont précurseurs. Une publication s'est d'ailleurs intéressée au Bien-être des poissons dans un contexte de mondialisation. Il en ressort que **la notion de Bien-être dépend du pays** importateur et exportateur, et de la taille du pays au sein du marché mondial (Nielsen, 2009). Pour lutter contre ces différences, la Suisse a décidé que seuls les poissons capturés et tués selon des méthodes répondant à ses propres exigences, pourraient être importés. Certaines mesures de protection du Bien-être des poissons, comme l'interdiction de la pêche-sportive nommée «no-kill» qui consiste à pêcher un poisson puis à le relâcher mais causant une lésion au niveau de l'hameçon et possiblement un stress pour le poisson, ont été interdites en Suisse et en Allemagne. De plus l'Allemagne a interdit depuis 1999, le bain salé d'anguilles vivantes, puisque cette pratique portait atteinte au Bien-être des poissons. Ces exigences de Bien-être ne sont pas communes à tous les pays européens.

D'autre part, l'affiliation des éleveurs à un programme de certification synonyme de qualité et de Bien-être du poisson d'élevage, ne fédère pas autant d'éleveurs partout en Europe. En 2007, la grande majorité des éleveurs de poisson du Royaume-Uni, était affiliée à un programme de certification, ce qui n'est pas le cas en France (Veissier et Boissy, 2007).

#### **Conclusion:**

L'impulsion concernant la réglementation au sujet du Bien-être des poissons vient de l'Europe. La DG SANCO propose des textes qui sont par la suite proposés au Parlement européen. Il convient ensuite aux pays de transposer ces textes en directives ou règlements. L'OIE, organisation mondiale de la santé animale, élabore quant à elle des références, et a publié un texte normatif : le Code sanitaire des animaux aquatiques (1995). Ce texte élabore des recommandations concernant le transport, la qualité de l'eau, des installations et du matériel, ainsi que les pratiques nécessaires à la vérification du Bien-être des poissons. Un descriptif des méthodes d'abattage et de leurs inconvénients pour le Bien-être des animaux y 'est publié. Il y 'est conseillé d'effectuer un étourdissement avant abattage. Ces recommandations ont permis d'élaborer le Règlement (CE) nº 1/2005 du Conseil du 22 décembre 2004 relatif à la protection des animaux pendant le transport et les opérations annexes dont les axes développés correspondent aux recommandations de l'OIE (conception des structures et matériels en contact avec les poissons, inspection des poissons, formation et responsabilité des acteurs de la filière). Toutefois, en Europe, l'accent est porté sur le côté administratif et peu de détails sont fournis concernant les densités exactes à respecter, le matériel nécessaire, et la durée exacte du transport des poissons etc. En comparaison, le même Règlement (CE) N° 1/2005 a fourni des durées, densité, températures précises pour le transport de porcins, bovins, équins, ovins, poules. De même, le Règlement (CE) n° 1099/2009 du Conseil du 24 septembre 2009 sur la protection des animaux au moment de leur mise à mort ne fournit pas de recommandation concernant l'abattage des poissons et ce en raison d'un «manque d'information et de recul sur les impacts économiques». Les poissons font donc exception en matière de protection par le droit européen. La France se doit d'appliquer ces règlements européens. Toutefois le manque de précisions concernant les pratiques d'élevage en aquaculture et l'intérêt croissant des consommateurs pour le Bien-être des animaux en élevage, amènent les éleveurs à se tourner vers des normes établies par les organismes de certification (Label Rouge, Label Bio). D'autres références ont été publiées grâce à la coopération de différents acteurs de la filière aquacole, de groupements d'éleveurs et la participation de vétérinaires aquacoles, comme le Guide des bonnes pratiques sanitaires piscicoles (Borde, 2004).

# III- Gestion du milieu d'élevage et Bien-être

Nous venons d'évoquer l'existence de documents normatifs concernant les conditions d'élevage comme le Code sanitaire des animaux aquatiques (1995) et le Guide des bonnes pratiques sanitaires piscicoles (2004). L'objectif du Guide des bonnes pratiques est de fournir à l'éleveur des conseils pour atteindre des paramètres d'élevage satisfaisants. Quels sont donc les paramètres d'élevage et donc du milieu de vie du poisson qui sont conformes au Bien-être des poissons en aquaculture ? La qualité de l'eau a une importance fondamentale pour le Bien-être. Une mauvaise maitrise des paramètres de l'eau peut causer l'apparition de maladies ou d'une plus grande mortalité sur le long terme, ainsi que d'autres effets néfastes médiés par le stress. La qualité de l'eau doit être parfaitement maitrisée par l'éleveur surtout dans les circuits fermés où l'eau recircule dans les bassins après avoir été traitée. Il est important de prêter attention à la qualité de l'eau, en ce qui concerne donc l'approvisionnement en eau des bassins, et l'influence des pratiques d'élevage.

Les paramètres de l'eau peuvent être classés en trois catégories en fonction du contrôle que peut exercer l'éleveur dessus (Brandson, 2008):

- la première catégorie se rattache aux paramètres qui dépendent du traitement de l'eau, et sont donc très largement sous contrôle, par ordre d'importance pour le Bien-être du poisson il s'agit de l'oxygène, de l'ammoniac, du dioxyde de carbone, des nitrites et nitrates;
- la seconde catégorie se rattache aux paramètres reliés à la chimie de l'eau qui approvisionne les bassins, ils ne sont donc pas sous contrôle de l'éleveur, par exemple : l'acidité, l'alcalinité, la dureté de l'eau, sa température, la conductivité, ou encore la concentration en métaux lourds ;
- la troisième catégorie se rattache à des paramètres qui reflètent les pratiques de l'éleveur et l'arrivée d'eau. Il s'agit par exemple : des solides en suspension et de la sursaturation gaz.

Les critères de Bien-être peuvent être différents selon l'espèce de poisson étudiée (température de l'eau, densité etc). Les paramètres de l'eau listés dans la suite de ce travail, s'appuieront le plus souvent sur l'exemple des salmonidés et en particulièr de la truite arc-en-ciel, espèce exigeante en termes de qualité de milieu d'élevage et largement représentée en France.

# A) Première catégorie de paramètres de l'eau

# i) <u>Concentration de l'eau en oxygène (O.D= oxygène dissous)</u>

L'oxygène se diffuse passivement depuis l'atmosphère dans l'eau, et la quantité maximale d'oxygène dissous dépend d'un grand nombre de paramètres : la température, la salinité, et l'altitude. Le sang du poisson s'enrichit en oxygène grâce à un transfert passif, selon un gradient de concentration (Colt et Tomasso, 2001).

# a) Hypoxie

# Conséquences pour le poisson

Si la concentration en oxygène dissous chute en dessous des besoins du poisson, le poisson ne peut plus convertir l'énergie qu'il reçoit, et il en résulte une baisse de la croissance, de l'efficacité alimentaire, et des capacités de nage (Jones, 1971). La fréquence des mouvements operculaires augmente lorsque la concentration en oxygène dissous diminue ce que l'on pourrait comparer à un halètement (Wedemeyer, 1996). Il a été montré que les salmonidés présentent un comportement d'évitement des faibles concentrations en oxygène(Levy et al., 1989) et qu'on peut donc observer un changement dans la distribution des poissons dans l'espace, avec des poissons qui se dirigent vers la surface de l'eau où la concentration en oxygène dissous est plus élevée (Wedemeyer, 1996).

Quand la teneur en oxygène dissous approche une concentration si faible qu'elle est létale, le poisson présente de l'anorexie, une détresse respiratoire associée à l'hypoxie des tissus. Si ces conditions sont maintenues l'animal perd conscience et finit par mourir (Wedemeyer, 1996).

L'hypoxie pourrait aussi avoir un impact sur les maladies infectieuses; ainsi chez les salmonidés, Wedemeyer (1996) décrit qu'une concentration en  $O_2$  inférieure à 4mg/L, **prédispose à la maladie** bactérienne des branchies, dont la bactérie en cause est *Flavobacterium spp.*, et à la furonculose à *Aeromonas salmonicida subsp salmonicida*.

• Facteurs de variations de la concentration minimale en oxygène

Colt et Tomasso (2001) affirment qu'il faut considérer certains paramètres de base pour parler de concentration en oxygène dissous minimale :

- Les poissons d'une espèce donnée, avec une taille donnée, ont **besoin de plus d'oxygène dans de l'eau chaude que dans de l'eau fraiche**, ceci est dû à une augmentation de leur métabolisme dans l'eau chaude (Tableau 8);
- Les poissons ont **besoin de plus d'oxygène après avoir été nourris** qu'avant, ceci est encore dû à l'augmentation de leur métabolisme, et à une augmentation de la demande en oxygène ;
- La consommation en oxygène est proportionnelle à la taille et au nombre de poissons contenus dans le bassin ;
- Les petits poissons utilisent plus d'oxygène par unité de poids, comparés aux gros poissons.
- Les poissons ont **besoin de plus d'oxygène si leurs branchies sont blessées** ou s'ils sont soumis à un stress ;
- L'acclimatation des poissons à une eau leur permet de tolérer des concentrations minimales en oxygène dissous plus basses que s'ils étaient directement plongés dans une eau à faible concentration en oxygène dissous (Moss et Scott, 1961).

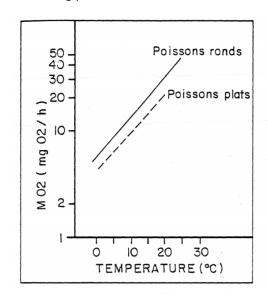
Tableau 8: Augmentation de la concentration minimale en oxygène selon l'augmentation de température.

Température en °C	Concentration en oxygène dissous minimale	
	mg/L	% saturation
5	9,1	71
10	8,8	78
15	8,3	81
20	7,8	85
25	7,4	90
30	6,9	92

Source: Wedmeyer (1996).

Par conséquent, le besoin en oxygène dépend des paramètres de l'eau et de l'espèce de poisson considérée. L'expérience de Moss et Scott (1961) a ainsi montré que parmi trois espèces le Carpet Arlequin était celui qui tolérait les concentrations en oxygène dissous les plus basses, en comparaison avec l'Achigan à grande bouche et le Barbue de rivière. Ce résultat se confirme quel que soit la température testée (25°C, 30°C, 35°C). Ruyet (1986) différencie le besoin en oxygène des poissons en classant les poissons en deux catégories : les poissons « ronds » et les poissons «plats » c'est-à-dire pélagiques. La MO<sub>2</sub> qui représente la consommation d'O<sub>2</sub> d'un organisme donné, exprimée en mgO<sub>2</sub>/h est plus importante chez les poissons non pélagiques, nommés « poissons ronds » (Figure 15).

Figure 15 : Niveau de consommation d'oxygène standard pour les poissons ronds (salmonidés) et les poissons plats - poissons de 250 g préalablement acclimatés.



Source: Ruyet (1986).

# b) Hyperoxie

On parle d'hyperoxie lorsque la saturation en oxygène est supérieure à 100%. Une des conséquences de l'hyperoxie est l'hyperinflation de la vessie natatoire du poisson comme l'indique le GBPSP (Borde, 2004). Néanmoins nous avons peu de connaissance concernant les potentiels effets de l'hyperoxie sur le Bien-être et aucune recommandation concernant la concentration maximale en oxygène n'existe dans la littérature. Nous savons que les effets sur les poissons sont négligeables comparés aux effets d'une sursaturation en nitrogène par exemple. Il est néanmoins reconnu, qu'une concentration en  $O_2$  élevée (supérieure à 25 mg/L) doit être évitée pour les œufs et les jeunes alevins car elle entrainerait une acidose respiratoire, qui serait par la suite compensée par le rein (Colt, 2006). De plus, la technique qui consiste à désinfecter l'eau par ozonation et qui augmente la teneur en oxygène, et aussi à contrôler, car en cas d'usage répété en élevage ou à des concentrations trop importantes, elle provoque des oxydations chez le poisson, à l'origine d'un stress oxydatif (Ritola et al., 2002).

# c) Recommandation

La concentration minimale recommandée en oxygène dissous est de 5-6 mg/L, pour la truite arcen-ciel (Smart, 1981; Colt et Tomasso, 2001). La littérature propose aussi une concentration en oxygène dissous allant de 5 à 9mg/L en fonction de la température de l'eau. Etant donné les facteurs de variations de la concentration minimale précédemment évoqués, l'éleveur doit veiller à distribuer de petits repas pour éviter les pics de consommation d'oxygène. Il est préférable de nourrir les poissons le matin et le soir, lorsque la température est plus basse, et que l'oxygène dissous est plus important. La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Lema) du 30 décembre 2006 définit une concentration en oxygène dissous comprise entre 3 et 6 mg/L. L'eau rejetée par les exploitations piscicoles doit avoir une concentration minimale en oxygène dissous de 5mg/L.

# ii) Concentration de l'eau en ammoniac

L'ammoniac et l'urée sont les deux principales sources d'azote dans le milieu d'élevage pour le poisson.

#### a) Source

L'ammoniac peut venir du milieu extérieur, il est alors excrété par les plantes et les animaux, et provient aussi de la décomposition de la matière organique, de l'activité volcanique ou encore de l'activité humaine notamment par l'utilisation d'engrais, et les rejets de l'industrie (Randall et Tsui, 2002). Le poisson peut produit également de l'ammoniac; il s'agit du déchet principal du catabolisme des protéines contenues dans l'alimentation du poisson. L'animal va alors excréter l'ammoniac, via ses branchies (Evans *et al.*, 2005). La décomposition des aliments non consommés est une source mineure d'ammoniac (Hinshaw et Fornshell, 2002).

### b) Chimie

Dans le milieu aquatique, l'ammoniac existe sous deux formes en équilibre : la forme non ionisée  $NH_3$  et la forme ionisée, l'ammonium  $NH_4^+$ .

$$NH_3 + H^+ + OH^- \longleftrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

L'ammoniac total est la somme de  $NH_3$  et de  $NH_4^+$ . L'équilibre entre l'ammoniac et l'ammonium varie en fonction surtout du pH et de la température. Il existe un effet mineur de la force ionique, de la pression et de la salinité sur la distribution en ammoniac, car ils agissent sur le pKa (Colt et Tomasso, 2001; Randall et Tsui, 2002).

#### c) Toxicité de l'ammoniac

# • Mécanisme chimique à l'origine de la toxicité

La distribution de l'ammoniac entre la forme NH<sub>3</sub> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> est à prendre en compte puisque seule la forme NH<sub>3</sub> est la forme toxique, et passe les membranes, tandis que NH<sub>4</sub><sup>+</sup> est considéré comme non toxique car les membranes du poisson en sont imperméables (Randall et Tsui, 2002). Une toxicité aigüe à NH3 touche le système nerveux central du poisson (Randall et Tsui, 2002), et les manifestations en sont des **troubles neurologiques** (Haywood, 1983).

Bien que la physiologie de la toxicité de l'ammoniac ne soit pas connue chez le poisson, il semble que l'ammoniac interfère avec des processus physiologiques des cellules du cerveau. Une autre hypothèse est celle de l'action dépolarisante de l'ammoniac qui dépolariserait les fibres musculaires et les neurones, et provoquerait donc la mort des cellules (Randall et Tsui, 2002).

Il est suggéré qu'il existe un mécanisme de détoxification chez le poisson, lui permettant de transformer l'ammoniac en glutamine grâce à une enzyme : la glutamine synthétase, dont la synthèse est stimulée par l'exposition à l'ammoniac (Wicks et Randall, 2002a). Il est possible que le poisson soit capable de convertir l'ammoniac en urée jusqu'à une certaine mesure (Haywood, 1983).

# • Concentrations létales

La plupart des recherches se sont portées sur la DL50, qui est la concentration médiane d'une substance entrainant la mortalité de 50% des poissons sur une période donnée, en règle générale sur une période 96 heures (dite DL50 – 96h). Par une série de 81 expériences, Thurston et Russo (1983) ont trouvé que la DL50 – 96h chez la truite arc-en-ciel variait de 0.16 mg/L à 1.1mg/L d'ammoniac dans l'eau. Meade (1985) affirme que la DL50 – 96h chez la truite arc-en-ciel est de 0.32 mg/L d'ammoniac dans l'eau. La dose létale dépend de la température de l'eau, de sa concentration en oxygène et du pH.

- d) Conséquences lésionnelles sur le poisson.
  - Exposition aigüe

Une exposition courte à des concentrations en ammoniac élevées cause une **augmentation de la fréquence des mouvements operculaires**, une **hyperexcitation**, **des mouvements natatoires erratiques**, une **perte d'équilibre**, et des **convulsions** voire **la mort du poisson** (Smart, 1976, 1981; Haywood, 1983).

#### • Exposition chronique

Les effets chroniques de l'exposition à l'ammoniac chez la truite arc-en-ciel comportent :

- un **remaniement des branchies**. Les branchies présentent un œdème associé à une augmentation de mucus et l'augmentation. D'un point de vue histologique, les branchies présentent une surélévation de l'épithélium, une hyperplasie et une désintégration de la structure des cellules en piliers des lamelles secondaires. Une fusion des lamelles des branchies est présente dans certains cas. Une concentration en ammoniac dépassant 0,02 mg/L prédisposerait aux surinfections des branchies détériorées (Wedemeyer, 1996) ;
- des déséquilibres ioniques ;
- des fonctions rénales et hépatiques touchées ;
- une croissance, et une prise alimentaire diminuée et donc des taux de conversion diminués ;
- l'**érosion des nageoires** (Smart, 1976; Haywood, 1983).Ces lésions augmentent la sensibilité aux maladies (Colt, 2006).

Dans une étude sur les effets chroniques de l'ammoniac menée sur des truites arc-en-ciel pendant 5 ans, et sur trois générations de poissons, Thurston *et al.*(1984) mirent en évidence qu'il existait une détérioration des branchies et du rein à la concentration constante de 0.07 mg/L d'ammoniac, cependant il n'y eut pas de preuve concernant l'effet de l'ammoniac sur la croissance et la fécondité des animaux.

### e) Facteurs influençant la toxicité de l'ammoniac

Puisque la forme toxique de l'ammoniac est sa forme non ionisée, l'équilibre et la concentration en ammoniac est à prendre en compte. L'équilibre chimique dépend de plusieurs paramètres physiques et chimiques :

- **L'oxygène dissous**. Plusieurs chercheurs ont observé que la toxicité de l'ammonium augmentait avec la baisse d'oxygène dissous (Thurston *et al.*, 1984);
- **Le pH**. Comme nous l'avons dit, le pH joue sur la forme de l'ammoniac. Lorsque le pH diminue, l'équilibre chimique est déplacé vers la droite avec formation d'ammonium ;
- La température. Thurston et Russo (1983) ont observé que la toxicité de l'ammoniac diminuait chez la truite arc-en-ciel en cas d'augmentation de la température entre 12 et 19°C;
- L'acclimatation. Il est reconnu qu'une exposition préalable à des niveaux de concentration en ammoniac sublétaux provoque une tolérance de la truite arc-en-ciel à un environnement contenant de l'ammoniac (Meade, 1985). Ceci est remis en question par Linton et al. (1998a) qui eux déclarent qu'il n'existe pas d'acclimatation du poisson. Il semblerait que le phénomène d'acclimatation se mette en place grâce à l'action d'enzymes stimulées (Randall et Tsui, 2002) ;

- La fluctuation de la concentration en ammoniac. Thurston et al. (1981b) rapportent que les poissons en laboratoire supportent plus facilement une concentration en ammoniac constante, que des variations de concentration d'ammoniac ;
- **L'exercice**. Wicks *et al.* (2002a) ont montré que la nage augmentait la toxicité de l'ammoniac chez la truite arc-en-ciel. ;
- Le nourrissage. Il n'existe pas de preuve scientifique certifiant l'effet de l'alimentation sur la toxicité de l'ammoniac, toutefois un poisson nourri est moins sensible qu'un poisson à jeun (Randall et Tsui, 2002). Il semble que le poisson puisse mieux détoxifier l'ammoniac lorsqu'il est nourri en quantité suffisante ;
- Le stress. Le stress augmente la toxicité de l'ammoniac chez le poisson (Randall et Tsui, 2002). Toutefois en répétant le signal stressant, les poissons deviennent moins sensibles à l'ammoniac qu'à la première expérience stressante. Randall et Tsui (2002) ont ainsi montré que le poisson soumis à un stress répétitif et à des concentrations élevées en ammoniac était capable de réguler son système de détoxification de l'ammoniac ;
- La force ionique. L'ammoniac a un effet diurétique sur la truite arc-en-ciel, et par conséquent le poisson perd des ions perdus par les urines (Lloyd et Swift, 1976). En augmentant la salinité de l'eau, le coût de l'osmorégulation est diminué. Plusieurs auteurs suggèrent que l'ammoniac est excrété par le poisson par la pompe NH4<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>, ainsi une concentration plus importante en Na<sup>+</sup> de l'eau, augmente le transport de l'ammoniac, et réduit la concentration d'ammoniac dans le poisson (Meade, 1985). Toutefois l'existence de la pompe NH4<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> est discutée (Wilson *et al.*, 1994) ;
- Le statut et l'âge du poisson. Thurston et Russo (1983) ont mis en évidence que la tolérance du poisson à l'ammoniac augmentait du stade larvaire au stade juvénile où la tolérance est alors maximale, puis la tolérance diminue avec le temps.

# f) Effets positifs de l'ammoniac

Il semble que l'ammoniac à faible concentration ait un effet positif sur la croissance. Wood (2004) fait le postulat que les concentrations faibles en ammoniac dans l'environnement stimulent l'incorporation d'ammoniac dans les acides aminés et donc la synthèse de protéines et/ ou réduisent les coûts métaboliques. Dans ce cas la concentration est au maximum de 0.002 mg/L d'ammoniac (Russo et Thurston, 1991).

# g) Recommandations

Hampson (1976) recommande une concentration maximale en ammoniac de 0.3 mg/L, tandis que Haywood (1983) et Wedemeyer (1996) ne recommandent pas plus de 0.02 mg/L d'ammoniac dans l'eau. Smith et Piper (1975) recommandent une concentration maximale en ammoniac de 0.0125 mg/L. La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Lema) du 30 décembre 2006 définit une concentration optimale en ammoniac pour les cours d'eau de bonne qualité comprise entre 0.1 et 0.5 mg/L.

#### iii) Nitrites

#### a) Source

Les nitrites,  $NO_2^-$ , sont formés à partir de l'oxydation de l'ammonium ( $NH_4^+$ ) dans le milieu aquatique. C'est la bactérie, *Nitrosomonas* spp., qui oxyde l'ammonium en nitrite ( $NH_4^+$ ) puis la bactérie *Nitrobacter* spp. convertit les nitrites en nitrates  $NO_3^-$  (Lewis et Morris, 1986).

Nitrosomonas Nictrobacter

$$NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$$

La concentration en nitrites peut augmenter si le taux d'oxydation de l'ammonium excède le taux d'oxydation des nitrites en nitrates (Colt et Tomasso, 2001), ou si l'oxydation en nitrates est inhibée, par exemple par l'ammoniac (Russo et Thurston, 1991). La **source** la plus problématique est **anthropogène** par le biais des effluents d'exploitation agricole, qui approvisionnent l'élevage en eau (Wedemeyer, 1996). La source principale provient de l'oxydation de l'ammonium produit par le poisson.

## b) Toxicité des nitrites

# • Mécanisme chimique à l'origine de la toxicité

Les nitrites pénètrent via les branchies. Les nitrites sont pompés activement par les cellules chlorures (Jensen, 2003), ce qui peut conduire à une concentration en nitrites plasmatiques dix fois plus importante que celle du milieu aquatique ambiant (Eddy *et al.*, 1983). Les nitrites sont toxiques pour le poisson, car ils atteignent les cellules sanguines et oxydent le Fe<sup>2+</sup> contenu dans l'hémoglobine (Hb) en Fe<sup>3+</sup>, on parle alors de méthémoglobine (metHb). La **méthémoglobine** est incapable de transporter l'oxygène sanguin et ceci cause **l'hypoxie du poisson**. MetHb existe naturellement dans le sang du poisson à un taux de 1-3%, cependant un taux excessif de 10% est néfaste pour la santé du poisson, et des signes cliniques apparaissent à partir de 25% de metHb (Lewis et Morris, 1986).

# Concentrations létales

La DL50-96h de la truite arc-en-ciel varie de 0.19 à 12.6 mg/L de nitrites (Lewis et Morris, 1986; Russo et Thurston, 1991).

#### c) Conséquences lésionnelles pour le poisson

L'exposition aux nitrites peut **endommager les branchies** qui peuvent subir une hypertrophie, une hyperplasie voire un remaniement de leur structure épithéliale. Le **thymus peut aussi être touché** avec la présence d'hémorragies, et de lésions de nécrose (Wedemeyer, 1996). La méthémoglobinisation dont la conséquence macroscopique est un sang brun, cause des changements comportementaux chez le poisson comme une léthargie, lorsque le pourcentage de metHb approche 70 à 80% et une désorientation lorsque le pourcentage approche les 100% (Westin, 1974). Dans ces conditions expérimentales, et lorsque la méthémoglobinisation est aussi importante, une simple agitation du poisson est mortelle pour lui. La léthargie et le manque d'activité rapportés pourraient être une réponse comportementale pour supporter les conditions environnementales.

## d) Facteurs de variation de la toxicité des nitrites

De nombreux facteurs jouent sur la toxicité des nitrites.

#### • Impact des autres ions sur la toxicité des nitrites

Les nitrites sont transportés à travers les cellules chlorures des branchies du poisson, et il semble que l'ion chlorure soit en compétition dans le milieu aquatique avec les nitrites; ainsi lorsque la concentration en ion chlorure augmente, l'absorption des nitrites par le poisson diminue. Par conséquent la toxicité des nitrites diminue en présence d'ion chlorure (Cl<sup>-</sup>) (Tableau 9). La DL50-96h étant la concentration médiane pour tuer 50% des poissons sur une période de 96h, plus la concentration en ion chlorure augmente, plus la concentration en nitrites doit être importante pour causer la mort des poissons. La toxicité des nitrites diminue avec l'augmentation de la concentration en ion chlorure (Lewis et Morris, 1986).

Tableau 9: Augmentation de la DL50-96h lorsque la concentration en ion chlorure augmente.

DL50-96h (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	рН	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	CaCO <sub>3</sub> (mg/L)
3	10	7,7	52	171
8	20	7,7	52	171
11	40	7,7	52	171

Source: Lewis et Morris (1986).

D'autres anions présents dans l'eau affectent la toxicité des nitrites, comme l'ion bromure. Il a été prouvé que l'ion bromure réduisait plus fortement la toxicité des nitrites que l'ion chlorure (Eddy et al., 1983), cependant l'ion bromure étant peu présent dans l'eau des bassins, il présente peu d'intérêt.

## • Impact de l'oxygène

Etant donné que l'ion nitrite affecte la capacité du sang à transporter l'oxygène, une diminution de la concentration en oxygène dissous va exacerber les effets de la toxicité des nitrites.

# • Impact de la température

L'effet de la température sur la toxicité des nitrites n'est pas encore connu; toutefois des hypothèses ont été formulées grâce à des études sur le barbue de rivière (*Ictalurus punctatus*), suggérant qu'une température élevée pourrait augmenter la toxicité des nitrites (Lewis et Morris, 1986).

## • Impact de la taille du poisson

En ce qui concerne la taille du poisson, les études montrent que les truites les plus petites sont plus tolérantes aux nitrites, comparées aux truites plus grandes (Lewis et Morris, 1986). Les poissons plus grands pourraient moins bien tolérer les nitrites.

#### Impact de l'acclimatation.

Wedemeyer et Yasutake (1978) ont montré que lorsque la truite arc-en-ciel est soumise à des concentrations en nitrite de 0.06 mg/L pendant une durée de 6 mois, dans une eau douce pauvre en chlorure, le poisson présente des lésions au niveau des branchies qui semblent alors hypertrophiées. Les cas les plus sévères apparaissent dès quatre semaines, et après sept semaines l'hypertrophie se retrouve moins fréquemment sur les poissons, jusqu'à ce que l'hypertrophie disparaisse complètement à la fin des manipulations. Cette expérience suggère que les poissons ont été capables de s'acclimater aux nitrites.

#### e) Recommandation

La concentration maximale recommandée en nitrites est de 0.1 mg/L (Wedemeyer, 1996). Toutefois une concentration en oxygène dissous optimale, la présence d'autres ions dans le milieu en compétition, et un pH basique peuvent faire diminuer la toxicité des nitrites.

## iv) <u>Nitrates</u>

#### a) Source

Les nitrates (NO<sub>3</sub>-) sont produits à partir de l'oxydation des nitrites par la bactérie *Nitrobacter spp.*. Une augmentation de l'alimentation et une diminution du débit d'eau peuvent provoquer une augmentation de la concentration en nitrates.

#### b) Toxicité

• Conséquences lésionnelles

Les nitrates agissent sur l'osmorégulation du poisson (Colt, 2006).

## Concentrations létales

La DL50-96h pour les salmonidés est située entre 1000-3000mg/L de nitrates (Wedemeyer, 1996).

# c) Recommandations

Il n'existe de recommandation que pour le stade larvaire en écloserie. La concentration maximale alors tolérée est de 1mg/L de nitrates. La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Lema) du 30 décembre 2006 définit une concentration maximale tolérée en nitrates de 4 mg/L.

# v) <u>Dioxyde de carbone</u>

#### a) Source

Le dioxyde de carbone se trouve naturellement à la surface de l'eau à la concentration de 1-2 mg/L. Il provient de la diffusion de de l'atmosphère, de la décomposition par les microorganismes de la matière organique des sédiments et de la respiration des microorganismes, algues, et plantes aquatiques (Wedemeyer, 1996). En aquaculture, la **source principale** de CO<sub>2</sub> est le poisson, par son **métabolisme**.

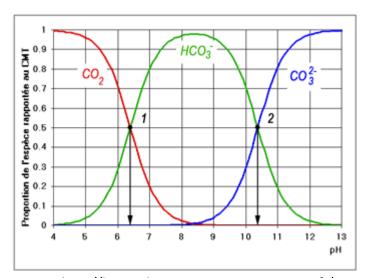
#### b) Chimie

Le dioxyde de carbone peut se trouver sous divers forme.

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow 2H^+ + CO_3^{2-}$$

La distribution de chaque forme est surtout définie par le pH (Figure 16). Parmi toutes les formes de dioxyde de carbone dissous, le CO<sub>2</sub> et l'acide carbonique constituent les formes toxiques, tandis que le bicarbonate et le carbonate ne sont pas toxiques (Wedemeyer, 1996). L'acide carbonique a souvent peu d'effet car il est retrouvé en petite quantité dans le milieu (inférieure à 1%).

Figure 16: Variation des formes du dioxyde de carbone en fonction du pH.



Source: http://bernard.pironin.pagesperso-orange.fr/aquatech/eau-co2.htm

Le dioxyde de carbone est dangereux pour le poisson car si la concentration en dioxyde de carbone dans le milieu ambiant est élevée, le poisson n'est **plus capable d'excréter le dioxyde de carbone** d'origine endogène, ce qui provoque une augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> sanguin, on parle alors d'**hypercapnée**. Le pH du sang diminue alors, causant une **acidose**, qui réduit la capacité du sang à transporter l'oxygène : il s'agit de l'effet Bohr.

## d) Conséquences lésionnelles

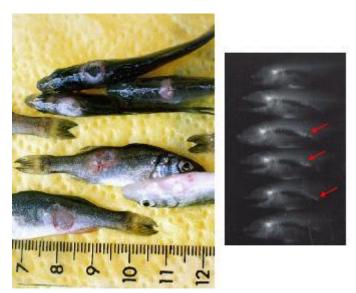
Aigu

Les signes cliniques majeurs d'une intoxication au  $CO_2$  sont à relier à une **détresse respiratoire**; l'animal présente des opercules ouverts et une bouche ouverte. L'animal est alors très abattu et présente des branchies rouge vif.

#### Chronique

Danley et al. (2001) rapportent une baisse de croissance chez la truite arc-en-ciel après 90 jours passés dans une eau à une concentration en dioxyde de carbone supérieure à 45 mg/L, toutefois il n'est pas rapporté de mortalité significative. Un des effets du CO2 en association avec la dureté de l'eau est la néphrocalcinose (Smart, 1981) (Figure 17). Cette lésion dégénérative du rein correspond à des dépôts calcaires (Smart et al., 1979) sous forme de plages blanches présentes sur le rein, à l'embouchure des uretères. Le rein peut aller jusqu'à se dilater et devenir kystique. La fonction hématopoïétique du rein provoque alors des modifications de la formule sanguine du poisson avec un hématocrite et une concentration en hémoglobine basse. On considère qu'à partir d'une concentration en CO2 de 12 mg/L, une néphrocalcinose est observée chez le poisson. Plus la concentration en CO2 sera élevée plus la sévérité et la prévalence de la pathologie est importante (Smart et al., 1979). Plusieurs facteurs interviennent dans la pathogénie de la néphrocalcinose, outre la concentration en dioxyde de carbone, les facteurs physico-chimiques de l'eau, la composition de l'alimentation ainsi que la souche et l'espèce du poisson sont aussi à prendre en compte (Smart et al., 1979). Une méthode prophylactique de lutte contre la néphrocalcinose consiste donc à supplémenter l'alimentation en magnésium, ou encore d'éviter les souches et poissons sensibles dans des zones prédisposées. Les jeunes poissons sont ainsi très sensibles au dioxyde de carbone (Gobler et al., 2012).

