Centre national
de référence pour le
bien-être animal

Synthèse bibliographique du CNR BEA sur la protection des poissons d'élevage en contexte d'abattage

Titre complet : Avis du CNR BEA relatif aux conditions d'abattage des poissons d'élevage

Commanditaire : Centre national de référence pour le bien-être animal (CNR BEA) – auto-saisine

Date de dernière modification : 07/03/2024

Contexte de l'expertise : Lors de la première réunion de la plateforme « bien-être des poissons » initiée par le Comité Interprofessionnel des Produits de l'Aquaculture (CIPA), un besoin d'informations scientifiques sur la protection des poissons au cours de l'abattage, notamment lors de l'étourdissement, a été identifié. Pour répondre à cela, un travail de synthèse bibliographique a été proposé par le