Figure 17 : Mise en évidence de lésions de néprocalcinose par la radiographie, associées à des lésions ulcératives de la peau chez des jeunes bars.



Source: http://www.vetcare.gr/ARTPRES/Medfish\_welfare.htm#current\_practice.

#### e) Recommandation

Wedemeyer (1996) recommande une concentration en  $CO_2$  inférieure à 10 mg/L, tandis que Smart (1981) rapporte qu'il n'y'a pas de baisse de croissance à une concentration en  $CO_2$  allant jusqu'à 24 mg/L. Noble et Summerfelt (1996) déclarent que la concentration varie en fonction des paramètres de l'eau (concentration en dioxygène dissous, pH, alcalinité), qui doivent être pris en compte avant de proposer une concentration en  $CO_2$  de référence en aquaculture.

## vi) <u>Débit de l'eau</u>

Le débit d'eau en aquaculture, influence grandement la qualité de l'eau du circuit, en réapprovisionnant le système en oxygène et en se débarrassant des métabolites comme l'ammoniac, les nitrites ou le dioxyde de carbone ou en éliminant les solides en suspension. Cependant les recommandations en matière de débit d'eau en fonction de la biomasse varient énormément (c'est-à-dire de 4 à 17 litres / seconde / par tonne de poisson). Il a été suggéré que ces variations dépendaient de la température et de la taille des poissons (Amon et al., 2001). Il faut aussi noter que le type de circuit influence le débit d'eau, ainsi un circuit fermé avec recirculation de l'eau présente un débit d'eau plus important que le débit en circuit ouvert (D'Orbcastel et al., 2009). Lorsque le débit d'eau est trop faible, les bactéries se concentrent et des péricardites et congestions spléniques apparaissent chez les poissons. Des fortes variations peuvent quant à elles, causer un stress chez l'animal ayant comme indicateur l'élévation de la concentration en cortisol sanguin (Flodmark et al., 2002). Le Label Bio conseille un débit de 7 litres / seconde / par tonne de stock de poissons au minimum afin d' « assurer le confort des animaux et l'élimination des effluents d'élevage » (DGPEI, 2007).

## B) Deuxième catégorie de paramètres de l'eau

# i) Acidité

# a) Chimie

L'eau peut être naturellement acide, néanmoins en aquaculture, le pH peut baisser en raison de la respiration et de l'excrétion de  $CO_2$  par le poisson. Si l'eau qui entre dans le circuit a une faible alcalinité, alors la baisse de pH induite par le poisson est un problème, puisque l'eau n'a plus de pouvoir tampon lui permettant de rectifier cette baisse de pH.

# b) Conséquences lésionnelles

Il a été montré que l'eau acide diminuait les capacités de nage de la truite arc-en-ciel (Ye et Randall, 1991). De plus, l'exposition chronique à une eau acide (dont le pH varie entre 5,5 et 5,8) provoque une baisse de la production de gamètes (Carter, 2008).

D'un point de vue biochimique, l'acidité affecte la régulation acido-basique du poisson (Ye et Randall, 1991) et diminue la capacité du poisson à excréter l'ammoniac (Randall et Wright, 1989), et le dioxyde de carbone, ce qui **affecte sa capacité à transporter l'oxygène** (Randall, 1991).

#### c) Recommandation

Il est actuellement conseillé d'avoir un pH minimal de 6 (Randall, 1991).

## ii) Alcalinité

#### a) Chimie

L'alcalinité a la capacité de maintenir l'intégrité du milieu en tamponnant les changements brutaux de pH.

## b) Conséquences

Bien que les propriétés de l'alcalinité soient souvent bénéfiques, elle peut être problématique si trop élevée en **empêchant l'excrétion d'ammoniac** (Wright et Wood, 1985), ce qui peut provoquer un effet toxique chez le poisson (Wedemeyer, 1996). Le poisson présente alors un excès de mucus et des **lésions sur ses branchies** comme l'indique le GPBSP (Borde, 2004).

#### c) Recommandation

Wedemeyer (1996) propose des limites d'alcalinité, avec une concentration en carbonate de calcium qui doit être supérieure à 20 mg/L en raison de son effet tampon, et inférieure à 100-150 mg/L afin de s'assurer que l'excrétion de l'ammoniac n'est pas inhibée.

## iii) <u>Dureté de l'eau</u>

La dureté de l'eau est à la base une mesure de la quantité de sels de (Ca²+) et de magnésium (Mg²+) présents dans l'eau (APHA, 1998) (Tableau 10). La dureté de l'eau est quelquefois utilisée comme indicateur du pouvoir tampon de l'eau car les ions calcium et magnésium sont capables de réguler les variations de pH (Howells, 1994). L'eau douce est souvent acide, et l'eau dure est souvent alcaline.

Tableau 10: Classification de l'eau en termes de dureté de l'eau.

Qualification de l'eau	Concentration en CaCO3 (mg/L)
Douce	< 75 mg/L
Modérée	75-150 mg/L
Dure	150-300 mg/L
Très dure	>300 mg/L

Source: Wedemeyer (1996).

La truite arc-en-ciel est capable de réguler la concentration en ions de son sang grâce aux transporteurs actifs présents au niveau de ses branchies. La régulation et le transport de ces ions est

une tâche essentielle pour que le poisson maintienne l'homéostasie de son organisme. Toutefois ce transport actif des ions demande de l'énergie et s'effectue contre le gradient de concentration des ions. Dans l'eau douce, le gradient de concentration est très important (3000 fois plus important que dans le sang) et utilise un grand pourcentage de l'énergie apportée par l'alimentation (Wedemeyer, 1996). Dans l'eau dure, le gradient de concentration est moins important, et par conséquent, moins d'énergie est nécessaire pour réguler la teneur ionique du sang (Wedemeyer, 1996).

L'eau dure pourrait, quant à elle **prédisposer à la maladie du rein** à *Renibacterium salmoninarum*, et à la **nécrose pancréatique infectieuse** (virus de la NPI) (Wedemeyer, 1996).

Il n'existe pas de recommandation concernant la dureté de l'eau.

#### iv) <u>Température</u>

Il s'agit d'un paramètre essentiel à maitriser en aquaculture. La température de l'eau affecte la quantité d'oxygène dissoute que l'organisme peut contenir, le taux de décomposition et de photosynthèse, ce qui touche la demande en oxygène des bassins, et l'ionisation de l'ammoniac (Colt et Tomasso, 2001). De plus, une **augmentation de température** favorise la croissance et la contagiosité des **pathogènes** du poisson (Roberts, 1975), et augmente la toxicité des contaminants dissous (Wedemeyer, 1996).

Les poissons étant exothermiques, une augmentation de la température de l'eau, accélère leur métabolisme et leur consommation en oxygène augmente. Il a été calculé qu'une augmentation de 9 à 15 degrés Celsius, réduisait la capacité en oxygène de l'eau de 12,8%, et augmentait le métabolisme d'une truite arc-en-ciel de 100g de 67,5%, ainsi que l'excrétion d'ammoniac de 98,6%, ce qui provoquait une augmentation de 58,8% d'ammoniac non ionisé, dans le milieu (Klontz, 1993).

#### a) Facteurs de variations de la température optimale

Certains facteurs peuvent faire varier la température optimale (Wedemeyer, 1996), par exemple :

- le temps mis pour s'acclimater;
- la concentration en oxygène dissous dans l'eau;
- les ions présents dans l'eau.

# b) Conséquences lésionnelles

## Déformations

Des températures d'élevage inappropriées sont souvent associées à des déformations. Au niveau des tissus durs, un raccourcissement du maxillaire et des branchies tout comme des déformations vertébrales résultant en des « petites queues » et des « dos bossus ». Au niveau des tissus mous, le poisson présente une torsion de la vessie natatoire, et le septum transversum est absent (Fish Farming International, 1999).

## Apparition du stress sous l'effet de variations de température

Il a été démontré qu'une variation trop importante de la température cause un pic de cortisol sanguin, associé à des signes de stress comme une **perte d'appétit et d'activité** (Shrimpton *et al.*, 2007). Ceci devra donc être pris en compte lors de changement de qualité de l'eau notamment lors du transport.

#### c) Recommandation

Les recommandations dépendent de l'espèce. La température optimale est déterminée par l'espèce, la génétique du poisson et sa tolérance (Wedemeyer, 1996). La préférence pour une température donnée dépend de la taille mais aussi de l'histoire de l'acclimatation du poisson. Chez la truite arc-en-ciel, espèce largement représentée en France, la température optimale suggérée pour la croissance est comprise entre 16-17°C et pour la ponte elle est comprise entre 10-13°C (Colt et Tomasso, 2001). Les températures létales chez la truite arc-en-ciel, sont inférieures ou égales à 0°C. A partir de 20°C, le taux de mortalité des truites arc-en-ciel en élevage augmente sensiblement (Hokanson *et al.*, 1977). La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Lema) du 30 décembre 2006 définit une température limite de 20°C pour que l'eau soit de bonne qualité.

#### v) <u>Conductivité</u>

La conductivité est la mesure de la capacité de l'eau à transmettre un courant électrique qui indique donc l'activité ionique et la teneur en ion de l'eau. La conductivité n'affecte pas directement le Bien-être du poisson, mais c'est un bon indicateur de la qualité de l'eau. Mesurer la conductivité permet d'estimer les variations de concentrations en minéraux de l'eau et d'estimer les solides dissouts totaux. La concentration en minéral et les solides dissous totaux a la capacité d'affecter des paramètres chimiques de l'eau comme le pH.

Il n'existe pas de recommandation concernant la conductivité, il est simplement conseillé d'éviter des variations brutales qui reflètent des variations brutales de la force ionique.

#### vi) Métaux lourds

Les métaux lourds qui peuvent causer des problèmes sanitaires pour les poissons sont, le cuivre, le cadmium, le plomb et le zinc.

#### a) Sources

En plus de leur source naturelle, ces éléments peuvent être introduits par les **rejets industriels et l'utilisation de produits herbicides** contre les plantes aquatiques.

# b) Toxicité

Bien que ces produits soient souvent présents à la surface des eaux en faible quantité, ils peuvent être très toxiques pour les poissons (Wedemeyer, 1996). Dans l'eau douce, les métaux lourds sont très solubles et très toxiques, toutefois dans l'eau dure, les métaux lourds précipitent avec les carbonates et les hydroxydes, ce qui réduit leur toxicité. Des températures élevées, une concentration 74

en oxygène dissous basse, et une concentration élevée en dioxyde de carbone augmente la toxicité des métaux.

## c) Conséquences lésionnelles

Les signes d'intoxication peuvent être assez frustres. Toutefois le taux de mortalité dans un groupe après au moins deux jours d'exposition à des concentrations en zinc/cuivre létales augmente.

## Exposition aigüe

Lorsque l'animal est exposé à des concentrations sublétales, il présente un déséquilibre ionique, une augmentation de l'oxygène et de l'énergie consommés, non compensée par la prise alimentaire. Au contraire, dans ces conditions, la prise alimentaire du poisson diminue. La croissance de l'animal est alors inhibée et sa capacité de nage est affectée.

## Exposition chronique

L'animal présente une augmentation du cortisol sanguin et des autres molécules de la réponse primaire au **stress**. Une **atteinte du système nerveux central et des organes parenchymateux** peut être observée, comme l'indique le GBPSP (Borde, 2004). Toutefois les poissons sont capables de survivre et s'acclimatent sur le long terme (Davidson *et al.*, 2009).

# d) Recommandation

La concentration en cuivre est la plus documentée. Wedemeyer (1996) conseille une concentration maximale inférieure à 0,006 mg/L dans l'eau douce et 0,03mg/L dans l'eau dure tandis que Davidson *et al.* (2009) conseillent qu'elle soit inférieure à 0,04 mg/L sans précision sur la dureté de l'eau. Concernant les concentrations maximales de zinc, cadmium, plomb et zinc elles sont fixées à 0,0269 mg/L (Davidson *et al.*, 2009).

## C) Troisième catégorie de paramètres de l'eau

i) <u>Solides en suspension, MES = matières en suspension</u>

#### a) Sources

Les solides en suspension sont issus d'une grande variété de matériaux (la craie, les cendres volcaniques, le pollen, les végétaux, la nourriture non consommée, les fèces), de taille et de forme différentes (Wedemeyer, 1996). Ils sont définis par leur taille, dont le diamètre est supérieur à 1  $\mu$ m. Ce type de solide entre dans les systèmes d'aquaculture par les eaux entrantes dans le circuit. Il est important de noter que la teneur en solides en suspension augmente lorsque le débit diminue.

## b) Conséquences lésionnelles

Les solides en suspension sont connus pour **altérer les branchies** en les abrasant ou en les colmatant. Magor (1988) rapporte ainsi des lésions sur les branchies comme un œdème des lamelles, associé à une télangiectasie (dilatation des capillaires sanguins) des lamelles du saumon argenté

Oncorhynchus kisutch lorsque la concentration en solides en suspension atteint 44 mg/L. Les solides en suspension peuvent aussi agir sur les poissons en **abrasant la peau** ou en affectant leur **vision** notamment lors du nourrissage. Ils ne nuisent pas qu'aux poissons adultes, puisqu'ils peuvent aussi **étouffer les œufs** pendant l'incubation (Wedemeyer, 1996).

Ces particules ont par ailleurs un effet direct sur le stress, en effet Redding *et al.* (1987) ont montré que les truites arc-en-ciel exposées à une concentration en solides en suspension de plus de 400 mg/L, souffraient du stress et présentaient une élévation de la concentration en cortisol sanguin.

Les solides en suspension peuvent aussi agir de façon indirecte, puisque certains microorganismes sont associés aux solides en suspension et produisent du CO<sub>2</sub> grâce à leur respiration, ce qui engendre une baisse de pH, ou peuvent encore être pathogènes pour le poisson (Noble et Sommerfelt, 1996).

#### c) Recommandations

En raison de la variabilité de taille et d'origine des solides en suspension, peu de recommandations existent. En effet, la forme et en particulier l'irrégularité du solide en suspension, vont avoir un effet sur son action abrasive et les normes vont varier en fonction de ces paramètres (Wedemeyer, 1996). Wedemeyer (1996) propose une concentration maximale en solides en suspension allant de 80 à 100 mg/l total, tandis que Chen *et al.* (1994) suggèrent une concentration maximale de 15 mg/L. La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Lema) du 30 décembre 2006, conseille une concentration en MES comprise entre 25 et 50 mg/L afin que l'eau soit de bonne qualité. L'eau rejetée par l'exploitation doit avoir une concentration en MES de maximum 15 mg/L.

### ii) Sursaturation des gaz

## a) Phénomène physique

La sursaturation apparait lorsque la pression partielle d'un ou de plusieurs gaz, dépasse la pression atmosphérique. En aquaculture la sursaturation peut être due à plusieurs mécanismes ; un changement brutal de température ou de pression, lorsque de l'air est bloqué dans les canalisations, ou bien lorsque l'on supplémente en oxygène l'eau, lors du transport notamment (Wedemeyer, 1996).

# b) Conséquences lésionnelles

La sursaturation en gaz devient une préoccupation majeure lorsqu'elle se manifeste par la maladie des bulles de gaz ou Gas Bubble Disease (GBD), qui est comparable aux problèmes de décompression rencontrés par les plongeurs (Figure 18). Les bulles de gaz, forment des embolies dans le système vasculaire veineux, et sont rapidement transportées vers la peau, la bouche, et les nageoires (Wedemeyer, 1996). En fonction de la sévérité du phénomène, les tissus peuvent nécroser et entrainer la mort de l'animal (Wedemeyer, 1996). Les poissons peuvent se remettre de ce phénomène s'ils sont maintenus sous des pressions hydrostatiques plus élevées (c'est-à-dire en eau plus profonde), ou si la température est diminuée graduellement (Wedemeyer, 1996).

Figure 18: Formation de bulles au niveau des tissus mous du poisson, ici les nageoires d'un bar.



Source: http://www.vetcare.gr/ARTPRES/Medfish\_welfare.htm#current\_practice

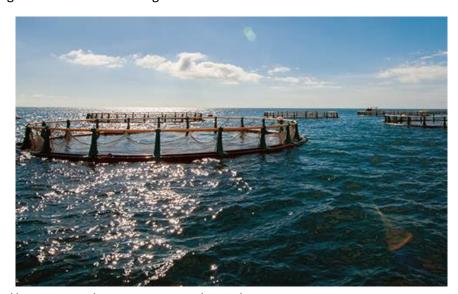
# c) Recommandations

Wedemeyer (1996) suggère que la saturation soit inférieure à 103% pour les stades précoces en écloserie et de 105% pour le grossissement chez les stades adultes, en prenant l'exemple des salmonidés. Il reconnait que la tolérance des animaux dépend de la taille et de l'espèce de poisson considérée.

# D) Densité d'élevage

La densité de d'élevage s'exprime en kg/m³. Elle représente le **rapport de la biomasse totale de poissons sur l'espace disponible dans une unité (ex : un bassin)**. La densité varie en fonction des stades de production (alevinage, grossissement), notamment lors du tri ou du transport mais aussi en fonction des structures d'élevage des animaux. Les cages immergées (Figure 19) dans l'eau de mer qui se composent en général d'un filet flexible suspendu à un anneau semi rigide de la circonférence de la cage, sont facilement déformables et donc le volume estimé varie au cours du temps.

Figure 19: Cage en mer dans un élevage marin de bar.



Source: http://aquazur.net/produits-services/cages/

La densité d'élevage varie aussi **en fonction de la qualité de l'eau**; en effet la concentration en oxygène, en CO<sub>2</sub>, et en ammoniac est à considérer avant d'établir une densité d'élevage maximale. North *et al.*(2006) ont ainsi montré qu'il était possible d'élever des truites à une densité de 80 kg/m<sup>3</sup> (une densité d'élevage qui est moyenne à élevée dans un élevage standard) sans aucune répercussion sur la croissance ou la mortalité des animaux, si la concentration en oxygène dissous dans l'eau était maintenue à 6mg/L et la concentration en ammoniac à 0,02 mg/L. La température peut exacerber les effets délétères d'une forte densité (North *et al.*, 2006).

# i) <u>Densité de stockage et comportement des poissons</u>

La distribution spatiale adoptée par les poissons est, comme nous l'avons vu, un indicateur comportemental du Bien-être. Plus précisément Dawkins (2004) la décrit comme un indicateur in situ du mode de réaction sociale et des besoins des poissons, en termes de densité d'élevage et d'espace. Une étude a aussi montré que la nage et l'activité de la truite étaient affectées par la densité. Pour cela des truites ont été élevées à différentes densités : 25 kg/m³, 75 kg/m³ et 125 kg/m³ et leur activité enregistrée. Les truites arc-en-ciel élevées à 25 kg/m³ manifestent un rythme d'activité nycthéméral bien marqué, alternant les périodes d'activité diurnes et de longues périodes de repos nocturne, avec une occupation hétérogène de l'espace. A la densité moyenne de 75 kg/m³, le rythme nycthéméral reste perceptible mais l'activité de nage s'accroît aussi bien de jour que de nuit. A la plus haute densité, l'activité s'uniformise, sans période d'immobilité, et l'occupation de l'espace est totale (Bégout Anras et Largadère, 2004). La conclusion de cette étude est qu'un tel niveau de contraintes (densité de 125 kg/m³) qui annule tout rythme d'activité ne permet pas de garantir l'expression de comportements naturels des animaux en élevage qui est une des libertés du Bien-être. De plus ce niveau de contrainte provoque l'instauration d'un état de stress chronique qui outres des altérations importantes de l'expression comportementale, signe une situation d'inconfort susceptible de faciliter l'émergence de pathologies diverses.

La densité est un critère important pour l'opinion publique. Les programmes de certifications comme le Label Rouge et le Label Bio mettent en place des densités d'élevage faibles « afin de limiter les comportements de compétition et d'agressivité, lors de surpopulation ». La densité d'élevage du saumon Label Rouge est donc fixée à 15kg/m³ au lieu de 25kg/m³ en élevage standard (Scottish Quality Salmon, 2010).

## ii) Densité de stockage et aspect sanitaire des poissons

#### a) Maladie

Des études suggèrent que l'augmentation de la densité d'élevage peut augmenter le risque de transmission, et de gravité d'infection des poissons en captivité (Mazur et al., 1993). En effet, à forte densité il est plus facile pour le parasite par exemple de trouver un hôte. Les parasites mobiles comme les cercaires diplostamitidés utilisent le chimiotactisme pour localiser leurs hôtes potentiels. La contagion par transmission horizontale serait plus simple en raison de l'espace restreint. Il existe déjà une corrélation entre niveaux d'infection et taille du groupe d'oiseaux/ mammifères mais une telle donnée n'est pas évidente chez les poissons.

## b) Conséquences lésionnelles

Les nageoires sont touchées lorsque les poissons sont maintenus à forte densité : les nageoires dorsales sont les plus érodées, les nageoires latérales sont quelques fois touchées, et les nageoires pectorales le sont très rarement (Ruyet et al., 2008). En cas de forte densité d'élevage si les filets d'une cage en mer sont mal entretenus, des mollusques et algues s'y accumulent, ce qui favorise l'apparition de dommages mécaniques sur les poissons comme une abrasion des nageoires (Branson et Turnbull, 2008). Chez le bar, il est rapporté que le poisson doit être maintenu à une densité minimale et tué rapidement (Smart, 2001), car autrement des dommages peuvent être causés; écailles arrachées et autres lésions de peau, ainsi que de saignement au niveau du ventre. Ces lésions constituent une potentielle porte d'entrée pour les pathogènes.

#### iii) Densité d'élevage et croissance des poissons

Il semble que la densité joue aussi sur la croissance des poissons. Ainsi, à faible densité les animaux grandissent plus vite et sont donc plus vite commercialisés, ce qui représente un avantage économique non négligeable. Comme le montre une expérience menée sur les cabillauds, cette baisse de croissance n'est pas compensée quand l'animal est réintroduit dans un milieu d'élevage où la densité d'élevage est plus faible (Damsgard *et al.*, 2011).

# E) Aspect sanitaire

Il est important en élevage de maitriser l'aspect sanitaire des poissons. Le stress provoque une baisse d'immunité du poisson et le prédispose aux infections. A l'inverse, Barber (2007) a montré que les infections peuvent exacerber la réponse au stress (Barber, 2007). Il existe donc un lien fort entre infections et stress. Ce lien doit être pris en compte par l'éleveur, pour éviter l'apparition d'infections dans son élevage. Quelles sont les pratiques d'élevage visant à protéger la santé du poisson et donc son Bien-être ? Pour faire face aux infections, deux stratégies sont possibles : préventive par l'utilisation de vaccin et autre substance renforçant l'immunité du poisson ou curative par l'usage de traitement. Dans ce manuscrit sera développé la prise en charge en amont des infections et non les traitements. Bien que les protocoles thérapeutiques permettent aussi la gestion des poissons malades et donc la limitation du stress provoqué par l'infection.

Ces pratiques sanitaires ont des conséquences économiques pour l'éleveur, mais peuvent aussi avoir des conséquences sur le Bien-être des animaux. Il est donc important d'estimer le rapport entre les avantages et les inconvénients de ces conduites sanitaires.

## i) <u>Facteurs favorisant les pathogènes</u>

Les principales causes de pathologies sont dues à une mauvaise adaptation au milieu de vie et à la captivité. Une étude (Barber, 2007) a ainsi montré que les poissons en milieu naturel choisissent leur habitat avec la perspective de la présence du parasite; la truite arc-en-ciel par exemple est capable d'éviter une zone avec une densité importante de trématodes (*Displotomim spathaceum*). Ce choix est rendu impossible en captivité. De même, le rafraichissement des eaux lors de la migration des saumons et autres poissons migratoires permettrait une diminution significative des parasites du poisson. Un autre mécanisme, régulateur du parasitisme, et qui est réduit en captivité, est le mouvement des

écailles qui permettrait une élimination mécanique. L'infection peut aussi mieux se propager en captivité par des contacts plus proches.

Une mauvaise gestion des paramètres d'élevage favorise aussi l'apparition de pathologies. Lorsque la densité n'est pas adéquate, des comportements agonistiques peuvent apparaître à l'origine de blessures (Jorgensen *et al.*, 2009), qui constituent un porte d'entrée du pathogène. La surpopulation peut aussi permettre à des parasites de trouver plus facilement un hôte et ainsi de se propager dans le milieu.

Si des règles de biosécurité ne sont pas mises en place lors des transports et les manipulations, le taux d'infection des poissons peut rapidement augmenter.

## ii) Conséquence des pathogènes sur le bien-être

Une des libertés du Bien-être est « l'absence de maladie ». L'infection aigüe serait à l'origine d'un **stress**, avec une cortisolémie augmentée et l'apparition de lésions. Les mécanismes mis en jeu ne sont pas encore connus, mais les toxines parasitaires et les dégâts organiques pourraient en être la cause (Ellis *et al.*, 2007).

### a) Impact sur le comportement

L'énergie attribuée à la lutte contre l'infection impacte le budget énergétique total de l'animal (Barton et Iwama, 1991) qui subit une baisse énergétique. Ceci peut impacter le comportement. En effet, cette baisse énergétique engendre une augmentation de la recherche de nourriture. L'infection peut aussi avoir un impact sur le comportement en causant directement des dommages au système nerveux central ou bien en modulant une hormone ou un neurotransmetteur qui peuvent eux aussi changer le comportement de l'hôte. Prenons l'exemple des métacercaires qui s'agrègent dans les lobes du cerveau responsables de la vision et du contrôle moteur, et qui altèrent la nage du poisson. Nyxosoma cerebralis agit quant à lui en détruisant l'oreille interne du saumon ce qui se traduit par des mouvements erratiques du saumon que l'on appelle «maladie du tournis» (Barber, 2007). Les parasites peuvent aussi agir en colonisant les vaisseaux et le cœur, en empêchant les organes et muscles d'être correctement approvisionnés en oxygène, ils provoquent alors un changement dans le comportement natatoire. Les ectoparasites peuvent aussi agir par spoliation, ce qui cause l'anémie du poisson qui nuit à l'apport énergétique du muscle et donc à sa nage (Barber, 2007).

# b) Impact sur les sens de l'animal

Les parasites peuvent causer des dégâts par leur attachement, leur mouvement, et leur croissance. Les endroits les plus touchés sont les yeux, les narines, l'intérieur de l'oreille, et la ligne latérale. Les conséquences d'une atteinte de l'œil pour l'animal sont une perte de vision, avec une mauvaise recherche des ressources alimentaires, une mauvaise vision des prédateurs et des filets ainsi que des poissons infectés. Lorsque ce sont les sens comme l'olfaction, l'electroréception ou le fonctionnement de la ligne latérale qui sont affectés alors ceci causerait des difficultés pour repérer la nourriture. Ces sens ont été peu étudiés. De façon générale, les sens endommagés empêchent le poisson de reconnaître les siens correctement et il est d'avantage soumis à la compétition et aux agressions (Barber, 2007).

## c) Impact sur la prise alimentaire

Comme nous venons de l'expliquer l'infection cause une **dépense d'énergie** par la défense immunitaire du poisson, qui n'est **pas forcément compensée par la prise alimentaire**, car l'animal accède moins facilement à la ressource alimentaire. De plus le fait d'être atteint d'une maladie entraine une anorexie qui peut être fonction de la densité d'infestation. Barber (2007) propose une solution à ce problème en montrant que la prise alimentaire est meilleure lorsque la nourriture est présentée plusieurs fois chez les poissons infectés. Malgré cela, en cas d'infection les paramètres de production sont diminués et la mortalité augmente.

## iii) Conduite sanitaire en élevage

# a) Prophylaxie sanitaire.

Il s'agit de l'ensemble des précautions, d'ordre hygiénique qui permettent d'éliminer le pathogène et de limiter sa propagation dans le milieu d'élevage. Il s'agit donc d'une méthode préventive.

## Les règles de base sont :

- le tri des animaux en fonction de leur taille et âge mais aussi le tri et l'élimination des poissons moribonds ou morts (Figure 20). Grâce au tri de taille, l'éleveur limite le passage de maladies des adultes plus résistants vers les jeunes plus sensibles, mais aussi les comportements de hiérarchie envers les poissons les plus petits, à l'origine de blessures. Grâce à l'élimination des poissons faibles ou morts, qui représentent une forte charge infectieuse, l'éleveur limite l'apparition d'infections dans l'élevage. Il faudra d'ailleurs veiller à conserver et à transférer avec précaution les cadavres dans des chambres frigorifiques et à mesurer la mortalité;
- la marche en avant. Il est recommandé de visiter un élevage en allant des poissons les plus jeunes et donc les plus sensibles vers les poissons les plus âgés ;
- l'adaptation des bâtiments et structures d'élevage à l'espèce. En effet, comme l'indique le GBPSP (Borde, 2004) « l'optimisation des conditions d'élevage assurant le confort physiologique du poisson permet de prévenir le développement de maladie » ;
- le respect de la qualité de l'eau, des densités de stockage, une nutrition de bonne qualité, et des manipulations respectueuses du Bien-être ;
- l'introduction d'œuf et de poissons indemnes de maladies ;
- la **protection contre les bio-agresseurs** comme les oiseaux piscivores qui peuvent transmettre des pathogènes ou provoquer des blessures.

De façon plus précise, des mesures chimiques sont établies pour limiter l'introduction de pathogènes dans l'élevage :

- la désinfection des bassins et bacs avant l'introduction des nouveaux poissons ;
- l'utilisation de bacs de guarantaine ;
- la désinfection des œufs ;
- la désinfection de l'eau. Pour cela plusieurs substances sont utilisées comme le formol, le chlorure de sodium, le peroxyde d'hydrogène, le sulfate de cuivre, les iodophores et la chloramine T. Concernant les désinfectants il s'agit de produits coûteux, dont il faut respecter le protocole d'utilisation afin qu'ils soient réellement efficaces. De plus, leur impact sur le poisson est reconnu comme étant négatif car ils sont très corrosifs et provoquent des lésions sur le poisson (Jorgensen et

al., 2009). Des études ont montré que l'exposition au formol engendrait des lésions épithéliales et des changements dans la structure du mucus cellulaire et provoquait l'augmentation de la cortisolémie du poisson. Il est intéressant de noter que cette pratique est répandue et que les labels autorisent la désinfection de l'eau des bassins en présence des animaux en utilisant de l'ozone et de l'eau oxygénée (DGPEI, 2007).

Figure 20: Tri des anguilles.



Source: http://www.vetcare.gr/ARTPRES/Medfish\_welfare.htm#current\_practice

## b) Prophylaxie médicale

L'alimentation permet d'apporter des nutriments spécifiques (acides aminés, acides gras essentiels, vitamines, minéraux), permettant d'améliorer la santé et la résistance de l'organisme contre les maladies. Le poisson est un animal sujet au risque de peroxydation en raison de la quantité importante d'acides gras insaturés présents dans ses tissus et dans son alimentation, aussi l'ajout de compléments alimentaires présente un réel intérêt grâce à leurs propriétés anti oxydantes.

#### • Les immunostimulants

Il s'agit de substances chimiques généralement obtenues à partir de sources bactériennes, d'algues brunes ou rouges et de champignons terrestres qui seraient de nouvelles sources potentielles. Ils permettent de **renforcer le système immunitaire** en agissant sur la réponse non spécifique et **renforcent la résistance aux pathogènes** (Tableau 11). L'administration d'immunostimulants lors d'étapes critiques comme le tri, la smoltification et la vaccination, semble intéressante (Ringø *et al.*, 2011). Leur **intérêt au stade larvaire est incertain**. Il serait possible qu'ils inhibent le développement de l'animal mais diminuent le taux de mortalité en élevage. Un récepteur aux immunostimulants (RTL5) a été mis en évidence chez la truite (Bricknell et Dalmo, 2005).

Tableau 11: Actions in vitro de certains immunostimulants.

	Action antibactérienne	Action antivirale	Action antiparasitaire
Acyltripeptide	х		
synthétique			
β-glucane	x	x	х
Dinucléotide cytosine		Х	
polygluanine			
Lévamisole		x	х
Muramyl dipeptide	x	x	х
Peptidoglucane	x		

Source: Bricknell et Dalmo (2005).

La façon de distribuer l'aliment est primordiale. Si l'aliment est distribué en continue des résistances peuvent apparaître chez certains poissons, ce qui peut désensibiliser l'animal au traitement voire provoquer une immunodépression du poisson (Bricknell et Dalmo, 2005). La voie d'administration privilégiée pour les larves est le mélange à l'eau. Il faut être vigilant à ce que ces molécules ne bouchent pas le filtre, ce qui aurait des conséquences sur la qualité de l'eau du poisson. Pour les poissons adultes les immunostimulants sont mélangés à la nourriture ou bien administrés par injection, ce qui rajoute une étape stressante au poisson. Leur coût est élevé ce qui limite leur usage.

#### Les probiotiques

Les probiotiques sont des microorganismes vivants introduits dans l'alimentation ou dans l'eau permettant d'obtenir un bénéfice immunitaire (Blanco Guttierrez, 2008). On peut prendre l'exemple de *Pseudomonas, Vibrio, Lactobacillus* et *Bacillus* dont certaines souches sont utilisées chez la truite arc-en-ciel. Le but est d'obtenir un **équilibre entre les microorganismes pathogènes et la flore commensale** de l'animal qui varie en fonction de l'environnement du poisson et son statut (Wang *et al.*, 2008). Les probiotiques sont administrés dans l'aliment ou dans le milieu de culture des poissons. Tout comme les immunostimulants, il faut que les probiotiques soient utilisés assez longtemps pour stimuler le système immunitaire. Toutefois s'ils sont utilisés en continue ils peuvent aussi causer une immunodépression chez le poisson.

Leur mécanisme d'action n'est pas encore bien connu. Ils pourraient :

- -faciliter la digestion en étant des sources de nutriments et enzymes.
- -stimuler l'activité des leucocytes.
- -améliorer la qualité de l'eau, en consommant la matière organique (Balcazar et al., 2006).

Les probiotiques et les immunostimulants sont des molécules qui « rassurent » le consommateur, contrairement aux antibiotiques. Le Label Bio conseille ainsi l'usage de ces traitements plutôt que celui des antibiotiques, très surveillé par le label (DGPEI, 2007).

#### Vaccination

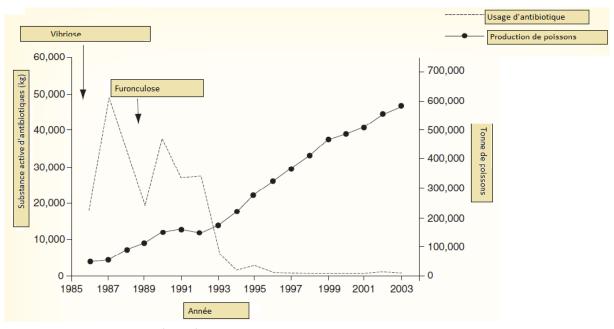
Comme les mammifères, le poisson possède un système immunitaire. Néanmoins le poisson présente la particularité de synthétiser uniquement des anticorps IgM, surtout présents dans le mucus. L'immunité spécifique est donc une **immunité de muqueuses** (Blanco Guttierrez, 2008). Une autre différence réside en l'**absence d'immunité maternelle** ce qui rend impossible le transfert d'immunité en vaccinant les géniteurs, pourtant utile car de nombreuses maladies se déclarent au stade larvaire ou alevin. La grande diversité des poissons : plus de 25 000 espèces répertoriées, présents dans des habitats aux caractéristiques très différentes, et les degrés d'évolution divers, laisse penser que les stratégies de lutte contre les pathogènes peuvent être différentes, tout comme la réponse au vaccin. Chez le saumon par exemple des anticorps apparaissent quatre à six semaines après l'administration du vaccin tandis que le bar développe des anticorps au bout d'une semaine.

Le vaccin permet de stimuler la réponse immunitaire du poisson par la production d'anticorps pour le protéger de manière spécifique contre une maladie. Le but de la vaccination est de protéger l'animal, à coût limité avec une totale innocuité et par administration facile, destinée à éviter les manipulations.

## Les avantages du vaccin:

- il s'agit d'une **méthode de prévention durable**. Le vaccin permet de limiter le nombre d'administration de molécules antibiotique et donc l'**antibiorésistance**, l'impact écologique, et le coût pour l'éleveur (Figure 21).
- il est le seul rempart aux affections virales.

Figure 21 : Baisse de l'utilisation d'antibiotiques depuis 1985 jusqu'à 2003, en raison de l'usage des vaccins en Norvège.



Source: Sommerset et al. (2005).

Plusieurs modalités d'administration sont possibles. Pour les plus gros poissons (le poids minimal de la truite pour administrer le vaccin varie de 6 à 20g selon les vaccins), l'injection intrapéritonéale est citée comme étant la plus efficace. L'injection permet de diminuer le volume de vaccin, comparé à l'immersion et que chaque poisson reçoive la dose correcte de vaccin. Toutefois les poissons doivent être anesthésiés et la manipulation crée un **stress** pour l'animal (Sommerset *et al.*, 2005). Cette procédure est coûteuse (Figure 22).



Figure 22 : Injection intrapéritonéale du vaccin sur des saumons d'atlantique anesthésiés.

Source: Sommerset et al. (2005).

L'administration *per os*, est un procédé non stressant, et peu coûteux. Cependant l'immunité acquise est faible et il est quelques fois nécessaire de renouveler l'administration du vaccin. Le vaccin étant mélangé à la nourriture, il faudra prêter attention à la quantité de nourriture distribuée pour doser le vaccin. L'administration par immersion du poisson pendant quelques secondes, dans un vaccin dilué à 1/10 dans l'eau ou bien à 1/500 pendant une heure, permet une vaccination d'un grand nombre d'individus. Néanmoins cette technique est stressante par les transferts qu'elle demande. Les poissons ne peuvent être vaccinés qu'à partir de 5g et s'ils présentent des lésions, la protection sera moins efficace. Ce procédé ne protège pas contre tous les antigènes.

L'administration du vaccin peut avoir des **effets sur le Bien-être**. En effet des effets secondaires sont décrits et ce surtout chez les petits poissons ou alevins (Sommerset *et al.*, 2005). L'injection intrapéritonéale peut provoquer des **lésions internes**, voire des **déformations de la colonne vertébrale**. Les adjuvants au vaccin peuvent provoquer des réactions d'hypersensibilité, et après l'administration du vaccin les éleveurs observent couramment que les poissons mangent moins, et que leur taux de conversion baisse. Ce qui pourrait être la réponse au stress vécu.

Des bonnes pratiques peuvent être mises en place pour que l'administration du vaccin soit moins vulnérante pour le poisson comme l'ajout d'immunostimulants et de probiotiques, et la maitrise de l'alimentation et de la qualité de l'eau, notamment en respectant les températures optimales de l'eau pour chaque espèce.

# F) Alimentation

La maitrise de l'alimentation est un point essentiel en élevage. Elle permet une bonne croissance mais aussi une bonne santé de l'animal et influence de nombreux aspects de l'élevage comme l'aspect sanitaire ou la reproduction des poissons et a donc un retentissement économique sur l'élevage. En aquaculture, la ration alimentaire sera adaptée à l'espèce, au poids de l'animal, ainsi qu'à la température de l'eau (Tableau 12). En effet, certaines espèces, comme la carpe et le tilapia, ont un régime alimentaire omnivore. Au contraire, les espèces traditionnellement élevées en Europe sont pour la plupart carnivores (truite, saumon, bar, daurade royale, turbot etc). Le stade de développement du poisson est aussi à prendre en compte puisque de l'écloserie au stade post larvaire les poissons reçoivent des organismes planctoniques vivants de type algues, diatomées, flagellates, levures rotifères, ou du plancton vivant ou congelé associé soit à des déchets de poissons, mollusques ou crustacés soit à un aliment sec, ou bien des microparticules. Par la suite le poisson reçoit un aliment sec sous la forme de granulés.

Tableau 12 : Exemple d'une table de nourrissage indicative fournie par le Gouessant pour son aliment « Neo ».

NEO	Diamètre	Poids du poisson		Température de l'eau					
	(mm)	(grammes)	5°C	7°C	9°C	11°C	13°C	15°C	17°C
4	4,5	40 - 100	0,6	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	1,3
5	5,5	100 - 500	0,5	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,2
7	7,5	500 - 1000	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	0,9
9	9,5	1000 - 2000	0,4	0,5	0,7	0,8	1	1,2	0,8
9	9,5	2000 - 2500	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,6
11	11	> 2500	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,5

Cette table donne la quantité de nourriture en kg/ 100 kg de biomasse par jour, en fonction de la taille du poisson, de son poids et de la température de l'eau.

Source: Corlay (2007).

#### i) <u>Mode d'alimentation</u>

La distribution peut être manuelle ou automatique, et elle **dépendra du système d'élevage**. Il existe aussi des distributeurs automatiques à la demande qui fonctionnement mécaniquement par pression de l'animal ou par détection du poisson à l'aide d'un système à ultra son, infrarouge ou d'une caméra.

## a) Intérêts de l'alimentation manuelle

L'alimentation manuelle **permet une surveillance quotidienne des animaux**, c'est d'ailleurs pour cette raison que les labels la recommandent. La table de nourrissage reste indicative et est censée nourrir jusqu'à satiété les animaux. Toutefois la table de nourrissage dépend des conditions de l'élevage (Corlay, 2007) et correspond à la quantité d'aliment à donner à l'ensemble de la biomasse grâce à l'estimation de besoins moyens. Si l'éleveur ne se réfère qu'à cette table il peut donner trop d'aliment, ce qui détériorera la qualité de l'eau à cause des refus ou bien pas assez ce qui causera un stress nutritionnel chez les animaux avec des conséquences sur la physiologie et le comportement des poissons. Il est nécessaire d'associer l'utilisation de cette table à l'observation du comportement des poissons. L'alimentation manuelle des animaux permet à l'éleveur de s'assurer que les animaux sont 86

nourris jusqu'à satiété (Figure 23). Cette technique permet de limiter les refus alimentaires qui provoquent une augmentation d'ammoniac et de matières en suspension dans le milieu, et donc d'améliorer la qualité de l'eau. Cette méthode est toutefois **coûteuse en énergie et temps**, puisque les poissons sont nourris au moins deux fois par jour et les alevins trois à huit fois par jour, par conséquent elle demande de la main d'œuvre (Breton, 2005).

Figure 23: Distribution manuelle de l'alimentation aux poissons marins.

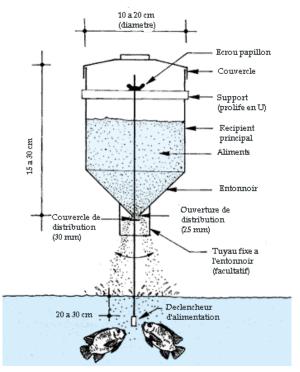


Source: http://www.guidedesespeces.org/fr/nourrir-les-poissons-d%E2%80%99%C3%A9levage

#### b) Intérêts de l'alimentation à la demande

Ce mode de distribution est surtout intéressant pour les animaux jeunes chez qui la demande énergétique est importante en raison de leur croissance. De plus, les pics d'activité ont lieu à l'aube et pendant la nuit, donc si l'éleveur présente un distributeur automatique à la demande (FIGURE 24), il n'aura pas besoin d'être présent sur le site à ces moments clés. Un autre avantage de ce système, est qu'en ne distribuant pas la nourriture au moment où l'animal souhaite manger, sa prise alimentaire diminue (Shima et al., 2003), ainsi le distributeur automatique permet d'augmenter la prise alimentaire du poisson en fournissant l'alimentation au moment le plus opportun. Le distributeur automatique à la demande permet aussi de diminuer les effets négatifs liés aux comportements hiérarchiques (Shima et al., 2003). L'inconvénient de ce mode de distribution est que si l'apport énergétique de la ration ne répond pas à leurs besoins, les poissons n'adapteront pas leur demande, ils ne prendront pas plus ou moins de granulés en fonction de la richesse du granulé. Ainsi, l'éleveur doit avoir préalablement bien équilibré sa ration, pour utiliser ce mode de distribution.

Figure 24 : Distributeur automatique à la demande.



Source: http://www.fao.org/fishery/static/FAO\_Training/FAO\_Training/General/x6709f/x6709f10.htm

# ii) <u>Paramètres physiques de l'aliment</u>

#### a) Flottaison de l'aliment

La façon de présenter la nourriture est aussi à prendre en compte. En effet, la nourriture peut couler ou flotter. Certaines espèces préfèrent la nourriture qui flotte comme la truite et ne mangeront pas une nourriture au fond du bassin. Une nourriture qui flotte permet d'observer le nourrissage et d'ajuster la quantité de nourriture. Toutefois, la flottaison a l'effet négatif d'attirer les oiseaux prédateurs. Les plus petits poissons sont alors capturés et les plus grands sont stressés (Conte, 2004).

# b) Granulométrie

Traditionnellement en aquaculture, ce sont les aliments complets qui sont distribués aux poissons, de ce fait les poissons sont exclusivement dépendants de l'approvisionnement externe. La ration alimentaire complète se trouve sous forme de granulés ou d'aliments semi-humides préparés à partir de différents ingrédients se rapprochant le plus possible des besoins nutritionnels du poisson entrainant le maximum de croissance (

Figure 25). La taille du granulé est un facteur important. En effet, si la particule est trop grosse comparée à la taille de l'animal, elle ne sera pas mangée et si la particule est trop petite elle sera mal vue et ne sera pas non plus consommée. Une particule trop petite peut être la conséquence d'une mauvaise formulation par le fabricant d'aliment, d'un mauvais stockage etc. La distribution manuelle peut aider à éliminer une partie des particules trop petites. Si la granulométrie n'est pas adaptée, les refus alimentaires vont s'accumuler dans les bassins, provoquant une augmentation de la teneur en ammoniac, et en solides en suspension, ce qui détériore la qualité de l'eau.

Figure 25 : Exemple de granulés distribués en aquaculture.



Source: https://salmonfacts.com/what-eats-salmon/does-salmon-eat-genetically-modified-raw-materials/.

## iii) Composition nutritionnelle de l'aliment

Les régimes alimentaires, comme d'autres facteurs, ont des effets majeurs sur la tolérance au stress et la santé et par conséquent sur une bonne croissance, le poisson doit être nourri en quantité suffisante en respectant le besoin en nutriments (Trichet, 2010).

#### a) Déficit en nutriments

La privation de nourriture, provoquant un épuisement général est rare en pisciculture. Toutefois une carence en nutriment peut engendrer chez le poisson :

- une perte de poids;
- un obscurcissement de la peau;
- des changements morphologiques avec une tête plus grosse que le corps ;
- un aspect mou à la palpation du poisson. A l'autopsie ceci se traduit par l'absence de graisse abdominale, une vessie natatoire dilatée, et des viscères dilatés (Alvarez, 2008a). Il faut noter que la digestion des nutriments et le métabolisme des nutriments dépend des habitudes alimentaires de l'espèce. Par exemple, les poissons carnivores et ceux herbivores n'utilisent pas de la même façon les hydrates de carbone complexe ou les plantes (Oliva-Teles, 2012).

# b) Notions de base concernant l'apport énergétique

Les poissons ont besoin d'énergie afin de synthétiser leurs propres tissus, et d'effectuer des fonctions essentielles à leur vie. Ils présentent toutefois des particularités en comparaison avec les mammifères. Ainsi, la flottaison permet de limiter l'activité musculaire du poisson, l'absence de thermorégulation limite aussi les dépenses énergétiques du poisson. Toutefois la nage et l'extraction de l'oxygène dissous de l'eau engendrent des dépenses énergétiques non négligeables et qui n'existent pas chez les mammifères terrestres. Au final, les poissons ont un besoin d'entretien bien moins important que celui des mammifères, ce qui explique leur forte efficacité alimentaire et donc la rapidité de leur croissance. Les poissons tirent leur énergie de trois molécules : protéines, lipides et

glucides. Le milieu aquatique est très abondant en matière protéique et les poissons digèrent facilement les protéines contrairement aux glucides complexes comme l'amidon cru. Quand un poisson ingère un aliment, il subit des pertes par les déchets de sa digestion comme l'excrétion de fèces ou d'urine. Il faut donc déduire ces pertes pour connaître l'énergie que le poisson a réellement tirée de l'absorption de l'aliment. L'énergie brute de l'aliment initial à laquelle est déduite l'énergie excrétée dans les fèces est appelée énergie digestible (= ED). L'énergie digestible en kJ par gramme est deux fois plus importante pour les lipides que pour les protéines, et six fois moins importante pour l'amidon cru. La tendance actuelle est d'utiliser des rations riches en énergie. Il est donc possible de voir apparaître des excès énergétiques dans l'alimentation (Oliva-Teles, 2012).

#### Déficit énergétique

Lorsque l'apport énergétique de la ration est insuffisant, les poissons augmentent leur exploration du milieu, et nagent plus afin de trouver de la nourriture (Mc Farlane *et al.*, 2004). Il est alors possible d'observer chez les truites l'apparition de comportements agressifs, et, au niveau morphologique, une perte de poids jusqu'à l'émaciation des poissons.

## • Excès énergétique

Lors d'excès énergétique de la ration, l'ingestion des nutriments essentiels est diminuée. A l'autopsie, l'animal présente une accumulation de matière grasse (Mc Farlane *et al.*, 2004; Alvarez, 2008a).

# c) Apport énergétique grâce aux protéines

Les protéines apportent les éléments nécessaires à la constitution de l'organisme. De nombreux **poissons digèrent mal les glucides** (la carpe et la truite notamment), ce qui fait des protéines une source importante d'énergie (Breton, 2005). L'apport en protéines doit être suffisant, mais aussi de bonne qualité. Ceci sous-entend qu'elles présentent une bonne digestibilité, et un profil en acides aminés adapté à l'animal. Si ce n'est pas le cas des dommages des nageoires apparaissent (Barrow et Ellis, 1999).

#### Les acides aminés

On peut scinder les acides aminés en deux catégories : les acides aminés essentiels et non essentiels. Sont considérés comme essentiels ceux qui ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme. Il faut donc qu'ils soient apportés par l'alimentation. Les acides aminés essentiels participent à l'assimilation des autres acides aminés. Les dix acides aminés essentiels sont: l'Arginine, l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, l'histidine, la thréonine, le tryptophane, et la valine. La cystéine et la tyrosine sont considérés comme « semi- essentiels » car ils sont synthétisés par le poisson si et seulement si la méthionine et la phénylalanine sont présents en quantité suffisante. Si seulement un de ces éléments est absent ou en quantité insuffisante la synthèse des protéines s'en trouve perturbée. Une forte modification de l'équilibre en leucine et isoleucine provoque par exemple une perturbation de la croissance (Breton, 2005). Buentello et Gatlin (2001) mettent en évidence que lors d'un régime complémenté en arginine, le taux de survie face à Edwardsiella ictaluri augmente significativement. Ces acides aminés permettraient donc de lutter contre l'infection.

# • Déficit en protéines

Lors de régime alimentaire déficitaire en acides aminés, les poissons voient **leur croissance baisser** et ils diminuent leur prise alimentaire. En effet, un déficit en azote cause un retard de croissance et un manque de tryptophane est à l'origine de **scolioses** chez la truite. Il a été montré qu'une carence en protéines pouvait avoir un **impact sur la fonction immunitaire** et augmentait la susceptibilité du poisson à contracter une infection. Chez l'alevin de truite arc-en-ciel, un régime protéique diminué affecte le taux de survie des animaux face au virus NHI (nécrose hématopoïétique infectieuse) (Kiron *et al.*, 1993), il en est de même chez le saumon royal (*Oncorhynchus tshawytscha*) (Hardy *et al.*, 1979), et le barbu de rivière (*Ictalurus punctatus*) (Yildirim-Aksoy *et al.*, 2008). La concentration en anticorps sériques n'est pas touchée par un régime pauvre en protéine mais c'est l'activité des lysozymes, et de la protéine C qui en serait réduite (Kiron *et al.*, 1993).

#### Excès en protéines

Un apport trop important en protéines peut provoquer l'accumulation de graisse avec **stéatose du foie** du poisson (Breton, 2005).

- c) Apport énergétique grâce aux lipides
  - Importance des lipides dans la ration des poissons

Les lipides représentent un pourcentage important de la ration des poissons (Corlay, 2007), par l'apport énergétique, le coût et les moindres déchets qu'ils engendrent en comparaison avec les protéines. Leur rendement en croissance est ainsi meilleur que les protéines (Breton, 2005). Le besoin en lipides varie en fonction des espèces : le saumon d'atlantique a des performances optimales avec un régime alimentaire incluant 38% ou 47% de lipides contre 31% de lipides pour le loup de mer européen (Hemre et Sandnes, 1999) et 10 à 30% de lipides pour les truites (Corlay, 2007).

## Les acides gras

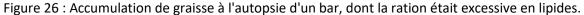
Les lipides sont constitués d'acides gras insaturés ou saturés. Les acides gras saturés (oméga 6) à chaines longues sont beaucoup moins digestes pour les poissons que ceux à chaines courte insaturés (oméga 3), la liaison est plus facile à rompre. Il existe deux familles d'acides gras essentiels dites n-3 (acide linolénique) et n-6 (acide linoléique). Tous comme les acides aminés, ils sont dit « essentiels » car ils ne sont pas synthétisés par l'organisme. Les besoins en acides gras essentiels sont différents entre les poissons d'eau douce et les poissons marins (Sargent *et al.*, 2002) mais aussi en fonction du stade de développement et de la source d'acide gras (Watanabe *et al.*, 1982). Les poissons marins sont plus sensibles à l'apport en acides gras à chaines longues, que les poissons d'eau douce qui sont eux capables de réaliser des bioconversions des acides gras. Les acides gras essentiels modifient la réponse au stress et permettent d'un point de vue biochimique, de diminuer les quantités de LDL, cholestérol, et lipides sanguins qui sont très sensibles aux agents oxydants.

#### Déficit en lipides

En cas d'insuffisance en acide gras essentiels, une baisse de croissance et d'efficacité alimentaire est observée (Sargent *et al.*, 2002), tout comme une moins bonne gestion du stress, et une augmentation de la mortalité (Alvarez, 2008a; Barrow et Ellis, 1999; Breton, 2005). D'autres signes spécifiques à chaque espèce existent (Sargent *et al.*, 2002). Chez la truite, une dépigmentation généralisée, une cardiomyopathie, et une dégénérescence hépatique peuvent apparaître (Alvarez, 2008a).

#### • Excès en lipides

Les conséquences sur le poisson sont celles d'un excès énergétique précédemment citées, à savoir une accumulation de graisse (Figure 26). Le label Rouge définit donc des limites de la part de lipides dans l'aliment des saumons, qui ne doivent pas représenter plus de 12% de l'aliment brut (Scottish quality salmon, 2013).





Source: http://www.vetcare.gr/ARTPRES/Medfish\_welfare.htm#current\_practice

## d) Apport énergétique grâce aux glucides

Comme nous l'avons précédemment expliqué, ils ont un **intérêt nutritionnel faible** et sont surtout utilisés pour la bonne tenue du granulé grâce à l'amidon notamment. De plus, en augmentant la part de glucides dans la ration, le taux d'absorption des protéines et des acides gras diminue, ce qui réduit son intérêt nutrionnel (Krogdahl *et al.*, 2004). Il faut donc faire attention à l'apport de glucides car il peut aussi provoquer une hyperglycémie continue, qui cause des dommages à l'organisme du poisson. La salinité est un facteur qui influe sur le taux d'absorption des glucides, lipides et protéines, en effet l'absorption est plus importante en eau douce qu'en eau salée (Krogdahl et *al.*, 2004).

# e) Vitamines

La plupart des aliments sont complémentés en vitamine. L'apport en vitamines est essentiel en raison de leurs **rôles multiples** dans le maintien de l'intégrité physique du poisson, la croissance et le métabolisme, la reproduction, la nage, et la résistance aux infections (Tableau 13).

Tableau 13: Synthèse des vitamines nécessaires à l'alimentation du poisson et de leurs rôles associés.

Vitamine	Rôle	Variations des besoins	Signes majeurs lors de carence	Source
			de carence	
Α	- Possible rôle dans la	- Besoins plus	- Croissance	(Alvarez, 2008a)
(axérophtol)	formation des ovules.	importants chez les	irrégulière.	
	- Possible rôle dans le	poissons marins.	- Exophtalmie.	
	fonctionnement oculaire.		- Œdème.	
B1 (thiamine)			- Croissance lente.	(Breton, 2005;
,			- Anorexie.	Alvarez, 2008a)
			- Mouvements	, ,
			Anarchiques.	
			- Mort.	
B2			- Arrêt de la	(Barrow et Ellis,
(riboflavine)			croissance.	1999; Breton,
			- Anorexie.	2005; Alvarez,
			- Opacification des	2008a)
			yeux.	
			- Erosion des	
			nageoires.	
В6		- Besoins qui diminuent	- Anorexie	(Breton, 2005;
(pyroxidine)		avec l'âge et	-Convulsion.	Alvarez, 2008a)
		augmentent à la belle	-Déséquilibre.	
		saison.		
B12	- Lutte contre l'anémie.		- Anémie.	(Breton, 2005;
	- Facilite la croissance.			Alvarez, 2008a)
Clasida	Facilita la arciana a at la	Dosaine alve	Fracion des	(Parray) et Ellie
C (acide	- Facilite la croissance et la	- Besoins plus	- Erosion des	(Barrow et Ellis,
ascorbique)	formation du squelette.	importants chez les poissons jeunes.	nageoires.	1999; Breton, 2005; Alvarez,
	- Favorise la cicatrisation.	poissons jeunes.		2005; Alvarez, 2008a)
				20084)
	- Favorise la résistance aux			
	pathogènes.			
	- Rôle régulateur du stress			
	et antioxydant.			
D (calciférol)	- Rôle dans la calcification.		- Croissance lente.	(Alvarez, 2008a)
(3.3.2.2.7)			- Anorexie.	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
			- Convulsions.	
C	   et Fllis (1999): Breton (2005	(2000-)		1

Source: Barrow et Ellis (1999); Breton (2005); Alvarez (2008a).

Tableau 14 (continuation) : Synthèse des vitamines nécessaires à l'alimentation du poisson et de leurs rôles associés.

Vitamine	Rôle	Variations des besoins	Signes majeurs lors de carence	Source
E (tocophérol)	- Favorise le stockage de la vitamine A dans le foie Régulation du stress , par son action antioxydante Concentration qui dépend de la concentration en acide gras insaturés.		<ul> <li>- Faible croissance.</li> <li>- Myopathie.</li> <li>- Anémie.</li> <li>- Stérilité.</li> <li>- Lipidose</li> <li>hépatique.</li> <li>- Mort.</li> </ul>	(Breton, 2005; Alvarez, 2008a)
K	- Favorise la croissance.		- Hémorragie. - Anémie.	(Alvarez, 2008a)
Acide folique			- Anémie Croissance lente Anorexie Augmentation de la mortalité.	(Breton, 2005; Alvarez, 2008a)
Choline	- Empêche la stéatose hépatique.	- Indispensable	- Retard de croissance. - Mauvais taux de conversion.	(Breton, 2005; Alvarez, 2008a)
Inositol	- Bloque l'accumulation des graisses dans le foie.	- Indispensable	- Erosion des nageoires.	(Barrow et Ellis, 1999; Breton, 2005; Alvarez, 2008a)
H (biotine)			- Dégénérescence de la peau de la truite Fario	(Breton, 2005; Alvarez, 2008a)
PP (nicotamine)			- Lésions dermiques.	(Breton, 2005; Alvarez, 2008a)

Source: Barrow et Ellis (1999); Breton (2005); Alvarez (2008a).

# f) Sels minéraux

Les sels minéraux se trouvant directement dans le milieu d'élevage du poisson, il est **très rare** que les poissons souffrent de carence en minéraux. Toutefois en fonction de la matière première utilisée comme nourriture la teneur en minéraux peut varier. Les proies vivantes ont ainsi peu de matière minérale. La forme chimique de l'aliment ou l'interférence de divers éléments de la ration peut aussi diminuer l'absorption des minéraux (Alvarez, 2008a). Une étude réalisée par l'INRA Sizun a permis de montrer que l'animal soumis à une nage soutenue, sont capable de mieux mobiliser les minéraux pour construire leur squelette (Deschamps *et al.*, 2009).

#### Zinc

Une carence en zinc peut provoquer une érosion des nageoires (Barrows et Ellis, 1999).

#### Calcium

Une carence en calcium **ralentit le mécanisme d'ossification**. La conséquence morphologique de ce ralentissement est une modification de la forme des vertèbres et de la taille des poissons. Il est très rare que les animaux soient carencés en calcium, sauf si une grosse erreur dans la formulation de la ration se produit (Alvarez, 2008a).

#### Phosphore

Un déséquilibre en phosphore peut avoir de lourdes conséquences, surtout pour le jeune poisson en croissance. En effet, un excès en phosphore provoque une diminution de la croissance de l'animal. Le mécanisme n'est pas encore connu, mais il semblerait que l'excès de phosphore entraine une diminution de l'utilisation du zinc et des protéines. Une carence en phosphore causerait quant à elle un défaut de calcification du squelette, et une déformation de la colonne vertébrale. Les salmonidés sont particulièrement sensibles à ce problème (Alvarez, 2008a).

## iv) Régime végétarien

Face à l'augmentation de la demande des consommateurs en poissons, à l'appauvrissement des stocks halieutiques et à alimentation des poissons d'élevage basée sur la transformation des poissons pélagiques (pêche minotière), l'aquaculture doit relever plusieurs défis dont l'évolution de l'alimentation proposée aux poissons élevés. Il faut trouver des alternatives aux matières premières tout en veillant à ce que les poissons soient capables d'assimiler correctement ces aliments.

# a) Inconvénients du régime végétarien

#### • Effets sur le stress et la croissance

Dans une étude de Sadoul *et al.* (2016), la croissance, la capacité de survie, le comportement et la réponse aux stress ont été comparés chez deux groupes de truites ayant reçu deux régimes différents. Un groupe fut nourri avec un régime alimentaire végétarien et l'autre avec des ressources marines. Bien que les deux groupes présentent des comportements alimentaires équivalents, les truites nourries avec un régime alimentaire végétarien voient leur **taux de croissance affecté**, et une **réponse au stress (isolement) exacerbée** avec un taux de cortisol augmenté. Cette étude suggère que le régime végétarien au stade alevin a des effets notables sur les paramètres physiologiques et sur les comportements, avec un impact sur le Bien-être.

# • Carences du régime végétarien

Un autre inconvénient du régime végétarien réside en la **présence de facteurs endogènes antinutrionnels** qui limitent l'utilisation des nutriments (Gatlin, 2002). Une des pathologies qui apparait alors est appelée « syndrome du foie vert » (Watanabe *et al.*, 1998; Takagi *et al.*, 2010).

Les régimes végétariens sont particulièrement carencés en taurine, aussi la complémentation d'un régime sans protéine animale par de la taurine peut améliorer les performances du poisson (Takagi *et al.*, 2010).

## • Conséquences variables selon les poissons

Un remplacement partiel dans le régime alimentaire du poisson par des protéines végétales peut être efficace à des taux différents selon les espèces. Néanmoins, l'équilibre lors de ce remplacement est rarement atteint chez les espèces carnivores (Takagi et al., 2000). Par exemple, Sitja-Bobadilla et al (2005) ont observé que la daurade royale nourrie avec un régime végétarien, présentait une altération au niveau de l'histologie de leur intestin. Les poissons présentaient une augmentation des vacuoles, ou de la disposition des protéines dans les entérocytes et une hypertrophie de la sous-muqueuse avec une infiltration éosinophilique.

# b) Adaptation des nouvelles souches de truites végétariennes

Les généticiens de l'INRA de l'unité Gabi de Jouy-en-Josas (Leboucher *et al.*, 2011) se sont interrogés sur la variabilité génétique de la truite d'élevage concernant l'aptitude à utiliser les aliments d'origine végétale. Certains individus s'adaptent-ils mieux que d'autres ? Est-il possible de sélectionner pour cette aptitude ? Dans une première expérience les chercheurs ont nourri des poissons dès le premier repas avec une alimentation totalement végétale. Ils ont ainsi confirmé *a priori* l'existence d'une variabilité génétique sélectionnable. En septembre 2012, une étude réalisée après une première génération de sélection a montré qu'il était possible d'améliorer la survie, la croissance et l'homogénéité de taille des poissons en sélectionnant les truites pour leur aptitude à survivre et grandir avec des aliments d'origine végétale (Boucher *et al.*, 2012). Les mécanismes en jeu, expliquant la variabilité individuelle à s'adapter ne sont pas encore connus. Aujourd'hui, les truites issues de la septième génération sélectionnée présentent les mêmes performances d'élevage que des truites carnivores d'élevages standards, cependant le prix de l'alimentation végétarienne rend la généralisation d'élevage complexe.

#### v) Arrêt de l'alimentation : le jeûne

Nous venons d'évoquer les différents points clefs de l'alimentation des poissons en élevage. Un autre point largement critiqué par les associations de défense des animaux concernant la conduite alimentaire est le jeûne du poisson, effectué en vue de l'abattage. L'association L214 (2016) critique ainsi la pisciculture en affirmant que « Les poissons sont affamés et privés de nourriture les jours précédant leur abattage afin de vider leurs intestins ». Le jeûne est considéré comme une opération nécessaire au transport et à l'abattage. La durée du jeûne doit être suffisante pour s'assurer que le contenu des intestins soit évacué. Le tractus digestif du poisson contient de nombreuses bactéries qui produisent des enzymes digestives capables de causer en post mortem une autolyse, dont le résultat est une forte odeur surtout au niveau de l'abdomen (Huss, 1995). De plus, le jeûne permet d'éviter la présence de fèces au niveau de l'anus, qui peut être repoussant pour le consommateur. Le jeûne évite aussi une détérioration rapide la qualité de l'eau lors du transport. La période de jeûne dépend de la température mais elle varie en général d'un à une dizaine de jours. Chez la daurade par exemple, Ferreira Pinto et al. (2007) affirment qu'il faut effectuer un jêune d'une durée minimale d'un jour mais

ne pas dépasser huit jours. Les raisons qui poussent à allonger cette période de jeûne de plus de 48h sont des variations dans les prix du marché du poisson, et un rythme d'abattage prolongeant le temps d'attente des poissons dans les bassins du centre de rassemblement. Le problème est la perte de poids qui peut aller jusqu'à 1% du poids à une température dépassant 20°C. Par ailleurs, les propriétés physiques du muscle changent lors de jeûne prolongé. La chair est plus ferme après huit jours de jeûne comparé à un jeûne de un à trois jours, ceci est dû à un changement de solubilité des protéines et de pH (Gines et al., 2002). Rappelons que l'une des libertés du Bien-être est l'absence de faim, ainsi le jeûne pourrait nuire au respect de l'animal. Toutefois en réduisant la détérioration de l'eau de transport du poisson, il peut être vu comme bénéfique pour le Bien-être de l'animal. Les scientifiques s'accordent sur le fait que le jeûne est une méthode acceptable si elle ne se prolonge pas (Borderías et Sánchez-Alonso, 2011).

# G) Transport

Nous venons de voir que le jeûne était une des étapes permettant de diminuer le stress lors du transport en maintenant une bonne qualité du milieu. En pratique, quels sont les points clefs du transport à prendre en compte pour respecter le Bien-être du poisson ?

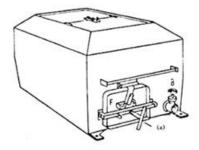
# i) <u>Modalités de transport</u>

Les principaux modes de transport sont le transport routier, aérien et fluvial ou maritime.

## a) Transport routier

Le transport routier est le plus utilisé par les fermes piscicoles (Figure 28). Les réservoirs de transports sont généralement en fibre de verre et sont équipés d'une trappe de chargement scellée et d'une valve ou d'un tuyau d'écoulement (Figure 27: Bac de transport d'environ 1000 litres, représentatif de ceux trouvés dans les camions de transportFigure 27). Le but est que le système soit bien isolé ce qui limite les changements thermiques et que la forme du réservoir permette une bonne aération de l'eau (Piper et al., 1982).

Figure 27: Bac de transport d'environ 1000 litres, représentatif de ceux trouvés dans les camions de transport



Source: Berka (1986).

Figure 28: Pompage des truites dans des cuves de transport installées sur un camion.



Source: http://www.normandie-truites.fr/logistique.html

Les réservoirs sont équipés de sonde permettant de suivre le taux d'oxygène et la température de l'eau au cours du voyage.

#### b) Transport par bateau

Il s'agit du transport le plus commun dans le cadre de la pisciculture marine. Les poissons sont pompés directement dans la soute des bateaux. L'approvisionnement en oxygène dans les viviers se fait par un système de valve ouverte lorsqu'il s'agit de système ouvert, ou plus rarement par un système de recirculation d'eau. Là encore, la qualité de l'eau est suivie grâce à un monitoring, tout comme le comportement des poissons grâce à la vidéosurveillance.

# ii) Qualité du milieu de transport

## a) Densité de stockage

Le poids de poissons qui peut être transporté en toute sécurité dans un bac est fonction de l'efficacité du système d'aération, de la durée du transport, de la température de l'eau, de la taille des poissons, et des espèces. Des calculs relatifs aux taux de chargement de diverses espèces de poissons sont présentés dans l'ouvrage de Piper et al. (1982). En conditions idéales, le chargement maximum de truites arc-en-ciel de 20 à 28 cm de longueur est de 3 à 3, 1 kg par litre d'eau pour une durée de transport de huit à dix heures. Des taux de chargement analogues conviennent pour l'omble de fontaine, la truite brune, et la touladi de la même taille. La FAO (Berka, 1986) recommande d'appliquer une densité qui permette de multiplier la durée du transport au moins par 1,5 afin d'éviter les désagréments pouvant découler d'un contretemps.

## b) Qualité de l'eau

La qualité de l'eau détermine la charge de poissons et la durée du transport, il est donc important de s'y intéresser (Berka, 1986). Le transport en bateau permet un bon renouvellement de l'eau, ce qui n'est pas toujours le cas lors des transports routiers. Les paramètres à surveiller sont la concentration en  $O_2$  et  $CO_2$ , en ammoniac et ammonium, le pH, la salinité et la température (Berka, 1986). Il est d'ailleurs recommandé d'avoir une concentration en  $O_2$  et une température de l'eau de transport, proches de celles de l'élevage (Terlouw *et al.*, 2007). Certains auteurs proposent d'ailleurs d'effectuer une transition pour acclimater l'animal à son eau de transport. Certaines mesures limitent la détérioration de la qualité de l'eau, comme :

- l'oxygénation avant et pendant le transport ;
- l'arrêt de l'alimentation avant le transport. En effet, dans des conditions identiques, la durée possible du transport est réduite de moitié lorsque le tube digestif n'est pas totalement vide (Berka, 1986) car la consommation d'oxygène est accrue tout comme la sensibilité au stress. De plus, en diminuant la quantité de fèces rejetés dans le milieu, une bonne qualité de l'eau est maintenue ;
- l'agitation de l'eau;
- le changement d'eau au cours du transport dans des stations prenant en charge l'eau utilisée.

# L'oxygène

Une concentration en oxygène dissous considérée comme élevée dans des conditions normales, n'est pas nécessairement suffisante, pour couvrir les besoins du poisson lors du transport. En effet, leur faculté à utiliser l'oxygène dépend de plusieurs facteurs dont :

- la **résistance des poissons au stress**. Ainsi, après avoir été manipulée la consommation d'oxygène est trois à cinq fois plus élevée. Il faut par exemple plusieurs heures aux alevins de salmonidés pour retrouver leur niveau normal de métabolisme de l'oxygène, c'est-à-dire en général après être arrivés à destination (Berka, 1986) ;
- l'espèce de poisson transportée (Berka, 1986) ;
- la taille du poisson. Un gros poisson consomme moins d'oxygène par unité de poids qu'un petit ;
- la **température de l'eau de transport**. Si la température de l'eau augmente de 10°C (de 10° à 20°C par exemple) la consommation d'oxygène est pratiquement doublée. Pour chaque augmentation de 0,5°C, il faudrait diminuer d'environ 5 à 6% le chargement et, inversement, pour toute baisse de 0,5°C, il faudrait accroître le chargement dans les mêmes proportions (Piper *et al.*, 1982) ;
- le pH de l'eau de transport ;
- les concentrations de gaz carbonique et de produits du métabolisme comme l'ammoniac.

La consommation d'oxygène est plus élevée pendant les 15 premières minutes du transport (Dupree et Huner, 1984), c'est pourquoi une injection supplémentaire d'oxygène (2 fois supérieure à la normale) devrait être fournie pendant le chargement et la première heure de transport.

L'apport en oxygène est souvent insuffisant pendant le transport, et le poisson puise dans ses propres réserves, ce qui crée une « **dette en oxygène** » (Berka, 1986), qui se soldera à son retour dans des conditions normales.

#### Le pH

Avec l'allongement de la durée du transport, le  $CO_{2}$ , produit par la respiration des poissons, acidifie le pH de l'eau (un pH de 7–8 est considéré comme optimal). Les modifications rapides du pH stressent les poissons, et diminuent la capacité de transport de l'oxygène par les hématies.

#### Température

La température de l'eau est un paramètre important à prendre en compte lors du transport des poissons. Lorsque la température est basse, le pH reste élevé et le métabolisme du poisson diminue. En règle générale, les tranches de température suivantes sont considérées optimales pour le transport des poissons en Europe : de 6 à 8°C pour les poissons d'eau froide et de 10 à 12°C pour les poissons d'eau chaude, en été; de 3 à 5°C pour les poissons d'eau froide et de 5 à 6°C pour les poissons d'eau chaude au printemps et à l'automne; et de 1 à 2°C pour tous les poissons en hiver. Evidemment ces tranches de température ne s'appliquent pas aux stades précoces des alevins. Le jeune frai des cyprinidés ne peut pas être transporté à des températures inférieures à 15°C, celui des salmonidés à des températures supérieures à 15 à 20°C; tandis qu'on considère comme optimale une température de 10°C pour les phases précoces des alevins des corégonidés (Berka, 1986).

## c) Procédés chimiques de traitement de l'eau et des poissons pendant le transport

Ces procédés qui consistent à traiter le milieu pour accroître la capacité des unités de transport et éviter des troubles physiologiques et sanitaires aux poissons sont constamment employés dans la solution des problèmes complexes liés au transport des poissons. Il s'agit entre autres, d'anesthésiques, de produits durcissant l'eau et favorisant la production d'oxygène, de sels, de substances bactériostatiques, de solutions tampons et d'antimoussants (Berka, 1986).

#### Anesthésiques

Il est souhaitable d'administrer un sédatif aux poissons pendant le transport car ainsi ils consomment moins d'oxygène et ne dégagent pas autant de CO<sub>2</sub> et d'ammoniac. Toutefois il faut éviter des doses trop fortes, car les poissons risquent de tomber au fond du bac, de s'empiler les uns sur les autres et de s'étouffer. Dans le cas où des pompes sont utilisées, les poissons risquent d'être pris dans la grille et de perdre des écailles. Le mieux est de verser le sédatif 30 minutes avant le chargement dans le conteneur et de n'administrer ensuite que de faibles doses au cours du transport. Recourir à des anesthésiques pour augmenter la capacité de charge ne convient pas. D'autres méthodes sont plus inoffensives et plus sûres. Il est illégal d'administrer des anesthésiques à des poissons qui doivent aller peu après à la consommation humaine. Un temps d'attente avant abattage forfaitaire de 28 jours doit être appliqué.

L'anesthésie est en général **réservée aux reproducteurs**. Il est bon de faire des essais pour déterminer la dose qui convient au poisson en question (Woynarovich et Horváth, 1980). La sensibilité, la résistance et l'endurance varient d'un poisson à l'autre. L'anesthésie est déconseillée chez les petits poissons sur une courte distance en raison du risque anesthésique (Berka, 1986).

Parmi le vaste choix d'anesthésiques, la tricaïne méthanesulfonate (MS-222) est très utilisée à la dose de 25mg/l pour les carpes, et 7mg/l pour les bars (Martins *et al.,* 2016).La benzocaïne est aussi très fréquemment employée. Des réserves sont émises quant à l'utilisation de phénoxyéthanol.

## Applications de chlorure de sodium et de chlorure de calcium

Le stress dû à la manutention et la mortalité des poissons peuvent être atténués moyennant adjonction de chlorure de sodium (NaCl) et de chlorure de calcium (CaCl) à l'eau de transport. L'ion de sodium tend à «endurcir» les poissons et à **diminuer la formation de mucus** alors que l'ion calcium supprime les disfonctionnements osmorégulatoires et métaboliques. Le NaCl permettrait aussi de diminuer la mousse à la surface de l'eau.

Dupree et Huner (1984) conseillent d'ajouter de 0,1 à 0,3 % de sel de chlorure de calcium. Certaines espèces de poissons qui supportent bien la salinité de l'eau comme les bars d'Amérique, les tilapias et les carpes peuvent recevoir jusqu'à 0,5%. Selon Hatting (1975) il faudrait utiliser des doses différentes de sel selon la température de l'eau. Pour une température de 25°C il conseille une concentration de 0,7%, pour des températures moyennes une concentration de 0,5% et pour des températures basses de 0,3%.

Toutefois **l'efficacité de ces sels est soumise à la critique** Berka (1986) déclare que l'effet des sels est surestimé.

• Emploi de produits chimiques comme sources d'oxygène

L'utilisation de produits chimiques comme de l'eau oxygénée pour augmenter la teneur de l'eau en oxygène pendant le transport des poissons est controversée.

## • Solutions tampons

Les solutions tampons comme les "tris-buffer" (tris-hydroxylméthyl-amino méthane) servent à stabiliser le pH à un niveau favorable (c'est-à-dire un pH compris entre 7 et 8) car lors du transport l'accumulation de CO<sub>2</sub> dans l'eau fait baisser le pH. Toutefois les doses importantes à ajouter à l'eau, et son coût rendent l'usage de ce procédé compliqué.

#### Agents anti-moussants

Le mucus et les excréments des poissons peuvent former une couche de mousse à l'interface air-eau, ce qui rend difficile l'observation des poissons. L'utilisation d'anti moussant à 10% à la dose de 0,05 ml par litre en réduit la formation.

## iii) Effet du transport sur le Bien-être

# a) Stress provoqué par le transport

Chaque étape du transport - pompage des animaux, chargement, voyages longs et déchargement - provoque un stress chez l'animal. Outre les manipulations, la densité des animaux est augmentée, la qualité de l'eau change par rapport à son milieu d'élevage, l'animal est donc confronté à plusieurs facteurs de stress. L'addition de ces sources de stress peut provoquer un dépassement des capacités d'adaptation de l'animal à l'origine d'un déficit immunitaire, et donc d'une plus grande sensibilité aux maladies et parasites, ainsi que des blessures plus longues à cicatriser (Brandson, 2008). Une des conséquences notables pour l'éleveur est une baisse de la prise alimentaire et du coefficient de conversion. Les éleveurs savent qu'après le transport ou la manipulation des poissons, le poids des animaux diminue. Le retour au poids normal peut prendre plus de 2 semaines.

# b) Effets physiologiques

Durant le transport, les poissons perdent du sel au niveau des branchies, à cause des pics de stress et de la perte du mucus qui représente une barrière protectrice (Wurst, 1999). Cette perte de sel provoque un déséquilibre ionique, à l'origine de perturbations osmotiques et cause des dommages tissulaires au poisson. Aucune donnée n'existe concernant l'effet des mouvements lors du transport ou même de l'altitude lors des transports en avion, mais Brandson (2008) évoque la possibilité qu'ils puissent impacter la régulation osmotique du poisson, voire même ses mécanismes de flottabilité.

## c) Lésions

Durant le transport, il y a un risque de blessures lié à la manipulation, à la densité de stockage et aux mouvements du moyen de transport. Des **lésions du museau et des yeux de l'animal sont** le plus souvent observées. De plus, ces blessures rendent l'animal **plus sensible aux maladies** (Brandson, 2008). La FAO (Berka, 1986) conseille pour les transports d'une durée supérieure à une demi-heure d'utiliser des récipients bien remplis afin de réduire les risques de blessures des poissons, qui peuvent se cogner les uns contre les autres.

#### d) Maladies

Les fortes densités de stockage des poissons et les transports à répétition **augmentent la pression infectieuse**. Le transport est donc un point critique de biosécurité en élevage piscicole. Aussi, comme nous l'avons vu, les animaux dont le système immunitaire est déprimé par le stress, seront plus sensibles aux maladies (Branson et Turnbull, 2008). Des mesures de vérifications ante transport, et des points de biosécurité sont donc mis en place, et recommandés par la législation européenne.

# H) Abattage

Le transport peut être suivi d'une phase d'élevage mais, le plus souvent, il est suivi de l'abattage. Nous verrons dans ce chapitre les aspects physiologiques impliqués dans l'abattage.

# i) Aspects biochimiques de la réponse du poisson au stress de l'abattage

Pour évaluer les réponses au stress lors de l'abattage, le métabolisme du muscle post mortem s'est montré très utile. Une **température élevée du muscle** et une **diminution rapide du pH** après quelques heures ou minutes post mortem sont à relier à une augmentation de l'activité et possiblement à un **stress** psychologique avant l'abattage (Terlouw, 2005). Cependant, le pH peut évoluer de façon normale même si il y'a eu un stress ante mortem (Terlouw, 2005). Si le poisson est tué après une activité musculaire, ses cellules contiendront aussi plus **d'acide lactique** issu de la respiration anaérobique, la synthèse d'adénosine triphosphate est interrompue, et la *rigor mortis* apparait alors plus rapidement (Borderías et Sánchez-Alonso, 2011).

Les poissons qui ont été fortement stressés avant l'abattage, présentent une chair lache. Ce phénomène s'explique par la disjonction des myotomes (Borderias et Sanchez-Alonso, 2011).

## ii) Descriptif des différentes techniques d'étourdissement

L'étourdissement avant l'abattage est une norme exigée en Europe pour les animaux terrestres, et doit permettre une **perte de conscience et de sensibilité de l'animal**. Toutefois les poissons peuvent être tués en France sans étourdissement, il n'existe pas d'obligation. Ces techniques devraient être utilisées avant la mise à mort. Il est néanmoins possible qu'elles causent elles-mêmes la mort du poisson si le courant appliqué est trop fort, où si le coup porté est trop puissant. Toutes les techniques d'étourdissement sont souvent précédées par un inconfort psychologique et physique.

### a) L'étourdissement par courant électrique ou électronarcose

Cette technique est réalisée grâce à des plaques ou grilles immergées qui conduisent le courant électrique dans l'eau où se trouve le poisson. Cette technique induit un courant électrique qui passe à travers le cerveau et provoque la dépolarisation des neurones. Il est alors impossible que les neurones puissent fonctionner correctement, par conséquent l'animal est dit inconscient, et ce jusqu'à la repolarisation de ses neurones (Lines et Kestin, 2004). Cette technique est utilisée sur les truites, saumons et turbots (Lines et Kestin, 2004). Les paramètres sont adaptés à chaque espèce. L'efficacité de la technique dépend :

- de la durée d'application du courant électrique ;
- du voltage utilisé;
- de la **densité des poissons**. En effet, l'électrocution sur un lot de poisson est imprévisible et le courant traverse différemment les individus (Lines et Kestin, 2004). Ainsi, lorsque le voltage n'est pas assez puissant mais dure, ceci cause une paralysie électrique prolongée, l'animal est alors épuisé musculairement mais n'est pas étourdi (Robb et Kestin, 2002). Si le voltage n'est pas assez puissant et la durée trop courte, alors le poisson s'agite et cherche à s'échapper de la cuve, il s'agit alors d'une douleur, que l'on peut comparer à celle d'une électrocution (Robb et Kestin, 2002). L'étourdissement par champ électrique peut engendrer une fracture vertébrale, la rupture de vaisseaux (Kestin *et al.*, 1995), ce qui peut provoquer des plages hémorragiques par l'activité musculaire du poisson.

## b) L'étourdissement par percussion

L'étourdissement par percussion peut être **réalisé à la main**, à l'aide d'un outil nommé « priest » (Conte, 2004) (Figure 29) ou bien d'un **système semi-automatique**. La méthode manuelle requiert de la précision et de la force, l'attention du manipulateur peut être diminuée après 30 minutes de travail. Le système semi-automatique requiert lui, l'introduction manuelle du poisson. Ces systèmes sont équipés d'un marteau, qui est déclenché à l'introduction du museau dans l'appareil. En raison des variations d'anatomie, en particulier de morphologie du crâne, la méthode d'étourdissement par percussion peut être utilisée pour tous les poissons mais est très utilisée chez le saumon et le flétan (Van de Vis *et al.*, 2003). Chez la truite, elle induit souvent la mort et reste donc peu utilisée en truiticulture. Ces systèmes lorsqu'ils fonctionnent correctement **induisent immédiatement et de façon permanente la perte de conscience de l'animal** (Kestin *et al.*, 1995). La percussion en tant que méthode de mise à mort est associée à une activité physique faible, en comparaison à d'autres méthodes d'abattage commercial, comme l'indique aussi la lente acidification post-mortem du muscle et la lente apparition de la rigor mortis. Roth *et al.* (2007) rapportent que l'étourdissement par percussion est la méthode qui permet une qualité de viande optimale chez le turbot (*Scophthalamus maximus*).

Les points critiques de cette technique sont donc:

- -le **temps passé en dehors de l'eau** avant d'étourdir le poisson, qui est plus ou moins stressant pour l'animal. Le rythme d'étourdissement doit donc être adapté afin que les poissons restent le moins longtemps possible en dehors de l'eau et conscients ;
- -la **technicité de l'opérateur** qui est variable. Il faut que le coup soit suffisamment fort pour que la perte de conscience soit rapide et perdure dans le temps.





Source: https://www.theflyfishingforum.com/forums/other-gear/296789-priest-anyone.html

## c) L'immersion dans une eau saturée en dioxyde de carbone

La technique d'immersion est très utilisée chez les saumons et les truites (Van de Vis *et al.*, 2003). C'est une technique qui permet d'étourdir des lots d'animaux, et qui est **facile à mettre en œuvre** (EFSA, 2009). Il s'agit de dissoudre du dioxyde de carbone dans l'eau à l'aide d'un diffuseur afin d'obtenir un mélange acide. Le pH de l'eau salée est d'environ 5,5 et peut même être plus bas, la concentration en ammonium l'augmente et celle de l'oxygène le fait baisser (EFSA, 2009). Cette technique est critiquée car elle a des conséquences **néfastes pour le Bien-être des poissons** (Van de Vis *et al.*, 2003). Cette méthode provoque des changements violents de comportement avec une forte 104

activité musculaire allant jusqu'à causer des lésions sur l'animal (Terlouw *et al.*, 2007). L'entrée dans une eau riche en dioxyde de carbone induit une augmentation de la concentration en cortisol plasmatique. Si aucune technique additionnelle d'abattage n'est mise en place, le poisson ne finit par mourir qu'au bout de cinq minutes (Robb *et al.*, 2000). Une étude menée par Robb *et al.* (2000), en enregistrant l'activité cérébrale du poisson, a montré que l'animal plongé dans une eau saturée en dioxyde de carbone **continue à réagir aux stimuli visuels**, se pose alors la question de savoir s'il s'agit réellement d'une méthode d'étourdissement.

## d) L'étourdissement par refroidissement rapide

L'étourdissement par refroidissement rapide permet de **ralentir le métabolisme** en abaissant la température du corps. Lorsqu'elle est utilisée comme méthode de mise à mort, elle va de pair avec l'abaissement brutal de la température effectué *post-mortem* qui est d'intérêt sanitaire, car il diminue l'autolyse et la prolifération bactérienne dans la chair du poisson. En plongeant le poisson dans l'eau glacée, le poisson subit une anoxie par collapsus des branchies. Si cette méthode est utilisée seule afin de tuer le poisson, elle présente **l'inconvénient d'induire une mort lente**. Certaines espèces comme la truite arc-en-ciel, la daurade, le bar et le poisson chat africain, sont très souvent **asphyxiées** dans la glace ou dans un mélange d'eau et de glace (Robb et Kestin, 2002). Il n'existe **pas de preuve d'une perte de conscience du poisson** (EFSA 2009). Cette méthode n'est donc pas respectueuse du Bien-être des poissons car elle n'étourdie pas, n'anesthésie pas, et est lente. Il est proposé de diminuer simplement la température de quelques degrés (diminution de quatre degrés Celsius) pour ralentir le métabolisme des poissons et rendre la manipulation plus facile (Roth *et al.*, 2006).

La méthode d'étourdissement doit être réfléchie pour causer le moins de stress à l'animal en provoquant une perte de conscience rapide, et doit être adaptée à l'espèce. Par exemple en raison de leur habitat, certains poissons sont résistants au froid, l'immersion dans un bac à glace n'est donc pas recommandée. Il est possible que la méthode la plus adaptée, soit une combinaison de différentes techniques d'étourdissement. Ainsi, les anguilles peuvent être rendues inconsciente de façon immédiate et jusqu'à la mort en leur appliquant un courant électrique et en ajoutant du nitrogène à l'eau (Van de Vis et al., 2003).

#### iii) Descriptif des différentes techniques d'abattage

# a) La saignée par la découpe des branchies

La saignée sans étourdissement consiste à découper les branchies du poisson à l'aide d'un couteau aiguisé, ce qui provoque une exsanguination et une mort par anoxie. La saignée est recommandée par Robb et al. (2003) car elle permet d'éliminer le sang de la carcasse et donc évite la détérioration du muscle, la prolifération bactérienne et la formation de plages hémorragiques. Néanmoins d'autres scientifiques tels que Meyer et al. (1986) ont conclu que la saignée avant l'éviscération et le retrait des branchies n'avait aucun effet sur les paramètres : couleur, triméthylamine, et concentration en hypoxanthine, ainsi que la concentration bactérienne dans le muscle. Cette pratique est routinière dans certains endroits et pour certaines espèces : saumon, truite arc-en-ciel, cabillaud, turbot et poisson chat mais elle n'est pas pour autant considérée acceptable du point de vue du Bien-être. Sans étourdissement elle induit des réactions vigoureuses compte tenu

que le cerveau est encore réactif après 148 secondes ou plus chez le saumon d'atlantique (Robb et al., 2000).

Figure 30 : Machine semi-automatique permettant l'abattage du saumon par saignée. Le poisson est tué en moins d'une minute selon le fabricant (Seafood innovation).



Source: https://nofima.no/en/nyhet/2012/10/promising-results-for-automatic-killing-and-bleeding/

# b) L'asphyxie par le retrait du poisson de l'eau

L'asphyxie par retrait du poisson de l'eau, est utilisée pour tuer les poissons de petite taille d'aquaculture comme les truites et les tilapias. La durée qui s'en suit avant la mort à une température ambiante, dépend de l'espèce et varie de quelques minutes à quelques heures. Elle **induit des réactions vigoureuses et est considérée comme nuisant au Bien-être du poisson** (Robb et Kestin, 2002).

## c) La perforation

La perforation est une méthode qui consiste à introduire manuellement ou à l'aide d'un appareil une pointe dans le cerveau afin de causer des dommages irréversibles. Pour cela, une sorte de **pistolet** à **percussion** est utilisé et induit immédiatement une perte de conscience et une incapacité à se mouvoir. Cette technique est très utilisée chez le saumon, la daurade, et l'anguille (Robb *et al.*, 2000; Van de Vis *et al.*, 2003). L'utilisation de marqueurs anatomiques comme la glande pinéale du thon, peut être intéressant pour repérer les zones du cerveau avec précision (Anon, 2004). Cette méthode est réservée aux **espèces de taille suffisante** (saumon, thon), dont le poids est d'environ 4 à 5kg, et qui peuvent être manipulées individuellement (Robb *et al.*, 2000).

# d) La technique de décapitation

La technique de décapitation est marginale en pisciculture, bien qu'elle s'utilise chez les anguilles. Cependant des études ont montré que les anguilles ne perdaient leur réactions nerveuses qu'au bout de 13 à 30 minutes (Van de Vis *et al.*, 2003). Cette méthode n'est donc **pas respectueuse du Bien-être**.

Les méthodes d'abattage appliquées sans étourdissement ne sont pas respectueuses du Bienêtre, il est donc nécessaire d'effectuer préalablement un étourdissement du poisson. Les techniques manuelles sont coûteuses en énergie et en temps, l'aquaculture s'oriente de plus en plus vers l'automatisation de la mise à mort, grâce à des machines. Il est donc important de régler correctement ces machines aux paramètres du poisson (taille, poids, anatomie).

#### **Conclusion:**

L'eau étant le milieu de vie du poisson, sa qualité revêt une importance fondamentale (Colt et Tomasso, 2001). Les différents paramètres de l'eau peuvent être classés selon leur impact potentiel sur le poisson, l'oxygène étant l'élément le plus important, puis l'ammoniac, le dioxyde de carbone, la température et la sursaturation en gaz. Enfin les nitrites, l'acidité, la dureté, la conductivité et les métaux lourds sont considérés comme les paramètres de l'eau ayant le moins d'impact sur le poisson. Ces paramètres peuvent avoir des effets à court terme comme une détresse respiratoire lors d'hypoxie, des troubles neurologiques lorsque la teneur en ammoniac est trop élevée. Ils peuvent aussi avoir des effets à long terme comme une baisse de croissance lors d'hypoxie, de surexposition à l'ammoniac, aux métaux lourds ou au dioxyde de carbone ; une baisse de la reproduction quand l'eau est trop acide ; ou l'apparition de malformations quand la température de l'eau n'est pas adaptée. Ils peuvent aussi agir de façon indirecte en prédisposant l'animal à des maladies infectieuses comme la furonculose et la maladie bactérienne des branchies si la teneur en oxygène dissous n'est pas maitrisée. Les conséquences de ce manque de maitrise des paramètres de l'eau sont l'apparition de stress pour le poisson, et le non-respect du Bien-être. Au niveau populationnel, la détérioration des indices de l'élevage (baisse de croissance, hausse de la mortalité et des maladies) a des répercussions économiques pour l'éleveur.

Il est compliqué de fixer des recommandations pour chaque paramètre distinct. En effet, il existe des intéractions entre chaque paramètre, et donc les recommandations sont variables. De plus, les paramètres sont à adapter à chaque espèce, or il existe une grande diversité de poissons et de leurs habitats. Il est intéressant de noter que les paramètres de l'eau les plus importants pour le poisson, sont des paramètres sur lesquels l'éleveur peut intervenir grâce aux connaissances zootechniques.

Ainsi les pratiques d'élevage semblent avoir un effet prépondérant pour respecter le Bien-être des poissons en aquaculture. L'une des pratiques d'élevage est le choix de la densité d'élevage. Elle devra dépendre de la concentration en dioxyde de carbone, ammoniac, oxygène et de la température (North et al., 2006). En effet, la surpopulation cause des effets négatifs sur le Bien-être du poisson (Branson et Turnbull, 2008). Un changement d'activité de l'animal est observé (Bégout Anras et Lagardère, 2004), tout comme l'apparition de comportements agressifs, ainsi que des modifications morphologiques comme l'érosion des nageoires dorsales (Ruyet *et al.*, 2008). Au sein de l'élevage en cas de surpopulation, les poissons présentent une baisse de croissance irréversible et non compensée par leur prise alimentaire (Damsgard et Bjørklund, 2011). Le choix des densités est aussi important car la captivité et la concentration des poissons en élevage augmentent l'exposition aux pathogènes. Etant donné que la biomasse augmente avec la croissance des poissons, et ce de manière différentielle en fonction des animaux, il est important que l'éleveur réalise des tris de taille, pour rétablir une densité d'élevage correcte dans les bassins et homogénéiser les lots. Ces tris lui permettront aussi de surveiller l'aspect sanitaire de l'élevage.

Face aux pathogènes, deux stratégies sont possibles : préventive par l'utilisation de vaccin et la mise en place de mesures d'hygiène par exemple, ou curative par l'usage de traitement. La prophylaxie 107

sanitaire consiste en des mesures simples et hygiéniques. Un des points critiquables du point de vue du Bien-être consiste en l'utilisation de désinfectants comme le formol, provoquant des lésions et du stress chez le poisson (Jorgensen et al., 2009). La prophylaxie médicale repose en partie sur l'utilisation des vaccins. Elle est aussi à raisonner du point de vue du Bien-être, car certaines méthodes comme l'injection péritonéale ou l'administration per os sont stressantes pour le poisson (Sommerset et al., 2005). Toutefois en s'appuyant sur la théorie utilitariste selon laquelle le bénéfice que tire l'animal doit excéder la quantité de souffrance infligée, la vaccination peut être considérée comme acceptable pour le Bien-être du poisson, par la protection qu'elle lui apporte malgré le stress subi. Une autre possibilité de prise en charge prophylactique repose sur le renforcement de l'immunité du poisson par l'usage de probiotiques et immunostimulants (Bricknell et Dalmo, 2005). Pour les programmes de certification comme le Label Bio, il faut d'ailleurs privilégier l'apport de probiotiques, d'immunostimulants et proposer une nourriture de qualité, plutôt que d'utiliser une stratégie thérapeutique (DGPEI, 2007).

L'alimentation est une composante importante du Bien-être du poisson, pour favoriser une bonne santé, mais aussi pour répondre aux besoins physiologiques des poissons (Shima et al., 2003). Les paramètres physiques et nutritionnels de l'aliment sont à prendre en compte. En effet, un déficit en protéines cause des retards de croissance, des scolioses et une plus grande sensibilité aux infections. Au contraire un excès de protéines peut provoquer une dégénérescence hépatique (Breton, 2005). Actuellement la tendance est à fournir des aliments hyper énergétiques, riches en lipides et protéines aux poissons, ce qui est préoccupant car un excès énergétique peut causer des effets néfastes sur le foie du poisson (Choo et al., 1991). L'intégration de glucides est à surveiller car ils sont faiblement métabolisés par le poisson, gênent l'absorption des lipides et protéines, et peuvent provoquer une hyperglycémie continue causant des dommages au poisson (Krogdahl et al., 2004). L'apport en vitamines ne peut être négligé en raison des rôles multiples et essentiels qu'elles jouent sur la reproduction, la croissance, le bon fonctionnement de la vision, de l'équilibre, la protection du foie, la lutte contre l'anémie, et le maintien de l'intégrité de la peau et des nageoires etc (Barrow et Ellis, 1999; Breton, 2005; Alvarez, 2008). Peu d'erreurs de formulation de l'aliment sont possibles de nos jours, mais un mauvais stockage, ou un mauvais calcul de la biomasse pour les distributeurs automatiques, modifient les caractéristiques de l'aliment qui ne correspondent plus aux besoins physiologiques du poisson, et affectent donc le Bien-être du poisson.

L'arrêt de l'alimentation lors du jeûne pour assurer la qualité organoleptique du produit est aussi critiquable du point de vue du Bien-être des poissons puisque l'absence de faim est une des libertés du Bien-être. Cependant la baisse du métabolisme et l'excrétion de fèces sont nécessaires pour favoriser une qualité correcte de l'eau de transport. Sous cette optique, le jeûne est positif pour le Bien-être du poisson. L'important sera donc de choisir avec attention la durée du jeûne (Borderías et Sánchez-Alonso, 2011).

Hormis la pratique du jeûne d'autres mesures devront être mises en place afin que le transport ne porte pas atteinte au Bien-être des poissons. Il est ainsi indispensable que la qualité de l'eau soit maitrisée, notamment la teneur en oxygène dissous de l'eau, la teneur en dioxyde de carbone, le pH et la température de l'eau (Berka, 1986). Ces paramètres pourront être suivis par monitoring pendant le transport. De plus, afin d'optimiser la qualité de l'eau, il est possible de la traiter chimiquement par divers procédés (Berka, 1986). Le personnel doit aussi être formé pour reconnaitre les signes de stress des poissons et intervenir en conséquence. Ceci conformément aux exigences européennes publiées dans le Règlement (CE) n° 1/2005 du Conseil du 22 décembre 2004 relatif à la protection des animaux pendant le transport et les opérations annexes.

L'étape suivant le transport est l'abattage. L'étourdissement avant l'abattage est une norme exigée en Europe pour les animaux terrestres et doit permettre une perte de conscience et l'insensibilité de l'animal, mais aucune obligation n'existe en France au sujet de l'abattage des poissons d'élevage. Plusieurs méthodes existent, et il faudra choisir celle qui correspond le mieux à l'espèce et à la taille du poisson (Robb et Kestin, 2002; Lines et Kestin, 2004), et qui soit la plus rapide possible, en évitant que le poisson ne reprenne conscience rapidement. La technicité de l'opérateur et le rythme est un point important à ne pas négliger pour que le stress de l'animal soit le plus court possible. La technique d'étourdissement par électrocution dite « électronarcose » est très répandue, notamment en truiticulture. Cette technique doit être appliquée avec un voltage suffisant afin d'éviter une simple paralysie musculaire et une sensation de douleur, au lieu de l'étourdissement escompté. Les techniques d'immersion dans une eau saturée en dioxyde de carbone et de refroidissement sont critiquées par le doute émis sur la perte de conscience des poissons et ne sont donc pas respectueuses du Bien-être. Concernant l'abattage, la méthode de saignée et celle d'asphyxie par retrait du poisson de l'eau sont considérées comme non respectueuses du Bien-être car la mort est lente, et le poisson s'agite beaucoup avant de mourir, ce qui est une modification comportementale, signe de stress (Robb et al., 2000; Robb et Kestin, 2002). Il est recommandé pour cette étape d'adapter la technique à l'anatomie du poisson, mais aussi à ses particularités physiologiques. Un animal qui vit en eau froide ne devra pas être tué par immersion dans un bain d'eau glacée.

# IV- Perspectives en matière de Bien-être

Nous venons de décrire les impacts des pratiques d'élevage usuelles en pisciculture sur le Bienêtre des poissons et les recommandations concernant les étapes critiques pour le Bien-être. Outre le respect des bonnes pratiques d'élevage, et grâce aux progrès scientifiques, quels sont les points sur lesquels l'éleveur peut jouer pour éviter l'apparition du stress chez les poissons ?

# A) La prévention du stress : présentation du projet FASTFISH (2009)

Le but de ce projet était de permettre aux éleveurs de réagir dès les premiers signes de stress, ou même avant que le stress apparaisse. Pour que les exploitants puissent juger et déterminer avec précision si les poissons atteignent des niveaux de stress précritiques, il faut disposer d'un ensemble d'indicateurs comportementaux ainsi que de paramètres environnementaux mesurables.

Le projet FASTFISH («On farm assessment of stress level in fish») commencé en 2006 et en association avec la Grèce (HCMR UOC), la Norvège (IMR et NSVS), la Nouvelle Zélande (LEI-WUR) et la France (IFREMER) vise à fournir un protocole permettant aux gestionnaires et aux exploitants de surveiller les niveaux de stress précritiques dans des populations de poissons d'élevage. Le projet s'est articulé en trois étapes : l'identification des indicateurs de stress, la mise en place d'un système d'analyse et de détection et l'installation du système afin de le tester.

## i) Première étape : choix des indicateurs du stress

L'équipe de FASTFISH a comparé le saumon d'atlantique au bar commun dans un système intensif et un mésocosme, c'est-à-dire un environnement clos qui imite les conditions naturelles aussi étroitement que possible. L'évaluation des différences de comportement entre les deux systèmes a permis aux scientifiques de rédiger des recommandations afin de faire conformer les conditions d'élevage aux normes de Bien-être animal préconisées par l'UE.

L'identification d'un paramètre de stress fiable est sans doute le résultat le plus important de FASTFISH (2009); physiologiquement parlant, la surconsommation d'oxygène sert d'indicateur de stress simple à appliquer car elle reflète les déviations dans la métabolisation des aliments et le métabolisme actif. L'augmentation de la consommation d'oxygène est corrélée à l'augmentation de la cortisolémie. La concentration en oxygène dissous de l'eau est cependant plus précise et moins coûteuse à mesurer que le cortisol du milieu.

L'équipe a aussi mis en évidence des indicateurs comportementaux du stress comme la répartition des poissons au centre ou en périphérie, à la surface ou au fond du bassin, et leur vitesse de nage etc.

## ii) <u>Deuxième étape : présentation des outils</u>

#### a) Le Fasttool

Une fois avoir mis en évidence les indicateurs du stress qu'ils soient comportementaux ou physiologiques ainsi que le paramètre du stress mesurable qui est la consommation en oxygène, les

chercheurs ont mis un place l'outil permettant à l'éleveur de suivre le Bien-être de son élevage : le Fasttool. Il s'agissait d'une base de données, sous la forme d'une application que l'éleveur pouvait consulter. L'éleveur se devait de remplir plusieurs onglets : l'appréciation subjective du Bien-être de son élevage, les mesures de l'enclos et les caractéristiques du matériel, un onglet sur l'alimentation, sur le comportement de recherche alimentaire, sur les caractéristiques de l'eau et du milieu, et sur l'apparence et les comportements des poissons de son élevage (Figure 31, Figure 32).

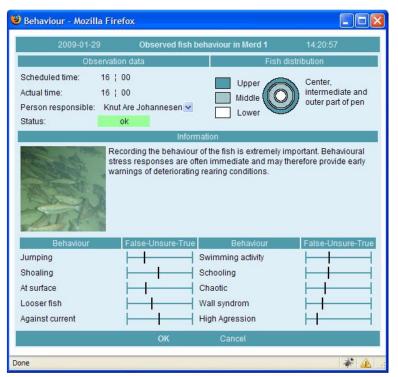
Figure 31: Page d'accueil de l'application Fasttool destinée à l'éleveur, avec les différents onglets à remplir.



Source: FASTFISH (2009).

Par exemple, la page de l'onglet « comportement » répertorie plusieurs choix de comportements avec des vidéos explicatives en ligne pour que l'éleveur puisse mieux repérer les comportements cités comme le saut, la nage au fond du bac, la nage en surface, la dispersion des animaux, l'activité natatoire, la formation de banc, les mouvements erratiques, et les agressions (Figure 32).

Figure 32: Onglet sur le comportement des poissons à remplir par l'éleveur dans le Fasttool.



Source: FASTFISH (2009).

L'éleveur doit aussi enregistrer dans l'application des données mesurées par un autre appareil immergé dans le bassin, comme l'oxygène, la turbidité, la température, et la fluorescence du milieu. L'ensemble de ces données doivent être complétées quotidiennement.

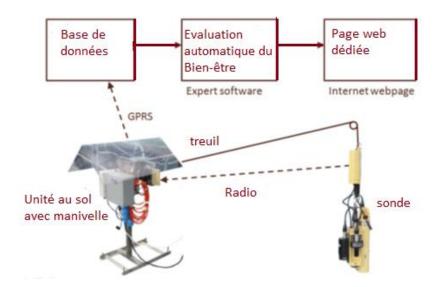
Les éleveurs ont fini par se décourager par la tache incombée, et le projet a dû se perfectionner et permettre la mise en place d'un instrument plus autonome, et **demandant moins de temps aux éleveurs**.

#### b) Le Welfaremeter

Les modifications ayant eu lieu pendant le projet, concernent notamment la convivialité du produit, ont mené au développement d'une nouvelle application, le Welfaremeter. Basé sur une analyse logicielle des données transmises, le Welfaremeter évalue les conditions environnementales et calcule un **indice de Bien-être allant de 0 à 100**, 100 étant un élevage où le Bien-être du poisson est optimal et 0 un élevage où la situation est alarmante (Figure 34).

Le Prototype du Welfaremeter se compose d'une sonde de mesure qui transmet les données à une radio qui elle-même transfère les données mesurées dans la base de données, pour qu'elles soient ensuite analysées afin de donner un indice de Bien-être que l'éleveur pourra consulter en ligne (Figure 33).

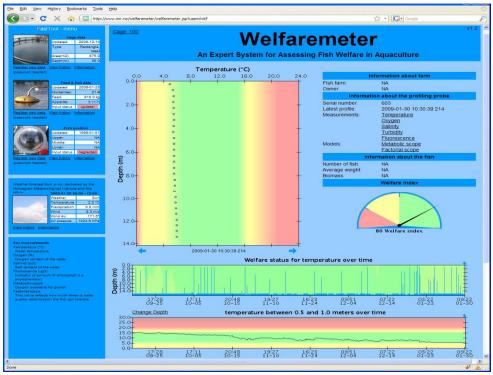
Figure 33: Modélisation de la composition du WELFARAMETER.



Source: FASTFISH (2009).

Le logiciel d'analyse des données est basé sur les connaissances des comportements du saumon dans des conditions environnementales variées et grâce à une modélisation mathématique du métabolisme du poisson en fonction des conditions environnementales, il est capable d'interprèter les données mesurées.

Figure 34: Page à laquelle l'éleveur aura accès, lui permettant de situer le Bien-être de son élevage grâce à une échelle de couleurs.



Vert : Bien-être respecté; jaune: situation stressante pour les poissons, rouge : situation critique pour les poissons.

Source: FASTFISH (2009).

# iii) Troisième étape : l'installation du Welfaremeter

Plusieurs fermes aquacoles ont mis en place le Welfaremeter en Grèce et en Norvège en 2008, afin de tester *in situ* l'outil.

#### a) Limites du projet

Une étude par questionnaire a montré que les éleveurs n'étaient pas prêts à utiliser ce moyen d'évaluation du Bien-être à moins d'y être **obligés légalement**. Par conséquent, l'adoption de ce système passera par l'acceptation et l'engagement des gouvernements, mais aussi des acteurs commerciaux qui peuvent y voir un atout commercial pour un consommateur plus sensible au Bien-être des animaux.

# b) Améliorations du projet

FASTFISH recommandait de former les exploitants de manière à ce qu'ils mettent à profit les avantages de l'évaluation des niveaux de stress chez les poissons. Il est conseillé d'apporter aux éleveurs des notions pour améliorer les points qui déprécient le Bien-être dans leur élevage. D'un point de vue technique, l'analyse des images obtenues a été développée afin d'étudier les changements de comportements relatifs au stress comme la vitesse et la direction de la nage, ainsi que la distribution des animaux et pourrait intervenir dans le Welfaremeter. En effet, ces paramètres existaient dans le Fasttool mais étaient observés par l'éleveur qui devait lui-même les saisir dans la base de données, et n'étaient plus pris en compte par le Welfaremeter.

# Conclusion:

Les résultats du projet FASTFISH ont contribué à créer un cadre général pouvant être utilisé pour surveiller le stress et le Bien-être des poissons dans les exploitations. Il reste à obtenir l'adhésion des éleveurs à une utilisation de ces systèmes pour ensuite évaluer l'efficacité sur le Bien-être des animaux.

# B) Sélection génétique des animaux résistants au stress

Nous avons jusqu'ici analysé l'environnement aquacole et montré que les poissons étaient exposés de façon répétée à des facteurs de stress aigu (les manipulations, le transport ou bien encore les tris par classe de taille...) ou chroniques (confinement, mauvaise qualité environnementale...). L'ensemble de ces situations stressantes peut avoir des répercussions diverses sur l'état de santé des poissons (diminution de leur compétence immunitaire, de leur résistance aux maladies), sur leurs performances de croissance et de reproduction mais également sur leurs comportements alimentaire (diminution de la quantité d'aliment ingérée) et natatoire.

Ces observations ont conduit depuis quelques années à rechercher des moyens permettant de réduire le stress des poissons en milieu d'élevage; parmi ceux-ci, la domestication et la sélection semblent être prometteuses (Pottinger et Pickering, 1997).

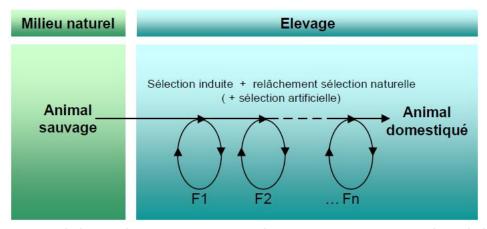
Ainsi, la sélection est généralement utilisée pour améliorer certains traits fortement associés à la productivité (taux de croissance, âge de la maturité sexuelle ou encore qualité de la chair), et s'intéresse aujourd'hui aux capacités de tolérance au stress de poissons domestiqués et/ou sélectionnés (Millot, 2008).

# i) Préambule : Notions de domestication et sélection

#### a) Définitions

Le processus de domestication ne peut être dissocié du processus de sélection car il intègre, dans les faits, trois types de sélection : la sélection artificielle, la sélection induite par la captivité et le relâchement de la sélection naturelle (Price, 1998) (Figure 35). La sélection artificielle nécessite l'intervention de l'humain qui choisit de sélectionner un animal pour des caractères d'intérêt. Il s'agit en général de caractères phénotypiques et physiologiques, dits de production : taille, poids, efficacité alimentaire, âge à la maturité sexuelle, qualité de la chair (Fauconneau et Laroche, 1995). La sélection induite est indépendante de la sélection par l'humain. Il s'agit des individus capables de s'adapter aux conditions d'élevage et de se reproduire. Cette sélection est involontaire. Le relâchement de la sélection naturelle intervient lors du passage du milieu sauvage au milieu captif (Price, 1998). Des comportements nécessaires dans le milieu sauvage pour la survie comme la recherche de nourriture ou le comportement migratoire (Bridger et al., 2001) par exemple, vont s'éteindre en captivité pour être remplacés par d'autres comportements plus utiles en élevage comme la facilité à accepter de nouveaux aliments (Bégout Anras et Lagardère, 2004) ou la diminution de l'agressivité et du comportement territorial (Petersson et Järvi, 2000).

Figure 35 : Concepts de sélection et de domestication.



F représente une génération à laquelle est attribuée un rang, F1 est la première génération par exemple.

Source: Millot (2008).

# b) Particularité de la domestication en pisciculture

Une des grandes particularités des espèces de poissons d'élevage, est qu'ils sont encore très proches de leur état sauvage. En effet dans de nombreux cas, les géniteurs utilisés en aquaculture sont d'origine sauvage. Il est d'ailleurs compliqué en Label Bio de trouver des géniteurs eux aussi issus de l'élevage biologique.

Une seconde particularité du processus de domestication en pisciculture réside en l'adaptation rapide que l'on peut observer dès la première génération issue de sélection. (Vandeputte et Prunet, 2002; Bégout Anras et Lagardère, 2004)

## ii) Effets de la domestication sur le comportement

Les poissons sauvages soumis à une simulation d'attaque, présentent un comportement de fuite associé à une élévation du rythme cardiaque. Ce comportement se retrouve chez les poissons d'élevage mais avec une intensivité moins importante (Johnsson et al., 2001). Si l'on fait vivre en captivité des poissons sauvages alors cette réponse finit par s'atténuer voire disparaitre. Il est donc légitime de se demander si la diminution du comportement de fuite notamment, est due à l'acclimatation du poisson au milieu d'élevage, ou bien si cet effet est dû à l'âge et à la taille du poisson. L'expérience menée par Bégout Anras et Lagardère (2004), montre ainsi que des bars Dicentrarchus labrax sélectionnés sur deux générations pour leur taille, présentent un comportement exploratoire plus important, un retour à la normal plus rapide après un stress, ce qui traduit une meilleure capacité d'adaptation et de résistance au stress. De même, des saumons sélectionnés pour leurs performances en élevage (croissance, maturation,...) sur sept générations, comparés à la population sauvage d'origine, se montrent eux aussi moins sensibles aux attaques de prédateurs simulés, mais présentent également une croissance plus rapide. Toutefois les saumons sélectionnés se sont montrés plus agressifs (Einum et Fleming, 1997) et des comportements d'agressions, tout comme des blessures ont été observés chez ces animaux. Ainsi la sélection pour des critères de performance a pu avoir un rôle ambivalent. En diminuant l'effet du stress, mais en augmentant les agressions et les blessures elle a eu un effet indirect négatif sur le Bien-être. Il semble toutefois que la sélection d'animaux plus ou moins agressifs dépende beaucoup des conditions d'élevage (favorables ou non aux interactions sociales) et ne soit pas nécessairement corrélée aux performances de croissance. Ainsi, chez le Médaka (Oryzias latipes), les animaux ayant la croissance la plus rapide sont aussi les moins agressifs (Ruzzante et Doyle, 1991) et, chez la truite commune, il n'existe pas de différence d'agressivité entre souches domestique et sauvage (Johnsson et al., 1996).

L'humain a donc, par la captivité et la sélection de critères de performance, sélectionné des animaux plus résistants au stress que les individus sauvages. Mais afin de pousser la sélection il serait nécessaire de connaître le lien entre variabilité des réponses au stress et la base génétique ainsi que l'héritabilité de ces stratégies adaptatives.

## iii) <u>Sélection Génétique des poissons résistants au stress</u>

Afin de lutter contre les maladies et de limiter les effets néfastes de l'anxiété et du stress en général, la sélection se porte en faveur de poissons résistants au stress, malgré les effets secondaires que cela engendre sur d'autres caractères. En effet Vandeputte et Launey (2004) expliquent que les animaux s'adaptent à l'élevage par sélection de comportements favorables et qu'il y a par contre régression des caractères utiles dans le milieu naturel mais sans intérêt en élevage.

# a) Critères de sélection

Face à un évènement stressant deux stratégies existent et sont associées à un phénotype propre. L'animal peut réagir en ayant une sécrétion en cortisol faible, Vandeputte et Launey (2004) nomment ce caractère « faiblement répondant », et c'est ce caractère qui sera recherché, ou bien en présentant une forte activation de l'axe HHI. Les animaux « faiblement répondant » présentent parallèlement un meilleur taux de croissance, une locomotion plus faible en cas de danger, une prise de risque plus importante (Bégout Anras et Lagardère, 2004), et sont capables de se réalimenter peu

de temps après l'introduction dans un nouvel environnement. Il s'agit d'animaux présentant des comportements dominants lors de conflits pour la ressource alimentaire, ou territoriale (Lorenzi *et al.*, 2009).

## b) Héritabilité

A partir de travaux montrant des différences entre souches de poisson en termes de réponse en cortisol à un agression donnée (Pickering et Pottinger, 1989) et sur la base de la stabilité de l'amplitude de cette réponse en cortisol mesurée chez différents individus au sein d'une population (Pottinger et al., 1992), un programme de sélection génétique divergente fondé sur la réponse en cortisol suite à un confinement de courte durée a été mis en place chez la truite et chez le saumon (Pottinger et Carrick, 1999). Ces études ont montré que l'indicateur primaire de réponse de stress, à savoir l'augmentation du cortisol plasmatique, répond à la sélection et est donc un caractère héritable chez les Salmonidés (Pottinger et Carrick, 1999; Fevolden et al., 2002).

#### c) Méthode de sélection

Divers méthode de sélections sont possibles.

#### Par l'observation

La sélection pour la résistance au stress peut se faire par l'observation des différents comportements, de la capacité d'apprentissage, et des caractères morphologiques. Il faut garder en mémoire qu'un poisson subordonné peut présenter un comportement dominant lorsqu'il est stimulé dans un milieu connu (Overli et al., 2005). Toutefois l'appréciation de ces caractères n'est pas toujours évidente.

#### Par suivi de la cortisolémie

Cette technique est plus précise. Toutefois elle nécessite de mettre les poissons dans des conditions stressantes, ce qui est une contrainte et va contre le Bien-être des poissons. De plus, les animaux sont sélectionnés sur un stress à court terme, or la dominance et l'axe HHI sont liés à un déterminisme à long terme. Les conditions expérimentales, la nature et l'intensité des stimuli sont à prendre en compte car ils peuvent biaiser la tolérance au stress (Overli et al., 2005).

## Par étude génomique.

Les scientifiques du projet Aquafirst datant de 2012, ont mené une analyse des locus de caractères quantitatifs (QTL - quantitative trait loci) pour identifier l'association entre les traits de résistance au stress et les gènes candidats. Cette étude a été réalisée sur la daurade rose, le bar européen et la truite arc-en-ciel. Aquafirst a permis d'améliorer la cartographie génomique de ces espèces, en caractérisant les variations de séquence d'ADN connues sous le nom de polymorphismes nucléotidiques simples (SNP - single nucleotide polymorphisms). Aucun QTL précis relatif au stress n'a encore été identifié chez les poissons mais les recherches sont en cours.

## C) Sélection génétique des animaux résistants aux affections et conditions du milieu

Le Bien-être des animaux peut aussi être remis en question lorsque le milieu est une source d'agressions pour lui, qu'il s'agisse d'organismes pathogènes spécifiques (virus, bactéries, parasites) ou de l'interaction plus complexe avec les paramètres physico-chimiques de l'eau. Par conséquent, la sélection génétique d'animaux résistants aux infections et à des conditions extrêmes du milieu permet aussi de sélectionner des animaux plus résistants au stress.

# i) <u>Sélection des souches résistantes aux affections</u>

Il est important de noter que les élevages en étang ou en mer, mettent en contact les individus sauvages sensibles ou porteurs sains de maladie et les poissons d'élevage. Les individus sauvages constituent alors un véritable « réservoir de pathogènes », une source de réinfection. La prophylaxie sanitaire est donc difficile. De plus, peu de vaccins faciles à administrer et d'efficacité avérée sont disponibles sur le marché. Concernant les traitements, leur répercussion en termes d'image du produit et leurs possibles effets sur l'environnement et/ou la santé des consommateurs sont autant d'incitations à explorer d'autres méthodes de protection de la santé des cheptels. Les regards se portent dorénavant vers la sélection de souches résistantes aux affections.

#### a) Difficultés rencontrées

Toutefois la sélection rencontre plusieurs difficultés. Pour être capable de mesurer la résistance à une maladie, il faut mettre en place des conditions expérimentales contrôlées, et sans **risque pour l'environnement**. Les installations sont donc protégées et **coûteuses**. Ceci explique le nombre restreint d'études sur le sujet.

La variabilité génétique des individus confrontés à un pathogène est à prendre en compte, tout comme la diversité génétique du pathogène. Virus, bactéries et parasites présentent eux aussi une variabilité génétique, variabilité éventuellement associée à des différences de virulence et de pathogénicité. Par conséquent, si un individu est résistant à un pathogène, il n'est pas évident qu'il soit résistant à tous les pathogènes de la même espèce.

Une autre difficulté est que la sélection de la résistance aux pathogènes ne doit pas aller contre certains caractères recherchés en élevage. En effet, des corrélations génétiques négatives (- 0,01 à - 0,33) entre la résistance à la SHV (septicémie hémorragique virale) et la croissance ou l'efficacité alimentaire ont été détectées chez la truite (Henryon et al., 2002). Quelques corrélations entre maladies ont également été étudiées. Les premières études chez le saumon atlantique suggéraient l'existence de corrélations positives entre résistances aux maladies bactériennes, mais négatives entre maladies bactériennes et virales (Gjøen et al., 1997).

Enfin, il n'est généralement pas souhaitable de sélectionner les futurs reproducteurs sur leur performance propre, à cause du risque de transmission du pathogène à la génération suivante si les survivants sont porteurs sains. Ceci explique la recherche de marqueurs génétiques.

Aujourd'hui il n'est pas encore possible de sélectionner efficacement des lignées résistantes aux pathogènes, ceci est en partie dû à la difficulté de sélectionner des poissons résistants à plusieurs pathogènes.

## b) Méthodes de sélection

## • Sélection phénotypique

Chez les poissons, les tissus externes sont vraisemblablement impliqués dans les étapes précoces de certaines infections, ce qui a conduit plusieurs auteurs à s'intéresser à leurs caractéristiques. Une corrélation entre le pouvoir précipitant du mucus et la résistance à la bactérie Aeromonas salmonicida a été démontrée chez plusieurs salmonidés (Cipriano et Heartwell, 1986). Chez la truite arc-en-ciel, la peau semble jouer un rôle déterminant dans la résistance aux infections aux rhabdovirus. Les poissons présentant la plus faible prolifération du virus SHV sur leurs nageoires infectées in vitro, se sont trouvés être les moins sensibles à l'infection. Une corrélation positive entre sensibilité au virus de la SHV et prolifération du virus au niveau des nageoires a ainsi été mise en évidence (Quillet et al., 2001). Par la suite la capacité de prolifération du virus SHV sur les nageoires in vitro a été utilisée avec succès pour réaliser une sélection expérimentale des individus résistants au virus SHV (Quillet et al., 2007).

Par ailleurs, une corrélation positive entre le pouvoir bactéricide du sérum et la résistance aux bactéries a été démontrée dans différents contextes d'infections chez la truite et la carpe indienne (Hollebecq *et al.*, 1995; Sahoo *et al.*, 2004).

Ces résultats sont encourageants mais l'association entre résistance et marqueurs phénotypiques est trop faible, et les mesures sur le terrain sont parfois compliquées pour que cette sélection soit effective.

### Sélection par étude génomique

Des QTL, qui sont des régions du génome ayant un rôle dans la variabilité d'un caractère, ont été identifiés pour des résistances spécifiques au parasite *Ceratomyxa shasta* (Nichols *et al.*, 2003) et au virus IPN (nécrose pancréatique infectieuse), NHI et SHV (Ozaki *et al.*, 2001; Rodriguez *et al.*, 2004; Houston *et al.*, 2008). Une région du génome contrôlant un élément de la réponse immunitaire, l'activité des cellules Natural Killer, a également été identifiée chez la truite (Zimmerman *et al.*, 2004). Chez le saumon atlantique, ce sont des QTLs de la résistance au virus de l'ISA (anémie infectieuse du saumon) (Møen *et al.*, 2007) et et de résistance au parasitime par le gyrodactyle (ectoparasite) (Gilbey *et al.*, 2006) qui ont été détectés. Chez le flétan japonais enfin (*Paralichthys olivaceus*), un locus à effet majeur expliquant 50 % de la survie à une infection par un Iridovirus a été localisé (Fuji *et al.*, 2006).

En France, la sélection ne s'effectue que depuis quelques années, et le critère de résistance aux maladies entrera dans les futurs objectifs de l'aquaculture. L'introduction d'objectifs de résistance aux maladies pourrait se faire sur la base de critères de sélection indirects, fournissant une estimation fiable de la valeur génétique d'un individu sans recourir à l'épreuve par le pathogène. La difficulté aujourd'hui est l'absence de critères répondant aux exigences de fiabilité, précision et coût pour la plupart des maladies d'intérêt.

# ii) <u>Sélection de poissons adaptés aux conditions du milieu</u>

Le Bien-être du poisson dépend en grande partie de la maitrise des paramètres physicochimiques de son milieu. L'intérêt s'est rapidement porté vers la sélection d'individus capables de tolérer voire de résister à des fortes variations de ces paramètres.

### a) Tolérance aux chocs thermiques

Des souches ayant une meilleure survie hivernale existent ainsi chez la carpe, et l'une d'entre elles, la souche « Ropsha » est largement utilisée en Europe du Nord (Babouchkine, 1987). Chez la truite à gorge coupée, une variation intersouche est observée, mais cette fois pour la résistance aux chocs chauds (Wagner *et al.*, 2001). Une interaction souche-température existe pour la vitesse de croissance chez la truite arc-en-ciel (Wangila et Dick, 1988).

Cette résistance a été explorée et des QTLs de résistance aux chocs chauds ont été identifiés chez la truite arc-en-ciel (Perry et al., 2001).

#### b) Tolérance à la salinité

L'adaptation à la salinité peut aussi être un paramètre important pour les espèces d'eau douce susceptibles d'être élevées en mer ou en eau saumâtre. Des résistances ont ainsi été trouvées chez le tilapia rouge (Romana-Eguia et Eguia, 1999) et chez la truite à gorge coupée (Wagner *et al.*, 2001).

Au niveau fonctionnel, chez un hybride interspécifique de tilapias, le polymorphisme de longueur d'un microsatellite dans le promoteur de la prolactine prl1 semble être directement responsable d'un polymorphisme d'expression de la prolactine, qui serait lié à la capacité de croissance en eau plus ou moins salée (Streelman et Kocher, 2002).

Des études sont en cours concernant la tolérance à l'hypoxie et au pH acide. La sélection pour l'adaptation à des milieux particuliers n'a pour l'instant pas été pratiquée. Seule la carpe « Ropsha » résistante au froid a été sélectionnée et est élevée en Europe du Nord.

## D) Enrichissement du milieu

Malgré les bénéfices qu'apporte l'enrichissement du milieu, comme par exemple la réduction des agressions (Kadry et Barreto, 2010), du stress (Fox et al., 2006), et des comportements stéréotypiques (Mason et al., 2007), la recherche s'est concentrée sur les mammifères et peu de données existent sur les poissons. Toutefois concernant les poissons de laboratoire, l'enrichissement est conseillé afin d'optimiser le Bien-être des animaux et d'ainsi réduire leur stress comme l'indique la Directive 2010/63/UE du Parlement européen et du Conseil du 22 septembre 2010 relative à la protection des animaux utilisés à des fins scientifiques. Ceci permet aux chercheurs de baser leurs résultats sur des animaux présentant un comportement normal. L'enrichissement choisi doit permettre aux poissons de reproduire des comportements naturels, en ajoutant par exemple des structures d'ombrage ou des cachettes, sans nuire à l'entretien des bassins. La création d'un courant

peut également être bénéfique. Plusieurs espèces de poissons se rassemblent en banc (espèce grégaire), l'enrichissement social n'est donc pas à négliger et les installations devraient permettre à ces espèces de reproduire ce comportement. Si les poissons doivent être isolés pour les besoins de l'expérimentation, il faut alors déterminer si un enrichissement supplémentaire devrait être fourni. Il faut aussi noter que l'enrichissement du milieu peut faire apparaître des comportements agressifs liés à l'apparition d'une ressource qui peut être une cause de conflit.

#### **Conclusion:**

Les recherches scientifiques ont permis d'envisager plusieurs perspectives en matière de Bien-être. Tout d'abord, le monitoring du Bien-être, permettrait l'amélioration les conditions d'élevage et d'intervenir en amont pour éviter les conséquences d'une exposition chronique à un agent stressant. Les conséquences seraient positives pour le Bien-être du poisson mais aussi pour les données économiques de l'élevage. Une productivité maximale dans l'aquaculture sera atteinte seulement en prenant en compte le Bien-être dans l'élevage. Néanmoins, le projet FASTFISH (2009) a montré qu'une amélioration était nécessaire pour faciliter son utilisation et son acceptation par l'éleveur, mais aussi une communication nécessaire sur les intérêts du monitoring, auprès des éleveurs des groupes industriels et du gouvernement.

D'autre part, les recherches sur l'amélioration génétique des poissons afin qu'il résiste mieux aux agressions et au stress de l'environnement sont intéressantes d'un point de vue du Bien-être mais doivent être poursuivies en raison des effets secondaires qu'elle a sur d'autres caractères. Il faudra donc nuancer cette sélection en gardant quelques animaux non sélectionnés dans le milieu pour limiter les combats (Koolhaas, 2008). Aussi, les conditions d'élevage doivent être adaptées à l'animal sélectionné, en changeant par exemple la ration de l'animal, ce qui pourrait éviter les comportements de dominance pour la ressource alimentaire (Hallerman *et al.*, 2007).

Enfin, l'enrichissement du milieu reste à explorer chez les poissons, en raison des effets positifs qu'il a chez les mammifères.

# CONCLUSION

L'intérêt public pour le Bien-être des animaux d'élevage englobe de façon croissante le Bien-être des poissons d'élevage (Bégout Anras et Lagardère, 2004). Les mammifères en élevage ayant été les plus étudiés jusque-là, des conditions limites de leur élevage ont été établies, ce qui n'est pas le cas pour les poissons. Les poissons ont souvent été considérés comme des « vertébrés inférieurs » et leur capacité à ressentir la douleur, ou à vivre un stress a souvent été remise en question. En effet, la théorie scientifique évoquée par Keys (2016) qui consiste à comparer les structures anatomiques des poissons aux structures retrouvées chez les mammifères et impliquées dans la sensation de douleur, a constitué un argument en faveur de l'incapacité des poissons à ressentir la douleur.

Pourtant, même si certains mécanismes doivent encore être éclaircis, la mise en évidence d'analogies anatomiques, physiologiques et comportementales souligne la capacité du poisson à développer des réactions de stress et de douleur. Le signal stressant est perçu par l'animal grâce à ses sens par l'intermédiaire de récepteurs périphériques, il subit une transmission périphérique par le thalamus et le striatum puis est intégré au niveau central dans la région postéro-dorsale du télencéphale : on parle d'axe thalamo-striato-cortical. Si le signal est ressenti comme étant stressant, les axes hypothalamo-hyposo-interrénal et sympatho-chromaffines sont activés, ayant comme conséquence la libération de cortisol et d'adrénaline. Cette réponse neuro-endocrine au stress constitue la réponse primaire. La réponse primaire déclenche une réponse secondaire qui est la modification des indices physiologiques du poisson. A long terme, des effets chroniques du stress sur la reproduction, la croissance, et l'immunocompétence du poisson sont observés, on parle alors de réponse tertiaire au stress. Outre la découverte de structures neuroanatomiques participant au stress de l'animal, l'existence de structures permettant aussi au poisson de ressentir la douleur a été une avancée dans la prise en compte du bien-être des poissons. En effet lorsque le signal est perçu comme agressif pouvant provoquer des dommages tissulaires, les nocicepteurs sont stimulés, le message passe par les voies spinothalamique et trijuminale, pour atteindre le pallium et subpallium. L'usage d'analgésiques permettrait alors de diminuer la douleur ressentie en agissant sur des récepteurs aux opioïdes que possède le poisson.

La mise en évidence scientifique de l'existence de la douleur, ou du stress du poisson n'est pas la seule condition à la prise en compte de leur Bien-être. Il ne s'agit pas seulement de savoir si un animal est capable de souffrir et si nous devons par conséquent prendre en compte son Bien-être, mais aussi de se questionner sur le devoir moral que l'Humain a envers les animaux qu'il élève et la valeur qu'il donne à ces animaux. Le débat repose donc sur des arguments plus profonds qui touchent à l'éthique comme aux croyances. Afin de savoir s'il est légitime de prendre en compte le Bien-être du poisson, il faut s'interroger sur la valeur que l'on attribue à cet animal. La tendance actuelle est la position biocentrique, où l'animal doit être respecté par sa valeur morale en tant qu'être vivant et non instrumentale, c'est-à-dire sans rapport d'intérêt pour l'humain. Toutefois il existe une hiérarchisation établie par l'humain, entre les espèces, ce qui lui permet d'utiliser l'animal en élevage, et ce de façon cohérente avec sa vision éthique.

La législation tient aussi compte de ces évolutions idéologiques concernant le bien-être. En effet, la Directive 2010/63/UE du Parlement européen et du Conseil du 22 septembre 2010 relative à la protection des animaux utilisés à des fins scientifiques considère que « Les attitudes vis-à-vis des animaux sont également dictées par les perceptions nationales et, dans certains États membres,

l'opinion publique réclame le maintien de règles en matière de bien-être animal plus poussées que celles adoptées au niveau de l'Union ». En réponse au malaise concernant en particulier le transport et l'abattage des animaux d'élevage et se basant sur les références publiées par l'OIE, le Conseil Européen a publié le Règlement (CE) N° 1/2005 du 22 décembre 2004 relatif à la protection des animaux pendant le transport qui donne des grandes lignes sur le respect du bien-être des animaux lors du transport, passant notamment par un personnel vigilant et formé pour respecter l'animal en lui évitant des blessures et stress, ainsi qu'un matériel ne portant pas atteinte au poisson, des inspections régulières des animaux et un suivi administratif des animaux. Toutefois ce texte se concentre sur l'aspect législatif du transport des poissons et aucune description précise des durées de transport, des densités appliquées n'est donnée, contrairement à d'autres espèces de vertébrés. Concernant l'abattage, le Règlement (CE) N° 1099/2009 du Conseil du 24 septembre 2009 sur la protection des animaux au moment de leur mise à mort, n'a pas inclus les poissons d'élevage car de plus « amples avis scientifiques sont nécessaires et qu'une évaluation économique plus approfondie s'impose dans ce domaine ». Pourtant la Directive 2010/63/UE du Parlement européen et du Conseil du 22 septembre 2010 relative à la protection des animaux utilisés à des fins scientifiques, et donc ne comprenant pas les poissons d'élevage, reconnait que les avancées scientifiques prouvent l'existence de la douleur, y compris chez les poissons, et donc la nécessité d'améliorer leur Bien-être en « relevant les normes de protections minimales de ces animaux ». Face à ce vide juridique à l'échelle du droit européen et français, les programmes de certification (Label Rouge, Label Bio, Filière Qualité Carrefour, Aquaculture de nos régions) et des regroupements de professionnels (CIPA, DPMA, FFA, OFIMER, UNPSA) se sont organisés pour fournir des normes d'élevage à destination des pisciculteurs et ont fait du Bien-être un des facteurs à prendre en compte pour établir ces normes, car il est un gage de qualité pour les consommateurs.

Les points importants du Bien-être pris en compte pour établir ses normes se sont portés vers la qualité du milieu de vie, et la gestion de l'élevage. L'eau étant le milieu de vie du poisson, sa qualité revêt une importance fondamentale. Les différents paramètres de l'eau peuvent être classés selon leur impact potentiel sur le poisson; l'oxygène étant l'élément le plus important, puis la température, l'ammoniac, le dioxyde de carbone, et la sursaturation en gaz. Ils peuvent avoir des effets à court terme comme une détresse respiratoire, ou des troubles neurologiques par exemple, tout comme des effets à long terme avec par exemple une baisse de croissance, une baisse de la reproduction ou l'apparition de malformations. Une mauvaise qualité de l'eau peut aussi agir de façon indirecte en prédisposant l'animal à des maladies infectieuses comme la furonculose et la maladie bactérienne des branchies. La conséquence de ce manque de maitrise des paramètres de l'eau est l'apparition de stress pour le poisson. A l'échelle de l'élevage, les indices sont détériorés, ce qui a des répercussions économiques pour l'éleveur. Il est intéressant de noter que les paramètres les plus importants sont en majorité des paramètres sur lequel l'éleveur peut agir.

Ainsi les pratiques d'élevage semblent avoir un effet prépondérant pour que le Bien-être des poissons en aquaculture soit respecté. L'une des pratiques d'élevage est le choix de la densité d'élevage. Elle devra dépendre de la concentration en dioxyde de carbone, ammoniac, oxygène et de la température. En effet, la surpopulation cause des effets négatifs sur le poisson et son Bien-être. Un changement d'activité de l'animal est observé, tout comme l'apparition de comportements agressifs, ainsi que des modifications morphologiques comme l'érosion des nageoires dorsales. Au sein de l'élevage en cas de surpopulation les poissons présentent une baisse de croissance irréversible et non compensée par leur prise alimentaire. Le choix des densités est aussi important car la captivité et la 124

concentration des poissons en élevage augmentent l'exposition aux pathogènes. Etant donné que la biomasse augmente avec la croissance des poissons, et ce de manière différentielle en fonction des animaux, il est important que l'éleveur réalise des tris de taille, pour rétablir une densité d'élevage correcte dans les bassins et homogénéiser les lots. Ces tris lui permettront aussi de surveiller l'aspect sanitaire de l'élevage. Face aux pathogènes, deux stratégies sont possibles : préventive par l'utilisation de vaccin entre autre, ou curative par l'usage de traitement. La prophylaxie sanitaire consiste en des mesures simples et hygiéniques. Un des points critiquables du point de vue du Bien-être consiste en l'utilisation de désinfectants comme le formol, provoquant des lésions et du stress chez le poisson. La prophylaxie médicale repose en partie sur l'utilisation des vaccins. Elle est aussi à raisonner du point de vue du Bien-être, car certaines méthodes comme l'injection péritonéale ou l'administration per os sont stressantes pour le poisson. Toutefois en s'appuyant sur la théorie utilitariste selon laquelle le bénéfice que tire l'animal doit excéder la quantité de souffrance infligée, la vaccination peut être considérée comme acceptable pour le Bien-être du poisson, par la protection qu'elle lui apporte malgré le stress subi. Une autre possibilité de prise en charge prophylactique repose sur le renforcement de l'immunité du poisson par l'usage de probiotiques et immunostimulants. Pour les programmes de certification comme le Label Bio, il faut d'ailleurs privilégier l'apport de probiotiques, d'immunostimulants et proposer une nourriture de qualité, plutôt que d'utiliser une stratégie thérapeutique.

Il semble ainsi que alimentation ait un rôle important pour le Bien-être du poisson, en permettant au poisson d'être en bonne santé, mais aussi en répondant à ses besoins physiologiques. Les paramètres physiques et nutritionnels seront à prendre en compte. En effet, un déficit en protéines cause des retards de croissance, des scolioses et une plus grande sensibilité aux infections. Au contraire un excès de protéines peut provoquer une dégénérescence hépatique. Actuellement la tendance est à fournir des aliments hyper énergétiques, riches en lipides et protéines aux poissons, ce qui est préoccupant car un excès énergétique peut causer des effets néfastes sur le foie du poisson. L'intégration d'une grande part de glucides est à surveiller car ils sont faiblement métabolisés par le poisson, gênent l'absorption des lipides et protéines, et peuvent provoquer une hyperglycémie continue causant des dommages au poisson. L'apport en vitamines ne peut être négligé en raison des rôles multiples et essentiels qu'elles jouent sur la reproduction, la croissance, le bon fonctionnement de la vision, de l'équilibre, la protection du foie, la lutte contre l'anémie, et le maintien de l'intégrité de la peau et des nageoires etc. Peu d'erreurs de formulation de l'aliment sont possibles de nos jours, mais un mauvais stockage, ou un mauvais calcul de la biomasse pour les distributeurs automatiques, modifient les caractéristiques de l'aliment qui ne correspond plus aux besoins physiologiques du poisson, et affectent donc le Bien-être du poisson.

L'arrêt de l'alimentation lors du jeûne pour des qualités organoleptiques du produit est aussi critiquable du point de vue du Bien-être des poissons puisque l'absence de faim est une des libertés du Bien-être. Cependant une qualité correcte de l'eau de transport par la baisse du métabolisme et de l'excrétion de fèces qu'il implique est aussi à prendre en compte, et est en cela positif pour le Bien-être du poisson. La durée du jeûne est donc à choisir avec attention. Hormis la pratique du jeûne d'autres mesures devront être mises en place afin que le transport ne porte pas atteinte au Bien-être des poissons. Il est ainsi indispensable que la qualité de l'eau soit maitrisée, notamment la teneur en oxygène dissous de l'eau, la teneur en dioxyde de carbone, le pH et la température de l'eau. Ces paramètres pourront être suivis par monitoring pendant le transport. De plus, afin d'optimiser la qualité de l'eau, il est possible de la traiter chimiquement par divers procédés. Le personnel doit aussi

être formé pour reconnaitre les signes de stress des poissons et intervenir en conséquence, et ceci conformément aux exigences européennes publiées dans le Règlement (CE) n° 1/2005 du Conseil du 22 décembre 2004 relatif à la protection des animaux pendant le transport et les opérations annexes.

L'étape suivant le transport est l'abattage. L'étourdissement avant l'abattage est une norme exigée en Europe pour les animaux terrestres, et doit permettre une perte de conscience et l'insensibilité de l'animal, mais aucune obligation n'existe en France au sujet de l'abattage des poissons d'élevage. Plusieurs méthodes existent, et il faudra choisir celle qui correspond le mieux à l'espèce et à la taille du poisson, et qui soit la plus rapide possible, en évitant que le poisson ne reprenne conscience rapidement. La technicité de l'opérateur et le rythme est un point important à ne pas négliger pour que l'animal subisse un stress de courte durée. La technique d'étourdissement par électrocution dite « électronarcose » est très répandue, notamment en truiticulture. Cette technique doit être appliquée avec des voltages suffisants afin d'éviter une simple paralysie musculaire et une sensation de douleur du poisson, au lieu de l'étourdissement escompté. Les techniques d'immersion dans une eau saturée en dioxyde de carbone et de refroidissement peuvent être critiquées par le doute émis sur la perte de conscience des poissons et ne sont donc pas respectueuses du Bien-être. Concernant l'abattage, la méthode de saignée et celle d'asphyxie par retrait du poisson de l'eau sont considérées comme non respectueuses du Bien-être car la mort est lente, et le poisson s'agite beaucoup avant de mourir, ce qui est une modification comportementale, signe de stress. Il est recommandé pour cette étape d'adapter la technique à l'anatomie du poisson, mais aussi à ses particularités physiologiques. Un animal qui vit en eau froide ne devra pas être tué par immersion dans un bain d'eau glacée.

L'amélioration des techniques d'aquaculture (sélection, surveillance des animaux) grâce aux avancées scientifiques est une perspective pour améliorer le Bien-être des poissons en élevage. La recherche scientifique a permis l'émergence de projets visant à diminuer le stress des animaux en permettant à l'éleveur de régir rapidement avant l'apparition de stress grâce au monitoring ou la sélection de poissons moins sensibles au stress. Une autre perspective est la réforme du droit européen concernant les poissons d'élevage. En effet, la directive 2010/63/UE du Parlement européen et du Conseil du 22 septembre 2010 relative à la protection des animaux utilisés à des fins scientifiques déclare au sujet de l'abattage des animaux d'expérimentation dont les poissons que des méthodes appropriées doivent être mises en places pour éviter douleur et souffrance inutiles à l'animal, ce qui n'est pas le cas pour les poissons d'élevage où aucune recommandation n'a été formulée. Il est possible que la législation en faveur de la prise en compte du bien-être des poissons en aquaculture évolue sous l'impulsion des associations de défense des animaux pour qui les conditions d'élevage des poissons ne sont plus tolérables, d'une médiatisation grandissante à ce sujet, et de l'opinion publique sensibilisée aux conditions d'élevage des animaux en système intensif et à leur méthode d'abattage. L'intérêt public pour le Bien-être des animaux se reflète dans les habitudes de consommation, pour qui le Bienêtre est devenu un critère à prendre en compte lors de l'achat de poisson tout comme la qualité gustative, et pour lequel le consommateur est prêt à payer plus cher. Les programmes de certifications ont compris cette demande, et font du Bien-être un des arguments de mise en valeur de leurs produits. Par conséquent la prise en compte du Bien-être des poissons représente un vrai enjeu économique à la fois dans la vente du produit grâce à l'image véhiculée aux consommateurs, qu'à l'amélioration de la gestion de l'élevage en évitant à l'éleveur de perdre de l'argent avec l'apparition d'infections, ou en augmentant l'efficacité alimentaire des poissons. La difficulté réside alors à trouver un équilibre entre intensivité et maintien de conditions respectueuses du Bien-être (par exemple dans le choix d'une densité d'élevage).

Il pourrait être intéressant d'élargir notre problématique au Bien-être des poissons issus de la pêche halieutique. Bien que les principes du Bien-être et du stress des poissons présentés dans ce travail soient les mêmes (base neuroanatomiques, effets du stress etc), la gestion zootechnique des poissons est radicalement différente (pêche, méthode d'abattage, absence de gestion du milieu). A l'aube du vote de l'Union Européenne le 21 novembre 2017 visant à développer la pêche électrique en Europe, il semble nécessaire de s'interroger sur l'impact des techniques de pêche sur le Bien-être des poissons sauvages.

# **BIBLIOGRAPHIE**

ADAMS, S.M. (1990) Status and use of biological indicators for evaluating the effects of stress in fish. Am. Fish. Sot. Symp. 8, 1-8

ALANARA A., WINBERG S., BRANNAS E., KIESSLING A., HOGLUND E., ELOFSSON U. (1998) Feeding behaviour, brain serotonergic activity levels, and energy reserves of Arctic char (Salvelinus alpinus) within a dominance hierarchy. Can. J. Zool. 76, 212–220

ALMAZAN-RUEDA P. (2004) Towards assessment of welfare in African catfish Clarias gariepinus: the first step. PhD thesis, Wageningen University

ALVAREZ B.M. (2008a) Enfermedades debidas a probleas nutricionales y de manejo, Clase de ictipatologia, Madrid, UCM 15

AMON T., AMON B., OFNER E., BOXBERGER J. (2001) Precision of assessment of animal welfare by the TGI 35L Austrian Animal Needs Index. Acta Agriculturæ Scandinavica Section A-Animal Science. Suppl. 30, 114-117

ANON (2004) Welfare aspects of animal stunning and killing methods. Scientific Report of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. EFSA journal Vol 2, Issue 7

APHA (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater. *In American Public Health* [https://www.apha.org/q=standards%20methods%20for%20water] (consulté le 17/08/2017) ASSOCIATION TURBOT QUALITE (2010), Cahier des charges turbot et découpes de turbot d'aquaculture marine Label Rouge. Demande de modification « LA 15-02 Turbot et découpes de turbot d'aquaculture marine » présentée à la commission permanente IGP/LR/STG de l'INAO à la séance du 4 mai 2010 AUDARD C. (2004) Utilitarisme. Dictionnaire d'éthique et de philosophie morale, 3ème éd. Paris, Canto-Sperber M. (Ed)

AYSON F., LAM T. (1993) Thyroxin injection of female rabbitfish (*Siganus guttatu*) broodstock: changes in thyroid hormone levels in plasma, eggs, and yolk-sac larvae, and its effect on larval growth and survival. Aquaculture 109, 83–93

BABOUCHKINE Y.P.(1987) La sélection d'une carpe résistant à l'hiver. Tiews K. (ed), Proc. World Symp. On Selection, Hybridization, and Genetic Engineering in Aquaculture. Bordeaux,27-30 Mai, p 447-454 BALCAZAR J.L., BLAS I., RUIZ-ZARZUELA I., CUNNINGHAM D., VENDRELL D., MUZQUIZ, J.L. (2006) The role of probiotics in aquaculture. Veterinary Microbiology 114, 173–186

BARBER I. (2007) Parasites, behaviour and welfare in fish. Applied Animal Behaviour Science 104, 251–264

BARCELLOS L. J. G., KREUTZ L.C., KOAKOSKI G., OLIVEIRA T.A., DA ROSA J.G.S., FAGUNDES M. (2012) Fish age, instead of weight and size, as a determining factor for time course differences in cortisol response to stress. Physiology and behavior 107, 397–400

BARRETO R., LUCHIARI A., MARCONDES A. (2003) Ventilatory frequency indicates visual recognition of an allopatric predator in naive Nile tilapia. Behavioural Processes 60, 235–239

BARRETO R., VOLPATO G. (2006) Ventilatory frequency of Nile tilapia subjected to different stressors. Journal Exp. Anim. Sci 43,189–196

BARROWS F., LELLIS W. (1999) The effect of dietary protein and lipid source on dorsal fin erosion in rainbow trout, Oncorhynchus mykiss. Aquaculture 180, 167–175

BARTON B., IWAMA G. (1991) Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. Ann. Rev. Fish Dis. 1, 3–26

BARTON B., GROSH R. (non publié) Physiological responses of five salmonid fishes to handling and transport

BARTON B., IWAMA G. (1991) Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. Ann. Rev. Fish Dis. 1, 3–26

BARTON B., PETER R., PAULENCU C. (1980) Plasma cortisol levels of fingerling rainbow trout

(Salmo gairdneri) at rest, and subjected to handling, confinement, transport, and stocking. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37, 805-811

BARTON B., SCHRECK C. (1987) Metabolic cost of acute physical stress in juvenile steelhead trout. Trans. Am. Fish. Soc. 116, 257–263

BARTON B., SCHRECK C., EWING R., HEMMINGSEN A., PATIIIO R. (1985) Changes in plasma cortisol during stress and smoltification in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Gen. Comp. Endocrinol. 59, 468-471

BAU F., FERRONI-CLAVERIE N., PARENT J.-P. (2001) Réponses physiologiques de sept espèces de poissons lacustres à un stress de capture (filet maillant et épuisette). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 157–168.

BEAMISH F. (1978). Swimming capacity. Fish physiology, vol. 7. Academic Press, New York, pp. 101-187, Hoar, W.S., Randall, D.J. (eds.)

BEGOUT ANRAS M.-L., LAGARDERE J. P. (2004) Measuring cultured fish swimming behaviour: first results on rainbow trout using acoustic telemetry in tanks. *Aquaculture*, 240(1), 175-186

BENTHAM J. (1776) A fragment on government. Cambridge University Press, Cambridge, UK, Edition 1988, 128p

BENTHAM J. (1789) An introduction to the principles of morals and legislation. In: The collected works of Jerely Bentham. F. Rosen, J.H Burns (eds), Clarendon Press, Oxford, UK, Edition de 1983, Chapter XVII, Section I, note 2, 283

BERKA R. (1986) Le transport des poissons vivants. *In : Archive de documents de la FAO* 

[http://www.fao.org/docrep/009/af000f/af000f00.HTM] (consulté le 01/06/2017)

BLANCO GUTTIERREZ M. (2008) Medidas profilacticas en ictiopatologia. La repuesta inmunitaria de los peces. Vacunacion Tema 9, Madrid, UCM 5-7

BOISSY A. *et al.* (2007) Emotions et cognition : stratégie pour répondre à la question de la sensibilité des animaux. INRA Productions Animales 20, 17-22

BORDE G. (2004) Guide de bonnes pratiques sanitaires en élevage piscicoles. Fédération française d'aquaculture

BORDERIAS A., SANCHEZ-ALONSO I. (2011) First Processing Steps and the Quality of Wild and Farmed Fish. Journal of Food Science, 76(1), R1-R5

BOUCHER R. et al. (2012) Selection for Adaptation to Dietary Shifts: Towards Sustainable Breeding of Carnivorous Fish. PLOS ONE 7, e44898

BOURDON J. (2003) Recherche agronomique et bien-être des animaux d'élevage. Histoire d'une demande sociale. Histoire et Sociétés rurales 19, 221-239.

BRANDSON E. (2008) Fish welfare. Oxford, Blackwell Publishing, 300

BRANSON E., TURNBULL T. (2008) Welfare and deformities. Branson, E.J. (Ed). Fish Welfare.Blackwell Publishing, UK, 202-216.

BRATLAND S. *et al.* (2010) From fear to anticipation. Using aversive light stimuli to train reward conditioning in Atlantic salmon (Salmo salar L.). Aquacult Int 18,991-1001

BRETON B. (2005) La truite et son élevage. Collection aquaculture pisciculture. Eds TEC et DOC. Lavoisier.

BRICKNELL I., DALMO R. (2005) The use of immunostimulants in fish larval aquaculture. Fish and Shellfish Immunology, Fish Larval immunity 19, 457–472

BRIDGER C., BOOTH R., MCKINLEY R., SCRUTON D. (2001) Site fidelity and dispersal patterns of domestic triploid steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) released to the wild. ICES Journal of Marine Science 58, 510-516

BROWN L., ALBRIGHT L., EVELYN T. (1990) Control of vertical transmission of *Renebacterium salmoninarum* by injection of antibodies into maturing female coho salmon *Oncorhynchus kisutch*. Dis. Aquat. Org. 9, 127–131

BROWN C., BERN H. (1989) Hormones in early development, with special reference to teleost fish. Scanes, C.G., Scheibman, M.P. Eds., Hormones in Development, Maturation and Senescence of Neuroendocrine Systems. Academic Press, San Diego, 189–306

BROWN C., DOROSHOV S., COCHRAN M., BERN H. (1989) Enhanced survival in striped bass fingerlings after maternal triiodothyronine treatment. Fish. Physiol. Biochem. 7, 295–299

BROWN, G., HARVEY M., LEDUC A., FERRARI M., CHIVERS D. (2009) Social context, competitive interactions and the dynamic nature of antipredator responses of juvenile rainbow trout Oncorhynchus mykiss. Journal of fish biology 75, 552–562

BRYDGES N., BOULCOTT P., ELLIS T., BRAITHWAITE V. (2009) Quantifying stress responses induced by different handling methods in three species of fish. Appl Anim Behav Sci 116, 295–301

BUENTELLO J., GATLIN D. (2001) Effects of Elevated Dietary Arginine on Resistance of Channel Catfish to Exposure to Edwardsiella ictaluri. Journal of Aquatic Animal Health 13, 194–201

BURLESON M., MILSOM W. (2003) Comparative aspects of O2 chemoreception: anatomy, physiology, and environmental adaptations. Lahiri S, Semenza GL, Prabhakar NR (eds) Oxygen sensing: responses and adaptation to hypoxia. Marcel Dekker, New York, 685–707

BYRNE P., FERGUSON H., LUMSDEN J., OSTLAND V. (1991) Blood-chemistry of bacterial gill disease in brook trout Salvelinus fontinalis. Dis Aquat Org 10,1–6

CAIRNS M. *et al.* (2008) A cDNA microarray assessment of gene expression in the liver of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in response to a handling and confinement stressor. Comparative Biochemistry and Physiology, Part D: Genomics and Proteomics 3, 51–66

CALDWELL C., KATTRSH H., STRANGE R. (1991) Distribution of cortisol among its free and protein-bound fractions in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: evidence of control by sexual maturation. Comp. Biochem. Physiol. 99A, 593–595

CAMPBELL P., POTTINGER T., SUMPTER J. (1992) Stress reduces the quality of gametes produced by rainbow trout. Biol. Reprod. 47, 1140–1150

CAMPBELL P., POTTINGER T., SUMPTER J. (1994) Preliminary evidence that chronic confinement stress reduces the quality of gametes produced by brown and rainbow trout. Aquaculture 120, 151–169

CARRAGHER J., PANKHURST N. (1991) Stress and reproduction in a commercially important marine fish, *Pagrus auratus* Sparidae. Scott, A.P., Sumpter, J.P., Kime, D.E., Rolfe, M.S. Eds., Reproductive Physiology of Fish 1991. FishSymp 91, Sheffield, 253–255

CARRAGHER J., SUMPTER J. (1990) The effect of cortisol on the secretion of sex steroids from cultured ovarian follicles of rainbow trout. Gen. Comp. Endocrinol n°77, 403-407

CARTER K. (2008) Effects of Temperature, Dissolved Oxygen/Total Dissolved Gas, Ammonia, and pH on Salmonids: Implications for California's North Coast TMDLs. California Regional Water Quality Control Board, North Coast Region

CENH (2014) Utilisation éthique des poissons. Rapport de la commission fédérale d'éthique pour la biotechnologie dans le domaine non humain

CHANDROO K., DUNCAN I., MOCCIA R. (2004) Can fish suffer? : Perspectives on sentience, pain, fear and stress. Applied Animal Behaviour Science 86(3-4), 225-250

CHEN S., STECHEY D., MALONE R. (1994) Suspended solids control in recirculating aquaculture systems. Timmons, M.B., Losordo, T.M. (Eds). Aquaculture water reuse systems: engineering design and management. Elsevier, Oxford, UK, 61-100

CHOO P., SMITH T., CHO C., FERGUSON H. (1991) Dietary excesses of leucine influence growth and body composition of rainbow trout. The Journal of nutrition 121, 1932–1939

CIPRIANO R., HEARTWELL C. (1986) Susceptibility of salmonids to furunculosis: differences between serum and mucus responses against Aeromonas salmonicida. Transactions of the American Fisheries Society 115, 83–88

CLEARWATER S. (1992) Reproductive biology and response to capture stress of the red gurnard *Chelidonichthys kumu,* Master's Thesis, Univ. Auckland

COLT J. (2006) Water quality requirements for reuse systems. Aquacultural Engineering, Design and Selection of Biological Filters for Freshwater and Marine Applications n°34, 143–156

COLT J., TOMASSO J. (2001) Hatchery water supply and treatment. Wedemeyer, G.A., (Ed). Fish Hatchery Management, 2nd Edition. American Fisheries Society, Maryland, USA, 91-186

COMTE S. (1995) Les indicateurs sanguin, plasmatique, et cellulaire du stress à court terme chez le poisson. Th. Méd. Vet, Nantes

CONTE F. (2004) Stress and the welfare of cultured fish. Applied Animal Behaviour Science, International Society for Applied Ethology Special Issue: A selection of papers from the 36th ISAE International Congress n°86, 205–223

CONTRERAS-SANCHEZ W. (1995) Effects of stress on the reproductive performance and physiology of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. MS thesis, Oregon State University

CONTRERAS-SANCHEZ W., SCHRECK C., FITZPATRICK M., PEREIRA C. (1998) Effects of stress on the reproductive performance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*.Biol. Reprod. n°58, 439–447

CORLAY D. (2007) Dossier: que mangent les poissons d'aquaculture en France ? *In : Legouessant Aquaculture* 

[http://www.aqua.legouessant.com/maj/upload/documents/infeau\_fr\_12\_74.pdf] (consulté le 08/10/2017)

COUILLARD C., COURTENAY S., MACDONALD R. (2008) Chemical- environment interactions affecting the risk of impacts on aquatic organisms: a review with a Canadian perspective—interactions affecting vulnerability. Environ Rev n°16, 19–44

COUNCIL, F.A.W., 1992. The five freedoms. Farm Animal Welfare Council London

CROCKER C., CECH J. (1997) Effects of environmental hypoxia on oxygen consumption rate and swimming activity in juvenile white sturgeon, Acipenser transmontanus, in relation to temperature and life intervals. Environ. Biol. Fish n°50, 383–389

CRONIN G., WIEPKEMA P., VAN REE J. (1986) Andorphins implicated in stereotypies of tethered sows. Experientia n°42, 198–199

DAMSGARD B., BJØRKLUND F., JOHNSEN H., TOFTEN H. (2011) Short- and long-term effects of fish density and specific water flow on the welfare of Atlantic cod, Gadus morhua. Aquaculture n°322, 184–190

DANCHIN E., GIRALDEAU L., CEZILLY F. (2008) Behavioural ecology. Oxford University Press, Oxford DANLEY M., MAZIK P., KENNEY P., KISER R., HANKINS J. (2001) Chronic exposure to carbon dioxide: Growth, physiological stress responses, and fillet quality of rainbow trout. Aquaculture 2001, Book of Abstracts. World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, 161

DANTZER R. (2001) Comment les recherches sur la biologie du bien-être animal se sont-elles construites ? Les animaux d'élevage ont-ils droit au bien-être ? F. Burgat, R. Dantzer (Eds), INRA Editions, Paris, France, 85-103

DANTZER R., MORMEDE P. (1979) Physiopathologie de la réaction aux agressions. Le stress en élevage intensif, Paris, Masson, 29–51

DAVIDSON J., GOOD C., WELSH C., BRAZIL B., SUMMERFELT S. (2009) Heavy metal and waste metabolite accumulation and their potential effect on rainbow trout performance in a replicated water reuse system operated at low or high system flushing rates. Aquacultural Engineering, Design, Loading, and Water Quality in Recirculating Systems for Salmonids n° 41, 136–145

DAVIS L., SCHRECK C. (1997) The energetic response to handling stress in juvenile coho salmon. Trans. Am. Fish. Soc. n°126, 248–258

DAVIS K., TORRANCE P., PARKER N., SUTTLE M. (1985) Growth, body composition, and hepatic tyrosine aminotransferase activity in cortisolfed channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque. J. Fish Biol. N°27, 177-184

DAWKINS M. (1998) Evolution and animal welfare. Quarterly Review of Biology n°73, 1–21

DAWKINS M. (2004) Using behaviour to assess animal welfare. Animal welfare-potters Bar then Wheathampstead n°13, S3–S8

DE ARMENTIA M., CABANES C., BELMONTE C. (2000) Electrophysiological properties of identified trigeminal ganglion neurons innervating the cornea of the mouse. Neuroscience n°101, 1109–1115

DENIGHT M., WARD J. (1982) Relationship of chin spot size to dominance in the black-chinned mouthbrooding cichlid fish (Sarotherodon melanotheron). Anim Behav n°30, 1099–1104

DESCHAMPS M., LABBE L., BALOCHE S., FOUCHEREAU-PERON M., DUFOUR S., SIRE J.-Y. (2009) Sustained exercise improves vertebral histomorphometry and modulates hormonal levels in rainbow trout. Aquaculture n° 296, 337–346

DGPEI (2007) Cahier des charges concernant le mode de production et de préparation biologiques des espèces aquacoles et leurs dérivés. *In agrobioperigord* 

[http://www.agrobioperigord.fr/upload/avenant\_7\_aquaculture.pdf] (consulté le 01/08/2017)

DILL L. (1987) Animal decision making and its ecological consequences: the future of aquatic ecology and behaviour. Can. J. Zool n°65, 803-811

DIRECTION GENERALE DES POLITIQUES AGRICOLE, AGROALIMENTAIRE ET DES TERRITOIRES (2010) Cahier des charges concernant le mode de production biologique d'animaux d'élevage et complétant les dispositions des règlements (CE) n° 834/2007 du Conseil et (CE) n° 889/2008 de la Commission. Journal officiel de la république française

D'ORBCASTEL E., BLANCHETON J.-P., AUBIN J. (2009) Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. Aquacultural Engineering n°40, 113–119

DONALDSON E., FAGERLUND, U. (1968) Changes in the cortisol dynamics of sockeye salmon (*Oncorhyhus nerka*) resulting from sexual maturation. Gen. Comp. Endocrinol. n°11, 552–561

DREW R., SCHWABL H., WHEELER P., THORGAARD G. (2007) Detection of QTL influencing cortisol levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture n°272, S183–S194

DUNCAN J., PETERICH J. (1991) The implications of cognitive processes for animal welfare. Journal of Animal Science n°69, 5017-5022

DUNLOP R., LAMING P. (2005) Mechanoreceptive and nociceptive responses in the central nervous system of goldfish (*Carassius auratus*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*). The journal of pain n°6, 561–568

DUPREE H., HUNER J (1984) Transportation of live fish. USGS publications, 165–176 133

EDDY F., KUNZLIK P., BATH R. (1983) Uptake and loss of nitrite from the blood of rainbow trout, Salmo gairdneri Richardson, and Atlantic salmon, Salmo salar L., in fresh water and in dulite sea water. Journal of Fish Biology n°23, 105-116

EDELMAN G., TONONI G. (2000) Consciousness. How Matter Becomes Imagination, Penguin Books paperback Ed., London

EFSA (2009) Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed fish: rainbow trout. Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. The EFSA journal 1013, 1-55

EINUM S., FLEMING I. (1997) Genetic divergence and interactions in the wild among native, farmed and hybrid Atlantic salmon. Journal of Fish Biology n°50, 634–651

EJIKE C., SCHRECK C. (1980) Stress and social hierarchy rank in coho salmon. Trans. Am. Fish. Soc. 109, 423–426

ELLIS A. (1981) Stress and the modulation of defence mechanisms in fish. Pickering, A.D. (ed.) Stress in fish. Academic Press, London, 147-169

ELLIS T., JAMES J., SCOTT A. (2005) Branchial release of free cortisol and melatonin by rainbow trout. Journal of fish biology n°67, 535–540

ELLIS T., JAMES J., STEWART C., SCOTT A. (2004) A non-invasive stress assay based upon measurement of free cortisol released into the water by rainbow trout. Journal of Fish Biology n°65, 1233–1252

ELLIS T., JAMES J., SUNDH H., FRIDELL F., SUNDELL K., SCOTT A. (2007) Non-invasive measurement of cortisol and melatonin in tanks stocked with seawater Atlantic salmon. Aquaculture n°272, 698–706

ELLIS T., NORTH B., SCOTT A., BROMAGE N., PORTER M., GADD D. (2002) The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. Journal Fish. Biol. n°1, 493–531

ELLSAESSER C., CLEM L. (1986) Haematological and immunological changes in channel catfish stressed by handling and transport. Journal. Fish. Biol. n°28, 511-521

ESPMARK A., BAEVERFJORD G. (2009) Effects of hyperoxia on behavioural and physiological variables in farmed Atlantic salmon (Salmo salar). Aquacult Int n°17, 341–353

CORDIS european commission (2009) Projects and Results : Final Report Summary - FASTFISH (On farm assessment of stress level in fish) In : cordis europea

[http://cordis.europa.eu/result/rcn/47013\_en.html] (consulté le 17/10/2017)

EVANS D., CLAIBORNE J. (2006) The physiology of fishes. CRC. Taylor and Francis, Boca Raton, Floride EVANS D., PIERMARINI P., CHOE K. (2005) The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. Physiological Reviews n°85, 97-177

FAO – département des pêches et aquaculture (2005) Vue générale du secteur aquacole national – France. In: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\_france/fr] (consulté le 27/10/2017)

F.S.B.I. (2002) Fish Welfare. Briefing Paper 2. Fisheries Society of the British Isles, Granta Information Systems, Sawston, Cambridge CB 4H, 25

FAUCONNEAU B., LAROCHE M. (1995) Characteristics of the flesh and quality of products of catfishes. Aquatic Living Resources 9, 165-179

FEIST G., SCHRECK C., FITZPATRICK M., REDDING J. (1990) Sex steroid profiles of coho salmon *Oncorhynchus kisutch*. during early development and sexual differentiation. Gen. Comp. Endocrinol n°80, 299–313

FERREIRA PINTO J., NUNES M., CARDOSO C. (2007) Feeding interruption and quality of cultured gilthead sea bream. Food Chem n°100, 1504–1510

FISH FARMING INTERNATIONAL (1999) Malformations related to heat. Fish Farming International n°26, 22

FLODMARK L., URKE H., HALLERAKER J., ARNEKLEIV J., VØLLESTAD L., POLEO A. (2002) Cortisol and glucose responses in juvenile brown trout subjected to a fluctuating flow regime in an artificial stream. Journal of Fish Biology n°60, 238–248

FOX C., MERALI Z., HARRISON C. (2006) Therapeutic and protective effect of environmental enrichment against psychogenic and neurogenic stress. Behavioural brain research n°175, 1–8

FRASER D., WEARY D., PAJOR E., MILLIGAN B. (1997) A Scientific Conception of Animal Welfare that Reflects Ethical Concerns. Ethics and Animal Welfare

FRIES C. (1986) Effects of environmental stressors and immunosuppressants on immunity in *Fundulus heteroclitus*. Am. Zool n°26, 271-282

FRYER J., PETER R. (1977) Hypothalamic control of ACTH secretion in goldfish. Hypothalmic cortisol implant studies. Gen. Comp. Endocrinol n°33, 215-225

FUJI K., KOBAYASHI K., HASEGAWA O., COIMBRA M., SAKAMOTO T., OKAMOTO N. (2006) Identification of a single major genetic locus controlling the resistance to lymphocystis disease in Japanese flounder (Paralichthys olivaceus). Aquaculture n°254, 203–210

GATLIN D. (2002) Nutrition and fish health. In: Fish Nutrition, 3rd ed. by J.E. Halver & R.W. Hardy, 671–702, Academic Press, San Diego, CA

GENTLE M. (1992) Pain in birds. Animal Welfare n°1, 235-247

GJØEN H., REFSTIE T., ULLA O., GJERDE B. (1997) Genetic correlations between survival of Atlantic salmon in challenge and field tests. Aquaculture n°158, 277–288

GILBEY J. et al. (2006) Identification of genetic markers associated with Gyrodactylus salaris resistance in Atlantic salmon Salmo salar. Diseases of Aquatic Organisms n°71, 119–129

GINES R., PALICIO M., ZAMORANO M., ARGUELLO A., LOPEZ J., ALFONSO J. (2002) Starvation before slaughtering as a tool to keep freshness attributes on gilhead sea bream (*Sparus aurata*). Aquaculture n°10, 379-389

GINGERINCH, W., DROTTAR K. (1989) Plasma catecholamine concentrations in rainbow trout (Salmo gairdneri) at rest and after anesthesia and surgery. General and Comparative Endocrinology. Brandson, E.P., Fish Welfare, Oxford, Blackwell (ed.), 2008, 32-48

GOBLER C., BAUMANN H., TALMAGE S. (2012) Reduced early life growth and survival in a fish in direct response to increased carbon dioxide. Nature Climate Change 2, 38.

GOEDE R., BARTON B. (1990) Organismic indices and an autopsy-based assessment as indicators of health and condition in fish. Am. Fish. Sot. Symp. n°8, 93-108

GREGORY N. 1999. Do fish feel pain? ANZCCART News n°12,1-3

GRIMM, A. (1985) Suppression by cortisol of the mitogen-induced proliferation of peripheral blood leucocytes from plaice, *Pleuronectes platwa* L. Manning, M.J., Tatner, M.F. (eds.) Fish immunology. Academic Press, London, 263-271

GRIMSRUD K., NIELSEN H., NAVRUD S., OLESEN I. (2013) Households' willingness-to-pay for improved fish welfare in breeding programs for farmed Atlantic salmon. Aquaculture, 372-375 (Supplement C), 19-27

HALLERMAN E., MCLEAN E., FLEMING I. (2007) Effects of growth hormone transgenes on the behavior and welfare of aquacultured fishes: A review identifying research needs. Applied Animal Behaviour Science, 104(3), 265-294

HAMPSON, B. (1976) Ammonia concentration in relation to ammonia toxicity during a rainbow trout rearing experiment in a closed freshwater-seawater system. Aquaculture n°9, 61-70

HANE S., ROBERTSON O. (1959) Changes in plasma 17-hydroxycorticosteroids accompaning sexual maturation and spawning of the Pacific salmon *Oncorhynchus tschawytscha*. and rainbow trout *Salmo qairdneri*.. Pac. Natl. Acad. Sci. US 45, 886–893

HANE S., ROBERTSON O., WEXLER B., KRUPP A. (1966) Adrenocortical response to stress and ACTH in Pacific salmon *Oncorhynchus tshawytscha*. and steelhead trout *Salmo gairdneri*. at successive stages in the sexual cycle. Endocrinology n°78, 791–800

HARDY R., HALVER J., BRANNON E. (1979) Effect of dietary protein level on the pyridoxine requirement and disease resistance of chinook salmon. Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, JE Halver & K. Tiews Ed.. Schr. Bundesforschungsanst. Fisch. Hamb 1, 253–260

HATTINGH J., LE ROUX F., VAN VUREN J. (1975) The transport of freshwater fish. In: Journal of Fish Biology [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1095-8649.1975.tb04619.x/full] (consulté le 11/09/2017)

HAYWOOD G. (1983) Ammonia toxicity in teleost fishes: a review. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science. 1177, 35

HEMRE G., SANDNES K. (1999) Effect of dietary lipid level on muscle composition in Atlantic salmon Salmo salar. Aquaculture Nutrition 5, 9–16

HENRYON M. *et al.* (2002) Genetic variation for growth rate, feed conversion efficiency, and disease resistance exists within a farmed population of rainbow trout. Aquaculture n°209, 59–76

HERBERT N., STEFFENSEN J. (2005) The response of Atlantic cod, Gadus morhua, to progressive hypoxia: fish swimming speed and physiological stress. Mar Biol n°147, 1403–1412

HERMAN J., OSTRANDER M., MUELLER N., FIGUEIREDO H. (2005) Limbic system mechanisms of stress regulation: hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis.Branson, E.P., Fish Welfare, Blackwell Publishing, Oxford, 32-48

HINSHAW J., FORNSHELL G. (2002) Effluents from raceways. Tomasso, J.R. (Ed). Aquaculture and the environment in the United States. U.S. Aquaculture

HOKANSON K., KLEINER C., THORSLUND T. (1977) Effects of constant temperatures and diel temperature fluctuations on specific growth and mortality rates and yield of juvenile rainbow trout, Salmo gairdneri. Journal of the Fisheries Board of Canada n°34, 639–648

HOLLEBECQ M., FAIVRE B., BOURMAUD C., MICHEL C. (1995) Spontaneous bactericidal and complement activities in serum of rainbow trout *(Oncorhynchus mykiss)* genetically selected for resistance or susceptibility to furunculosis. Fish and Shellfish Immunology n° 5, 407–426

HORNBY P., PIEKUT D., DEMSKY L. (1987) Localization of immunoreactive tyrosine hydroxylase in the goldfish brain. The Journal of Comparative Neurology 261(1), 1-14

HOURIGAN T. (1986) A comparison of haremic social systems in two reef fishes. Crickamer, L.C. Ed., Behavioral Ecology and Population Biology. Privat, I.E.C., Toulouse, 23–28

HOUSTON R. *et al.* (2008) Major Quantitative Trait Loci Affect Resistance to Infectious Pancreatic Necrosis in Atlantic Salmon (Salmo salar). Genetics 178, 1109–1115

HOWELLS G. (1994) Water Qual Freshwater Fish. CRC Press

HUGUES G. (1981) Effects of low oxygen and pollution on the respiratory system of fish. Stress and fish. Brandson, E. P., Fish Welfare, Oxford, Blackwell (ed.),32-48

HUNTINGFORD F. *et al.* (2006) Current issues in fish welfare. Journal of Fish Biology 68, 332–372 HUSS H. (1995) Quality and quality changes in fresh fish. FAO fisheries technical. Rome: FAO Press, 348

IASP (1994) Pain Terms, A Current List with Definitions and Notes on Usage, p 209-214, Classification of Chronic Pain, Second Edition, IASP Task Force on Taxonomy, edited by H. Merskey and N. Bogduk, IASP Press, Seattle

INUI Y., YOKOTE M. (1975) Gluconeogenesis in the eel. Gluconeogenesis in the hydrocortisoneadministered eel. Bull. Jap. Sot. Sci. Fish. 41, 973-981

ISHIDA Y., YOSHIKAWA H., KOBAYASHI H. (1996) Electrophysiological responses of three chemosensory systems in the carp to pesticides. Physiol. Behav. n°60, 633–638

IWAMA G. (2007) The welfare of fish. Diseases of Aquatic Organisms, 75(2), 155-158

JALABERT B. (1976) In vitro oocyte maturation and ovulation in rainbow trout *Salmo gairdneri*, northern pike *Esox lucius.*, and goldfish *Carassius auratus.*. J. Fish Res. Board Can. n°33, 974–988

JENSEN F. (2003) Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. Comparative and Biochemistry Physiological Part A. n°135, 9-24

JOBLING M. (1983) Effect of feeding frequency on food intake and growth of Arctic charr, Salvelinus alpinus (L). J Fish Biol n°23, 177–185

JOBLING M., BAARDVIK B., CHRISTIANSEN J., JØRGENSEN E. (1993) The effects of prolonged exercise training on growth parameters and production parameters in fish. Aquaculture International n°1, 95-111

JOBLING M., KOSKELA J. (1996) Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout during restricted feeding and in a subsequent period of compensatory growth. Journal Fish Biol. n°49, 658–667

JOHNSSON J., HOJESJO J., FLEMING I. (2001) Behavioural and heart rate responses to predation risk in wild and domesticated Atlantic salmon. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences n°58, 788-794

JOHNSSON J., PETERSSON E., JÖNSSON E., BJÖRNSSON B.T., JÄRVI T. (1996) Domestication and growth hormone alter antipredator behaviour and growth patterns in juvenile brown trout, Salmo trutta. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences n°53, 1546–1554

JONES D. (1971) The effect of hypoxia and anaemia on the swimming performance of rainbow trout (Salmo gairdneri). Journal of Experimental Biology n°55, 541–551

JØRGENSEN E., CHRISTIANSEN J., JOBLING M. (1993) Effects of stocking density on food intake, growth performance and oxygen consumption in Arctic charr (Salvelinus alpinus). Aquaculture n°110, 191–204 KAATTARI S., TRIPP R. (1987) Cellular mechanisms of glucocorticoid immunosuppression in salmon. Journal Fish Biol. n°31 (Suppl. A), 129-132

KADRY V., BARRETO R. (2010) Environmental enrichment reduces aggression of pearl cichlid, Geophagus brasiliensis, during resident-intruder interactions. Neotropical Ichthyology n°8, 329–332 KEELEY E. (2000) An experimental analysis of territory size in juvenile steelhead trout. Anim. Behav. n°59, 477–490

KESTIN S., WOTTON S., ADAMS S. (1995) The effect of CO2, concussion or electrical stunning of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) on fish welfare. Quality in Aquaculture. Special Publication n°23, 380–381

KEY B. (2016) Why fish do not feel pain. Animal Sentience: An Interdisciplinary Journal on Animal Feeling 1, 1

KIRON V., FUKUDA H., TAKEUCHI T., WATANABE T. (1993) Dietary protein related humoral immune response and disease resistance of rainbow trout, Oncorhynchus mykiss, Colloques de l'INRA, Biarritz (France), 24-27 Juin 1991, INRA

KITTILSEN S. *et al.* (2009). Melanin-based skin spots reflect stress responsiveness in salmonid fish. Hormones and Behavior n°56, 292-298

KLONTZ G. (1993) Environmental requirements and environmental diseases of salmonids. Stoskopf, M. (Ed). Fish Medicine. W.B.Saunders, Philadelphia, USA., 333-342

KOOLHAAS J. (2008) Coping style and immunity in animals: making sense of individual variation. Brain, behavior, and immunity n°22, 662–667

KOROVIN V., ZYBIN A., LEGOMIN V. (1982) Response of juvenile fishes to stress factors associated with transfers during fish farming. J. Ichthyol. n°22, 98-102

KRISTIANSEN T., FERNO A., HOLM J., PRIVITERA L., BAKKE S., FOSSEIDENGEN J. (2004) Swimming behaviour as an indicator of low growth rate and impaired welfare in Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus L.) reared at three stocking densities. Aquaculture n°230, 137–151

KROGDAHL A., SUNDBY A., OLLI J. (2004) Atlantic salmon (Salmo salar) and rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) digest and metabolize nutrients differently. Effects of water salinity and dietary starch level. Aquaculture n°229, 335–360

L214 (2016) L'impact de la viande sur les humains, les animaux et l'environnement- Aquaculture. *In :* L214-éthique et animaux [https://www.viande.info/aquaculture] (consulté le 27/10/2017)

LARRERE R. (2007) Justification éthiques des préoccupations concernant le bien-être animal. INRA Productions Animales n°20, 11-16

LAIDLEY C., WOO P., LEATHERLAND J. (1988) The stress-response of rainbow trout to experimental infection with the blood parasite *Cryptobia salmositica* Katz, 1951. Journal Fish Biol. n°32, 253-261

LAM T. (1985) Role of thyroid hormone on larval development in fish. Lofts, B., Holms, W.N. Eds., Current Trends in Comparative Endocrinology. Hong Kong Univ. Press, Hong Kong, 481–485

LARRERE R. (2003) L'élevage contemporain en question : demande sociale, préférences des consommateurs ou interrogations citoyennes ? INRA Productions Animales n°16, 329-332

LEACH G., TAYLOR M. (1980) The role of cortisol in stress-induced metabolic changes in *Fundulus heteroclitus*. Gen. Comp. Endocrinol n°42, 219-227

LE BOUCHER R. et al. (2011) Plant-based diet in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss Walbaum): Are there genotype-diet interactions for main production traits when fish are fed marine vs. plant-based diets from the first meal? Aquaculture n°321, 41–48

LEVY D., NORTHCOTE T., HALL K., YESAKI I. (1989) Juvenile salmon response to log storage in littoral habitats of the Fraser River estuary and Babine Lake. Canadian Special Publication of fisheries and Aquatic Science n°105, 82-91

LEWIS W., MORRIS D. (1986) Toxicity of nitrite to fish: A review. Transactions of the American Fisheries Society n°115, 183-195

LINES J., KESTIN S. (2004) Electrical stunning of fish: the relationship between the electric field strength and water conductivity. Aquaculture n°241, 219–234

LINTON T., MORGAN I., WALSH P., WOOD C. (1998a) Chronic exposure of rainbow trout (*Oncorhynhcus mykiss*) to simulated climate warming and sublethal ammonia: a year-long study of their appetite, growth, and metabolism. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science n° 55, 576-586

LLOYD R., SWIFT D. (1976) Some physiological responses by freshwater fish to low dissolved oxygen, high carbon dioxide, ammonia and phenol with particular reference to water balance. Effects of pollutants on aquatic systems. Lockwood, A.P.M. (Ed). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 47-70

LORENZI V., CARPENTER R., SUMMERS C., EARLEY R., GROBER M. (2009) Serotonin, social status and sex change in the bluebanded goby Lythrypnus dalli. Physiology and behavior n°97, 476–483

MACHIN K. (2001) Fish, amphibian, and reptile analgesia. The Veterinary Clinics of North America. Exotic Animal Practice n°4, 19-33

MAGOR B. (1988) Gill histopathology of juvenile *Oncorhynchus kisutch* exposed to suspended wood debris. Canadian Journal of Zoology n°66, 2164-2169

MARTINS C., OCHOLA D., ENDE S., EDING E., VERRETH J. (2009) Is growth retardation present in Nile tilapia Oreochromis niloticus cultured in low water exchange recirculating aquaculture systems? Aquaculture n°298, 43–50

MARTINS T., VALENTIM A., PEREIRA N., ANTUNES L. (2016) Anaesthesia and analgesia in laboratory adult zebrafish: a question of refinement. Laboratory animals, *50*(6), 476–488

MASON G. (1991) Stereotypies: a critical review. Anim Behav n°41, 1015–1037

MASON G., CLUBB R., LATHAM N., VICKERY S. (2007) Why and how should we use environmental enrichment to tackle stereotypic behaviour? Applied Animal Behaviour Science n°102, 163–188

MATTIOLI R., SANTANGELO E., COSTA A., VASCONCELOS L. (1997) Substance P facilitates memory in goldfish in an appetitively motivated learning task. Behavioural Brain Research n°85, 117-120

MAULE A., SCHRECK C. (1990a) Changes in numbers of leucocytes in immune organs of juvenile coho salmon *Oncorhynchus kisutch*. after acute stress or cortisol treatment. J. Aquat. Anim. Health n°2, 298–304

MAZEAUD M., MAZEAUD F., DONALDSON E. (1977) Primary and secondary effects of stress in fish: some new data with a general review. Trans. Am. Fish. Sot n°106, 201-212

MAZUR C., TILLAPAUGH D., IWAMA G. (1993) The effects of feeding level and rearing density on the prevalence of Renibacterium salmoninarum in chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha) reared in salt water. Aquaculture n°117, 141–147

MCCORMICK M. (1998) Behaviorally induced maternal stress in a fish influences progeny quality by a hormonal mechanism. Ecology n°79, 1873–1883

MCEWEN B., WINGFIELD J. (2003) The concept of allostasis in biology and biomedicine. Horm. Behav. n°43, 2–15

MCFARLANE W., CUBITT K., WILLIAMS H., ROWSELL D., MOCCIA R., GOSINE R., MCKINLEY R. (2004) Can feeding status and stress level be assessed by analyzing patterns of muscle activity in free swimming rainbow trout (Oncorhynchus mykiss Walbaum)? Aquaculture n°239, 467–484

MEADE J. (1985) Allowable ammonia for fish culture. Progressive Fish-Culturist n°47, 135-145

MEYER B., SAMUELS R., FLICK G. (1986) A seafood quality program for the mid-Atlantic region,

PartII. A report submitted to the Mid-Atlantic Fisheries Development Foundation. Virginia

Polytechnic Inst. and State Univ., Sea Grant, Blacksburg, Va

MILLOT S. (2008) Domestication, sélection et comportement du bar: Variabilité des aptitudes comportementales et de la tolérance au stress de groupes génétiquement distincts de bar, Dicentrarchus labrax. Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle

MOSS D., SCOTT D. (1961) Dissolved-Oxygen Requirements of Three Species of Fish. Transactions of the American Fisheries Society n°90, 377–393

MUNCK A., GUYRE P., HOLBROOK N. (1984) Physiological functions of glucocorticoids in stress and their relation to pharmacological actions. Endocrine Rev. n°5, 25-44

NICHOLS K., BARTHOLOMEW J., THORGAARD G. (2003) Mapping multiple genetic loci associated with Ceratomyxa shasta resistance in Oncorhynchus mykiss. Dis Aquat Org n°56, 145–154

NIELSEN M. (2009) Modelling fish trade liberalisation: Does fish trade liberalisation result in welfare gains or losses? Marine Policy, 33(1), 1-7

NOBLE C., KADRI S., MITCHELL D., HUNTINGFORD F. (2007b) Influence of feeding regime on intraspecific competition, fin damage and growth in 1 + Atlantic salmon parr (Salmo salar L.) held in freshwater production cages. Aquacult Res n°38, 1137–1143

NOBLE A., MIZUSAWA K., SUZUKI K., TABATA M. (2007a) The effect of differing self-feeding regimes on the growth, behaviour and fin damage of rainbow trout held in groups. Aquaculture n°264, 214–222

NOBLE A., SUMMERFELT S. (1996) Diseases encountered in rainbow trout cultured in recirculating systems. Annual Review of Fish Diseases n°6, 65-92

NORTH B. *et al.* (2006) The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Aquaculture n°255, 466–479

O'CONNOR K., METCALFE N., TAYLOR A. (1999) Does darkening signal submission in territorial contests between juvenile Atlantic salmon, Salmo salar? Anim Behav n°58, 1269–1276

OIE (1995) Code sanitaire pour les animaux aquatiques, introduction au Bien-être des poissons d'élevage. *In Organisation mondiale de la santé animale* 

[http://www.oie.int/index.php?id=171&L=1&htmfile=chapitre\_welfare\_introduction.htm] (consulté le 07/06/2017)

OIE (1995) Code sanitaire pour les animaux aquatiques, Bien-être des poissons d'élevage pendant le transport. *In Organisation mondiale de la santé animale* 

[http://www.oie.int/index.php?id=171&L=1&htmfile=chapitre\_welfare\_transport\_farm\_fish.htm] (consulté le 07/06/2017)

OIE (1995) Code sanitaire pour les animaux aquatiques, Aspects du Bien-être animal liés à l'étourdissement et à l'abattage des poissons d'élevage destinés à la consommation humaine. *In Organisation mondiale de la santé animale* 

[http://www.oie.int/index.php?id=171&L=1&htmfile=chapitre\_welfare\_stunning\_killing.htm] (consulté le 07/06/2017)

OIE (1995) Code sanitaire pour les animaux aquatiques, Mise à mort des poissons d'élevage à des fins de contrôle sanitaire. *In Organisation mondiale de la santé animale* 

[http://www.oie.int/index.php?id=171&L=1&htmfile=chapitre\_killing\_farm\_fish.htm] (consulté le 07/06/2017

OLIVA-TELES A. (2012) Nutrition and health of aquaculture fish. Journal of Fish Diseases, *35*(2), 83-108 OKAWARA Y., KO D., MORLEY S., RICHTER D., LEDERIS K. (1992) In situ hybridisation of corticopin-releasing factor encoding messenger RNA in the hypothalamus of the white sucker (*Catostamus commersoni*). Cell and Tissue Research n°267, 545-549

ØVERLI Ø., POTTINGER T., CARRICK T., ØVERLI E., WINBERG S. (2001) Brain monoaminergic activity in rainbow trout selected for high and low stress responsiveness. Brain, Behaviour and Evolution. In: Brandson, E.P., Fish Welfare, Oxford, Blackwell (ed.), 2008, 32-48

ØVERLI Ø., SØRENSEN C., KIESSLING A., POTTINGER T., GJØEN H. (2006a) Selection for improved stress tolerance in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) leads to reduced feed waste. Aquaculture n°261, 776–781

ØVERLI Ø., WINBERG S., DAMSGARD B., JOBLING M. (1998) Food intake and spontaneous swimming activity in Arctic charr (Salvelinus alpinus L.): role of brain serotonergic activity and social interaction. Can J Zool n°76, 1366–1370

OZAKI A., SAKAMOTO T., KHOO S., NAKAMURA K., COIMBRA M., AKUTSU T., OKAMOTO N. (2001) Quantitative trait loci (QTLs) associated with resistance/susceptibility to infectious pancreatic necrosis virus (IPNV) in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Molecular Genetics and Genomics n°265, 23–31 PANKHURST N., DEDUAL M. (1994) Effects of capture and recovery on plasma levels of cortisol, lactate and gonadal steroids in a natural population of rainbow trout. J. Fish Biol. n°45, 1013–1025

PATIÑO R., REDDING J., SCHRECK C. (1987) Interrenal secretion of corticosteroids and plasma cortisol and cortisone concentrations after acute stress and during seawater acclimation in juvenile coho salmon (Oncorhynchus *kisutch*). Gen. Comp. Endocrinol n°68, 431-439

PERRY G., DANZMANN R., FERGUSON M., GIBSON J. (2001) Quantitative trait loci for upper thermal tolerance inoutbred strains of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Heredity  $n^86$ , 333–341 140

PETERSSON E., JÄRVI T. (2000) Both contest and scramble competition affect the growth performance of brown trout, *Salmo trutta*, parr of wild and sea-ranched origin. Environmental Biology of Fishes n°59, 211-218

PICKERING A. (1989) Factors affecting the susceptibility of salmonid fish to disease. Rep. Freshwater Biol. Assoc. n°57, 61-80

PICKERING A., POTTINGER T. (1989) Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effects of chronic elevation of plasma cortisol. Fish Physiol. Biochem n°7, 253-258

PICKERING A., POTTINGER T. (1987) Crowding causes prolonged leucopenia in salmonid fish, despite interrenal acclimation. J. Fish Biol. n°32, 701-712

PICKERING A., POTTINGER T., CARRAGHER J., SUMPTER J. (1987) The effects of acute and chronic stress on the levels of reproductive hormones in the plasma of mature male brown trout, *Salmo trutta* L. Gen. Comp. Endocinol. n°68, 249–259

PICKERING A., POTTINGER T., CHRISTIE P. (1982) Recovery of the brown trout, *Sahno Putta* L.; from acute handling stress: A time-course study. Journal Fish Biol. n°20, 229-244

PICKERING A., POTTINGER T., SUMPTER J., CARRAGHER J., LE BAIL P. (1991) Effects of acute and chronic stress on the levels of circulating growth hormone in the rainbow trout, Oncorhynchus mykiss. General and Comparative Endocrinology n°83, 86–93

PIERSON P., LAMERS A., FLIK G., MAYER-GOSTANC N. (2004) The stress axis, stanniocalcin, and ion balance in rainbow trout. General and Comparative Endocrinology n°137, 263-271

PIPER R., MCELWAIN I., ORME L., MCCRAREN J., FOWLER L., LEONARD J. (1982) Fish hatchery management, 1–517.

PIERRON F., BAUDRIMONT M., GONZALEZ P., BOURDINEAUD J-P., ELIE P., MASSABUAU J-C. (2007) Common pattern of gene expression in response to hypoxia or cadmium in the gills of the European glass eel (Anguilla anguilla). Environ Sci Technol n°41, 3005–3011

PLANAS J., GUTIERREZ J., FERNANDEZ J., CARRILLO M., CANALS P. (1990) Annual and daily variations of plasma cortisol in sea bass, Dicentrarchus labrax L. Aquaculture n°91, 171–178

POTTINGER T., CARRICK T. (1999) Modification of plasma cortisol response to stress in rainbow trout by selective breeding. Gen. Comp. Endocrinol n°116, 122-132

POTTINGER T., CARRICK T., YEOMANS W. (2002) The three-spined stickleback as an environmental sentinel: effects of stressors on whole-body physiological indices. Journal of Fish Biology n°61, 207–229

POTTINGER T., MOSUWE E. (1994) The Corticosteroidogenic Response of Brown and Rainbow Trout Alevins and Fry to Environmental Stress during a "Critical Period." General and Comparative Endocrinology n°95, 350–362

POTTINGER T., PICKERING A. (1990) The effect of cortisol administration on hepatic and plasma estradiol binding capacity in immature female rainbow trout *(Oncorhynchus mykiss)*. Gen. Comp. Endocrinol. n°80, 264-273

QUILLET E., BOUDRY P., LAPEGUE S. (2007) Variabilité génétique de la réponse aux organismes pathogènes: un outil pour améliorer la santé des mollusques et poissons d'élevage. INRA Productions Animales n°20, 239–252

QUILLET E., DORSON M., AUBARD G., TORHY C. (2001) In vitro viral haemorrhagic septicaemia virus replication in excised fins of rainbow trout: correlation with resistance to waterborne challenge and genetic variation. Diseases of aquatic organisms n°45, 171–182

RANDALL D. (1991) *The impact of variations in water pH on fish*. In: Brune, D.E., Tomasso, J.R. (Eds). Aquaculture and water quality. World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, 90-104

RANDALL D., TSUI T. (2002) Ammonia toxicity in fish. Marine Pollution Bulletin n°45, 17-23

RANDALL D., WRIGHT P. (1989) The interaction between carbon dioxide and ammonia excretion and water pH in fish. Canadian Journal of Zoology n°67, 2936-2942

REDDING J., SCHRECK C., EVEREST F. (1987) Physiological effects on coho salmon and steelhead of exposure to suspended solids. Transactions of the American Fisheries Society n°116, 737-744

REFSTIE T. (1986) Genetic differences in stress responses in Atlantic salmon and rainbow trout. Aquaculture n°57, 374

RINGØ E., OLSEN R., GONZALEZ VECINO J., WADSWORTH S. (2011) Use of Immunostimulants and Nucleotides in Aquaculture: A Review.

RITOLA O., TOSSAVAINEN K., KIURU T., LINDSTRÖM-SEPPÄ P., MÖLSÄ H. (2002) Effects of continuous and episodic hyperoxia on stress and hepatic glutathione levels in one-summer-old rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Applied Ichthyology n°18, 159-164

ROBB D., KESTIN S. (2002) Methods Used to Kill Fish: Field Observations and Literature Reviewed. Animal Welfare n°11, 269–282

ROBB D., PHILLIPS A., KESTIN S. (2003) Evaluation of methods for determining the prevalence of blood spots in smoked Atlantic salmon and the effect of exsanguination method on prevalence of blood spots. Aquaculture n°217, 125–138

ROBB D., WOTTON S., MCKINSTRY J., SØRENSEN N., KESTIN S. (2000) Commercial slaughter methods used on Atlantic salmon: Determination of the onset of brain failure by electroencephalography. ROBERTS R. (1975) The effects of temperature on diseases and their histopathological manifestations in fish.The Pathology of Fishes. Ribelin, W.E., Migaki, G. (Eds). The University of Wisconsin Press, USA, 477-496

ROBERTSON D. (1972) Social control of sex reversal in a coral-reef fish. Sci. n°177, 1007–1009

ROBERTSON O., KRUPP M., THOMAS S., FAVOUR C., HANE, S., WEXLER B. (1961) Hyperadrenocorticism in spawning, migratory, and non-migratory rainbow trout *Salmo gairdnerii*; comparison with Pacific salmon Genus *Oncorhynchus*. Gen. Comp. Endocrinol. n°1, 473–484

ROBERTSON O., WEXLER B. (1957) Pituitary degeneration and adrenal tissue hyperplasia in spawning Pacific salmon. Science n°125, 1295–1296

RODRIGUEZ M., LAPATRA S., WILLIAMS S., FAMULA T., MAY B. (2004) Genetic markers associated with resistance to infectious hematopoietic necrosis in rainbow and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) backcrosses. Aquaculture n°241, 93–115

ROFF D. (1982) Reproductive strategies in flatfish: a first synthesis. Can. J. Fish. Aquat. Sci. n°39, 1686–1698

ROMANA-EGUIA M., EGUIA R. (1999) Growth of five Asian red tilapia strains in saline environments. Aquaculture n°173, 161–170

ROMEY W. (1996) Individual differences make a difference in the trajectories of simulated schools. Ecol Model n°92, 65–77

ROSE J. (2002) The neurobehavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. Reviews in Fisheries Science 10(1), 1-38

ROTH, B., IMSLAND, A., GUNNARSSON, S., FOSS, A., SCHELVIS-SMIT, R. (2007) Slaughter quality and rigor contraction in farmed turbot (Scophthalmus maximus); a comparison between different stunning methods. Aquaculture n°272, 754–761

ROTH B., SLINDE E., ROBB D. (2006) Field evaluation of live chilling with CO2 on stunning Atlantic salmon (Salmo salar) and the subsequent effect on quality. Aquaculture Research n°37, 799–804 RUBIO V., SANCHEZ E., CERDA-REVERTER J. (2010) Compensatory feeding in the sea bass after fasting and physical stress. Aquaculture n°298, 332–337

RUSSO R., THURSTON R. (1991) Toxicity of ammonia, nitrite, and nitrate to fishes. Aquaculture and water quality n°3, 58–89

RUYET J-P (1986) Les besoins en oxygène des poissons marins et leur comportement en conditions hypoxiques. IFREMER (Brest, France) DRV-86-04

RUYET J-P. et al. (2008) Combined effects of water quality and stocking density on welfare and growth of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*) Aquatic Living Resources n°21, 185–195

RUZZANTE D., DOYLE R. (1991) Rapid behavioral changes in medaka (Oryzias latipes) caused by selection for competitive and noncompetitive growth. Evolution n°45, 1936–1946

SADOUL B. *et al.* (2016) Adaptive capacities from survival to stress responses of two isogenic lines of rainbow trout fed a plant-based diet. Scientific reports n°6, 357-359

SAFFORD S., THOMAS P. (1987) Effects of capture and handling on circulatory levels of gonadal steroids and cortisol in the spotted seatrout, Cvnoscion nebulosus. Idler, D.W., Crim, L.W., Walsh, J.M. (eds.) Proceedings of the third international symposium on the reproductive endocrinology of fish. Memorial University, St. John's, Canada

SAHOO P. *et al.* 2008. Family association between immune parameters and resistance to Aeromonas hydrophila infection in the Indian major carp, Labeo rohita. Fish and Shellfish Immunology n°25, 163–169

SANDØE P., FORKMAN B., CHRISTIANSEN S. (2004) Scientific uncertainty – how should it be handled in relation to scientific advice regarding animal welfare issues? Animal Welfare n°13, S121–S126

SANTOS G., SCHRAMA J., MAMAUAG R., ROMBOUT J., VERRETH J. (2010) Chronic stress impairs performance, energy metabolism and welfare indicators in European seabass (Dicentrarchus labrax): the combined effects of fish crowding and water quality deterioration. Aquaculture n°299, 73–80 SARGENT J., TOCHER D., BELL J. (2002) The lipids. Fish nutrition n°3, 181–257

SAUNDERS R. (1963) Respiration of the Atlantic cod. J. Fish. Res. Bd. Can. n°20, 373-386

SCHRECK C. (2000) Accumulation and long-term effects of stress in fish. The biology of animal stress, 147–158

SCHRECK C. (1981) Stress and compensation in teleostean fishes: Response to social and physical factors. In: Pickering, A.D. (ed.) Stress and fish. Academic Press, London, 295-321

SCHRECK C. (1996) Immunomodulation: endogenous factors. In: Iwama, G., Nakanishi, T. Eds., The Fish Immune System: Organism, Pathogen, and Environment. Academic Press, London, 311–337

SCHRECK C., BRADFORD C., FITZPATRICK M., PATINO R. (1989) Regulation of the interrenal in fishes: non-classical control mechanisms. Fish Physiol. Biochem. n°7, 259–265

SCHRECK C., CONTRERAS-SANCHEZ W., FITZPATRICK M. (2001) Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. Aquaculture, 197(1), 3-24

SCHRECK C., FITZPATRICK M., FEIST G., YEOH C. (1991) Steroids: developmental continuum between mother and offspring. Scott, A.P., Sumpter, J.P., Kime, D.E., Rolfe, M.S. Eds., Proceedings of the 4th International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish, FishSymp 91, Sheffield, 256–258

SCHRECK C., OLLA B., DAVIS M. (1997) Behavioral responses to stress. *Fish stress and Health in Aquaculture*, Iwama, A.D. Pickering, J.P. Sumpter and C.B. Schreck, Eds., 145-170. Cambridge University Press, Cambridge, U.K

SCHURMANN H., STEFFENSEN J-F. (1994) Spontaneous swimming activity of Atlantic cod Gadus morhua exposed to graded hypoxia at three temperatures. Journal Exp. Biol. n°197, 129–142

SCOTTISH QUALITY SALMON Ltd (SQS) (2013), Cahier Des Charges Label Rouge n° LA 33-90 « SAUMON ». Demande de modification du cahier des charges LA 33/90 « Saumon » présentée à la commission permanente IGP-LR-STG de l'INAO du 12 décembre 2013

SELYE H. (1976) The stress concept. Canadian Medical Association Journal n°115, 718

SHARMA S., BERTHOUD V., BRECKWOLDT R. (1989) Distribution of substance P-like immunoreactivity in the goldfish brain. The Journal of Comparative Neurology 279(1), 104-16

SHIMA T., YAMAMOTO T., FURUITA H., SUZUKI N. (2003) Effect of the response interval of self-feeders on the self-regulation of feed demand by rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fry. Aquaculture n°224, 181–191

SHRIMPTON J., ZYDLEWSKI J., HEATH J. (2007) Effect of daily oscillation in temperature and increased suspended sediment on growth and smolting in juvenile chinook salmon, Oncorhynchus tshawytscha. Aquaculture n°273, 269–276

SINGER P. (1983) Practical ethics, Cambridge University Press, Cambridge, 2nd Ed., 237

SITJA-BOBADILLA A., PEÑA-LLOPIS S., GOMEZ-REQUENI P., MEDALE F., KAUSHIK S., PEREZ-SANCHEZ J. (2005) Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (Sparus aurata). Aquaculture n°249, 387–400

SLOMAN K., METCALFE N., TAYLOR A., AND GILMOUR K. (2001) Plasma cortisol concentrations before and after social stress in rainbow trout and brown trout. Physiological and Biochemical Zoology 74(3), 383-9

SLOMAN K., MONTPETIT C., AND GILMOUR K. (2002) Modulation of catecholamine release and cortisol secretion by social interactions in the rainbow trout, Oncorhynchus mykiss. General and Comparative Endocrinology n°127, 136-46

SMART G. (2001) Problems of sea bass and seabream quality in the Mediterranean. Kestin SC,

Warriss PD, editors. Farmed fish quality. Oxford, England: Fishing News Book, Blackwell Science Ltd, 8 SMART G. (1981) Aspects of water quality producing stress in intensive fish culture. Pickering, A.D. (Ed). Stress and fish. Academic Press, London, UK, 277-293

SMART G. (1976) The effect of ammonia exposure on gill structure of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Journal of Fish Biology n°8, 471-475

SMART G., KNOX D., HARRISON J., RALPH J., RICHARDS R., COWEY C. (1979) Nephrocalcinosis in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson; the effect of exposure to elevated CO2 concentrations. Journal of Fish Diseases n°2, 279-289

SMITH C., PIPER R. (1975) Lesions associated with chronic exposure to ammonia. Ribelin, W.E., Migaki, G. (Eds). The Pathology of Fishes. The University of Wisconsin Press, USA, 497-514

SNEDDON L. (2002) Anatomical and electrophysiological analysis of the trigeminal nerve in a teleost fish, Oncorhynchusmykiss. Neuroscience letters n°319, 167–171

SNEDDON L. (2003) The evidence for pain in fish. The use of morphine as analgesic. Applied Animal Behavoiur n°83, 153-162

SNEDDON L. (2009) Pain perception in fish: indicators and endpoints. ILAR journal n°50, 338-342

SNEDDON L., BRAITHWAITE V., GENTLE M. (2003) Do fishes have nociceptors? Evidence for the evolution of a vertebrate sensory system. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences n°270, 1115-1121

SOMMERSET I., KROSSØY B., BIERING E., FROST P. (2005) Vaccines for fish in aquaculture. Expert Review of Vaccines, 4(1), 89-101

SØRUM U., DAMSGARD B. (2004) Effects of anaesthetisation and vaccination on feed intake and growth in Atlantic salmon (Salmo salar L.). Aquaculture n°232, 333–341

STEVENS C. (2004) Opioid research in amphibians: an alternative pain model yielding insights on the evolution of opioid receptors. Brain Research Reviews n°46, 204-215

STIEN L., BRATLAND S., AUSTEVOLL I., OPPEDAL F., KRISTIANSEN T. (2007) A video analysis procedure for assessing vertical fish distribution in aquaculture tanks. Aquacult n°37, 115–124

STORER J. (1967) Starvation and the effects of cortisol in the goldfish *(Carassius aurutus* L.). Comp. Biochem. Physiol. N°29, 939-948

STRATHOLT M., DONALDSON E., LILEY N. (1997) Stress induced elevation of plasma cortisol in adult female coho salmon *Oncorhynchus kisutch*, is reflected in egg cortisol content, but does not appear to affect early development. Aquaculture n°158, 141–153

STREELMAN J., KOCHER T. (2002) Microsatellite variation associated with prolactin expression and growth of salt-challenged tilapia. Physiological genomics n°9, 1–4

SUMPTER J. (1997) The endocrinology of stress. In Fish Stress and Health in Aquaculture, GK Iwama, AD Pickering, JP Sumpter and CB Schreck, eds, 95-118, Cambridge University Press, Cambridge

SUMPTER J., CARRAGHER J., POTTINGER T., PICKERING A. (1987) The interaction of stress and reproduction in trout. In: Idler, D.W., Crim, L.W., Walsh, J.M. (eds.) Proceedings of the third international symposium on the reproductive endocrinology of fish. Memorial University, St. John's, Canada, 299-302

SUMPTER J., DYE H., BENFEY T. (1986) The effects of stress on plasma ACTH,  $\alpha$ -MSH, and cortisol levels in salmonid fishes. General and comparative endocrinology n°62, 377–385

SYMONS P. (1968) Increase in aggression and the strength of the social hierarchy among juvenile Atlantic salmon deprived of food. J Fish Res Board Can n°25, 2387–2401

TAKAGI S., HOSOKAWA H., SHIMENO S., UKAWA M. (2000) Utilization of poultry by-product meal in a diet for red sea bream Pagrus major. Nippon Suisan Gakkaishi 66, 428–438

TAKAGI S. *et al.* (2010) Necessity of dietary taurine supplementation for preventing green liver symptom and improving growth performance in yearling red sea bream Pagrus major fed nonfishmeal diets based on soy protein concentrate. Fish Sci n°76, 119

TANG M., BOISCLAIR D. (1995) Relationship between respiration rate of juvenile brook trout (Salvelinus fontinalis), water temperature, and swimming characteristics. Can J Fish Aquat Sci n°52, 2138–2145

TATNER M. (1996) Natural changes in the immune system of fish Iwama G., Nakanishi T. Eds., The Fish Immune System Organism, Pathogen, and Environment. Academic Press, San Diego, CA, 255–287

TERLOUW E. *et al.* (2007) Impact des conditions de pre-abattage sur le stress et le bien-etre des animaux d'elevage. Productions animales-paris-institut national de la recherche agronomique n°20, 93 TERLOUW E. *et al.* (2008). Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. animal, 2(10), 1501-1517

TERLOUW E., PORCHER J., FERNANDEZ X. (2005) Repeated handling of pigs during rearing. II. Effect of reactivity to humans on aggression during mixing and on meat quality. Journal of Animal Science n°83, 1664–1672

THURSTON R., CHAKOUMAKOS C., RUSSO R. (1981b) Effect of fluctuating exposures on the acute toxicity of ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and cutthroat trout (*S. clarki*). Water Research n°15, 911-917

THURSTON R., RUSSO R. (1983) Acute Toxicity of Ammonia to Rainbow Trout. Transactions of the American Fisheries Society n°112, 696–704

THURSTON R., RUSSO R., LUEDTKE R., SMITH C., MEYN E. (1984) Chronic toxicity of ammonia to rainbow trout. Transactions of the American Fisheries Society n°113, 56-73

TONKINS B., TYERS A., COOKE G. (2015) Cuttlefish in captivity: An investigation into housing and husbandry for improving welfare. Applied Animal Behaviour Science n°168, 77-83

TRENDAZO C., CARRICK T., POTTINGER T. (2003) Divergence of endocrine and metabolic responses to stress in two rainbow trout lines selected for differing cortisol responsiveness to stress. General and comparative endocrinology. Branson, E.P, Fish Welfare, Oxford, Blackwell (ed), 2008, 32-48

TRENDAZO C., MORALES A., DE LA HIGUERA M. (2008) Physiological changes in rainbow trout held under crowded conditions and fed diets with different levels of vitamins E and C and highly unsaturated fatty acids (HUFA). Aquaculture n°277, 293-302

TRICHET V. (2010) Nutrition and immunity: an update. Aquaculture Research n°41, 356–372

TRIPP R., MAULE A., SCHRECK C., KAATTARI S. (1987) Cortisol mediated suppression of salmonid lymphocyte responses in vitro. Dev. Comp. Immunol. n°11, 565-576

TROBRIDGE G., LAPATRA S., KIM C., LEONG J. (2000) Mx mRNA expression and RFLP analysis of rainbow trout Oncorhynchus mykiss genetic crosses selected for susceptibility or resistance to IHNV. Diseases of aquatic organisms n°40, 1–7

UE (2004) Règles européennes relatives au bien-être des animaux pendant le transport. In : Acess to european law [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=LEGISSUM%3Af83007] consulté le 04/04/2017

UE (2009) Règlement (CE) n°1099/2009 DU Conseil du 24 septembre 2009 sur la protection des animaux au moment de leur mise à mort In: Access to european law [http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:303:0001:0030:FR:PDF] consulté le 04/04/2017

VANDEPUTTE M., LAUNEY S. (2004) Quelle gestion génétique de la domestication chez les poissons? INRA Productions Animales n°17, 237-242

VANDEPUTTE M., PRUNET P. (2002) Génétique et adaptation chez les poissons: domestication, résistance au stress et adaptation aux conditions de milieu. Productions animales, *15*(5), 365–71

VAN DE VIS H. et al. (2003) Is humane slaughter of fish possible for industry? Aquaculture research n°34, 211–220

VECINO E., PEREZ M., EKSTRÖM P. (1995) Localization of enkephalinergic neurons in the central nervous system of the salmon (Salmo salar L.) by in situ hybridization and immunocytochemistry. Journal of chemical neuroanatomy n°9, 81–97

VEISSIER I., BOISSY A. (2007) Stress and welfare: Two complementary concepts that are intrinsically related to the animal's point of view. Physiology and Behavior n°92, 429–433

VOLPATO G., GONCALVES-DE-FREITAS E., FERNANDES-DE-CASTILHO M. (2007) Insights into the concept of fish welfare. Diseases of Aquatic Organism n°75, 165-171

WAGNER E., ARNDT R., BROUGH M. (2001) Comparative tolerance of four stocks of cutthroat trout to extremes in temperature, salinity, and hypoxia. Western North American Naturalist, 434–444

WANG Y., LI J., LIN J. (2008) Probiotics in aquaculture: Challenges and outlook. Aquaculture n°281, 1–4

WATANABE T. *et al.* (1998) A trial to culture yellowtail with non-fishmeal diets. Fisheries science n°64, 505–512

WEDEMEYER G. (1970) The role of stress in the disease resistance of fishes. Am. Fish. Sot. Spec. Pub n°5, 30-35

WEDEMEYER G. (1996) Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman & Hall, London, UK.

WEDEMEYER G., BARTON B., MCLEAY D. (1990) Stress and acclimation. Schreck C., Moyle P.(eds.) Methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda, MD, 451-489

WEDEMEYER G., YASUTAKE W. (1978) Prevention and treatment of nitrite toxicity in juvenile steelhead trout (Salmo gairdneri). Journal of the Fisheries Board of Canada 35, 822–827

WELD M., FRYER J., RIVIER J., LEDERIS K. (1987) Inhibition of CRF-and Urotensin I stimulated ACTH release from goldfish pituitary cell columns by the CRF analogue a-helix CRF-(9-41). Regulatory Peptides n°19, 273-280

WENDELAAR BONGA S. (1997) The stress response in fish. Physiol. Rev. n°77, 591–625 146

WESTIN D. (1974) Nitrate and nitrite toxicity to salmonid fishes. Progressive Fish-Culturist n°36, 86-89 WHITE A., SCHREER J., COOKE S. (2008) Behavioral and physiological responses of the congeneric largemouth (Micropterus salmoides) and smallmouth bass (M. dolomieu) to various exercise and air exposure durations. Fisheries Research n°89, 9–16

WICKS B., RANDALL D. (2002a) The effect of sub-lethal ammonia exposure on fed and unfed rainbow trout: the role of glutamine in regulation of ammonia. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A. n°132, 275-285

WILLIAMSON J., CARMICHAEL G. (1986) Differential response to handling stress by Florida, northern, and hybrid largemouth bass. Trans. Am. Fish. Sot n°115, 756-761

WILSON R., WRIGHT P., MUNGER S., WOOD C. (1994) ammonia excretion in freshwater rainbow trout (oncorhynchus mykiss) and the importance of gill boundary layer acidification: lack of evidence for Na<sup>+</sup>/NH<sup>4+</sup>exchange. Journal of experimental biology 191, 37–58

WINBERG S., NILSSON G. (1993a) Roles of brain monoamine neurotransmitters in agonistic behaviour and stress reactions, with particular reference to fish. Comp Biochem Physiol n°106, 597–614

WINBERG S., NILSSON G. (1993b) Time course of changes in brain serotonergic activity and brain tryptophan levels in dominant and subordinate juvenile Arctic charr. Journal Exp. Biol. n°179, 181–195 WOOD C. (2004) Dogmas and controversies in the handling of nitrogenous wastes: is exogenous ammonia a growth stimulant in fish? Journal Exp. Biol. n°207, 2043-2054

WOYNAROVICH E., HORVATH L. (1980) The artifical propagation of warm-water finfishes - a manual for extension. FAO Fisheries Technical Paper.

WRIGHT P., WOOD C. (1985) An analysis of branchial ammonia excretion in the freshwater rainbowtrout: Effects of environmental pH change and sodium uptake blockade. Journal of Exp. Biol. n°114, 329-353

WURBEL H., STAUFFACHER M. (1997) Age and weight at weaning affect corticosterone level and development of stereotypies in ICR-mice. Anim Behav n°53, 891–900

WURST W. (1999) Using salt to reduce handling stress in channel catfish. World Aquaculture. BRANDSON E., Fish Welfare, Oxford, Blackwell (ed.), 2008, 185-195

YAMAMOTO N. (2009) Studies on the teleost brain morphology in search of the origin of cognition. Japanese Psychological Research n°51, 154-167

YANO T. (1996) The nonspecific immune system: humoral defense. In: Iwama, G., Nakanishi, T. Eds.., The Fish Immune System Organism, Pathogen, and Environment. Academic Press, San Diego, CA, 106–157

Ye X., Randall D., He X. (1991) The effect of acid water on oxygen consumption, circulating catecholamines and blood ionic and acid-base status in rainbow trout (Salmo gairdneri, Richardson). Fish Physiol Biochem  $n^{\circ}9$ , 23–30

YEOH C. (1993) The effects of hormones on development of embryonic and post embryonic salmonids, and hormone metabolism during these stages. MS Thesis, Oregon State University

YEOH C., SCHRECK C., FEIST G., FITZPATRICK M. (1996a) Endogenous steroid metabolism is indicated by fluctuations of endogenous steroid and steroid glucorinide levels in early development of the steelhead trout *Oncorhynchus mykiss*.. Gen. Comp. Endocrinol. n°103, 107–114

YEOH C., SCHRECK C., FITZPATRICK M., FEIST G. (1996b) In vivo steroid metabolism in embryonic and newly hatched steelhead trout *Oncorhynchus mykiss*. Gen. Comp. Endocrinol. n°102, 197–209

YILDIRIM-AKSOY M., LIM C., LI M., KLESIUS P. (2008) Interaction between dietary levels of vitamins C and E on growth and immune responses in channel catfish, Ictalurus punctatus (Rafinesque). Aquaculture research n°39, 1198–1209

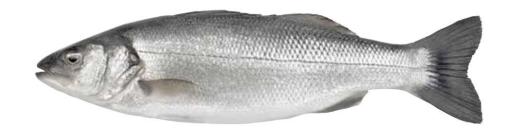
YOUNG G., BJORNSSON B., PRUNET P., LIN R., BERN H. (1989) Smoltification and seawater adaptation in coho salmon (Oncorhynchus *kisutch*): Plasma prolactin, growth hormone, thyroid hormones, and cortisol. Gen. Comp. Endocrinol. n°74, 335-345

YOUSIF A., ALBRIGHT L., EVELYN T. (1994a) In vitro evidence for the antibacterial role of lysozyme in salmonid eggs. Dis. Aquat. Org. n°19, 15–19

YOUSIF A., ALBRIGHT L., EVELYN T. (1994b) Purification and characterization of a galactose-specific lectin from the eggs of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, and its interaction with bacterial fish pathogens. Dis. Aquat. Org. n°20, 127–136

YUE S. (2008) an HSUS report: Fish and Pain perception. *In: Human Dociety of the United States* [http://www.humanesociety.org/assets/pdfs/farm/hsus-fish-and-pain-perception.pdf] consulté le 01/05/2017

## ANNEXE : PRINCIPAUX POISSONS CITES DANS LE MANUSCRIT



Bar. Source: <a href="http://www.guidedesespeces.org/fr/bar">http://www.guidedesespeces.org/fr/bar</a>



Barbu. Source: <a href="http://www.guidedesespeces.org/fr/barbue">http://www.guidedesespeces.org/fr/barbue</a>



Brochet. Source : <a href="https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah">https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah</a>
<a href="https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah">https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah</a>
<a href="https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah">https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah</a>
<a href="https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah">https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah</a>
<a href="https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah">https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah</a>
<a href="https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah">https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah</a>
<a href="https://www.google.fr/search?q=brochet&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ah</a>
<a href="https://www.google.fr/searc



Carpe. Source: <a href="https://www.consoglobe.com/poisson-carpe-cg">https://www.consoglobe.com/poisson-carpe-cg</a>



Daurade. Source: <a href="http://www.guidedesespeces.org/fr/dorade-et-daurade">http://www.guidedesespeces.org/fr/dorade-et-daurade</a>



Flet. Source : <a href="https://wwz.ifremer.fr/peche/Le-monde-de-la-peche/Les-ressources/Lesquelles/Poissons/Osseux/Flet">https://wwz.ifremer.fr/peche/Le-monde-de-la-peche/Les-ressources/Lesquelles/Poissons/Osseux/Flet</a>



Flétan. Source : <a href="https://www.academiedugout.fr/ingredients/fletan-460">https://www.academiedugout.fr/ingredients/fletan-460</a>



 $\label{eq:Gardon.Source:http://www.billouttes.be/techniques-de-peche/la-peche-du-gardon/le-gardon-en hiver.html} \\$ 



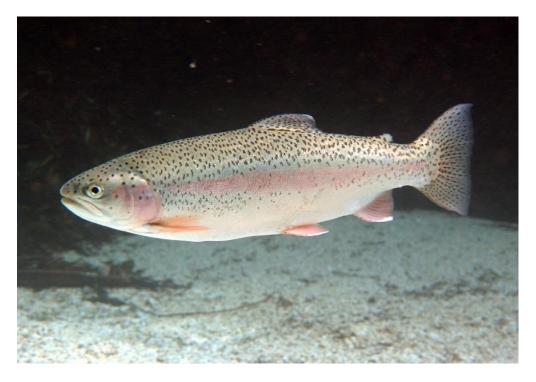
Omble de fontaine. Source :  $\frac{https://fishingshack.net/2014/03/07/omble-de-fontaine-ou-truite-mouchetee/$ 



 $\label{eq:poissons-deau-douce-poissons-deau-$ 



Tilapia. Source: <a href="http://www.guidedesespeces.org/fr/tilapia">http://www.guidedesespeces.org/fr/tilapia</a>



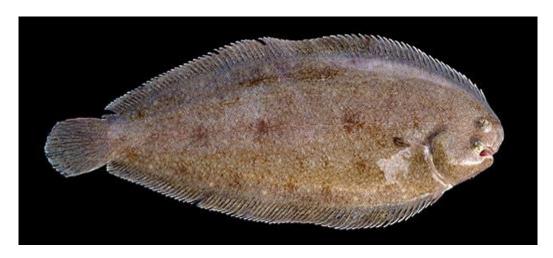
Truite arc en ciel. Source : <a href="http://esoxiste.com/ils-vivent-dans-nos-eaux-la-truite-arc-en-ciel/">http://esoxiste.com/ils-vivent-dans-nos-eaux-la-truite-arc-en-ciel/</a>



 $Truite\ Fario.\ Source: \underline{http://peche.pays-horloger.com/truite-fario.html}$ 



 $Turbot.\ Source: https://www.brownetrading.com/product/turbot/$ 



Sole. Source : https://www.consoglobe.com/sole-peche-consommation-cg

**BIEN-ÊTRE DES POISSONS EN AQUACULTURE** 

NOM et Prénom : ESCUDERO Mathilde

Résumé

L'aquaculture mondiale connait une forte croissance ces dernières années, et pourrait constituer la source principale de protéines d'ici 2030. Il s'agit donc d'un sujet d'avenir mais aussi d'un sujet d'actualité de par son aspect sociétal. En effet, l'opinion publique se soucie de plus en plus des conditions d'élevage et d'abattage des animaux en élevage intensif. Jusqu'aux années 90 l'intérêt pour le bien-être des animaux s'est porté sur les élevages industriels porcins, avicoles, et bovins laitiers et tout particulièrement sur les méthodes d'abattage. Le Bien-être des poissons était alors peu évoqué par les publications scientifiques et les médias. Ce manque de préoccupation en comparaison avec les mammifères, s'explique par leur différence de milieu de vie, de mode de communication et l'absence de contact avec l'humain. De plus, définir le Bien-être des poissons n'est pas évident en raison de leurs nombreuses particularités par rapport aux autres espèces élevées, notamment des particularités associées au milieu d'élevage ou encore d'organisation neuro-anatomiques. Nous tacherons ainsi de définir le bien-être pour cette espèce en transposant certains principes connus concernant le bien-être des mammifères. Les effets physiologiques et comportementaux du stress sur l'animal seront développés. Une description du cadre juridique concernant les poissons d'élevage sera effectuée. Les conditions d'élevage des poissons en aquaculture seront détaillées afin de mettre en évidence les points critiques des pratiques d'élevage, susceptibles d'avoir des conséquences négatives sur le Bienêtre du poisson. Enfin, les recherches scientifiques offrent de nouvelles perspectives à la gestion du Bien-être des poissons en élevage. Des perspectives de gestion du stress seront citées, telles que le monitoring du stress en élevage et la sélection d'animaux résistants.

Mots clés

AQUACULTURE / PISCICULTURE / BIEN-ÊTRE ANIMAL / DOULEUR / ÉTHIQUE / PRATIQUE D'ÉLEVAGE / **LÉGISLATION / POISSON** 

Jury:

Président : Pr.

Directeur : Ségolène CALVEZ Maître de Conférences à ONIRIS

Assesseur : Alline de PAULA REIS Maître de Conférences à l'ENVA

FISH WELFARE IN AQUACULTURE

**SURNAME**: ESCUDERO

Given name: Mathilde

**Summary** 

Global aquaculture has been sharphly growing for the past years and might be the main protein source

by 2030. It is a subject of the future as well as a topical issue because of its societal aspects. Indeed, the living conditions and slaughter of livestock in intensive rearing is an increasingly

prominent concern of the public. Until the nineties, public concern focused on poultry and hog farming

and dairy farming, and in particular slaughter methods. Fish welfare was scarcely mentioned in the

science reports and the media. This lack of interest compared to mammals, is explained by the

difference in living, form of communication and the lack of human contact. Yet, it is difficult to define

welfare compared to others reared animal species because of its particularities, among which

husbandry environment and neuroanatomical organizations. We will define fish welfare by transposing

principles already known about mammals welfare. Physiological or behavioural stress responses will be described. A description of the legal framework and general policies will be done. We will show the

husbandry crucial points, that can lead to negative impacts on fish welfare. Management perspectives

for stress will be described such as welfare and genetically resistant animals.

Keywords

AQUACULTURE / PISCICULTURE / ANIMAL WELFARE / PAIN / ETHIC / HUSBANDRY / LEGISLATION / FISH

Jury: President: Pr.

Director : Ségolène CALVEZ Maître de Conférences à ONIRIS

Assessor: Alline de PAULA REIS Maître de Conférences à l'ENVA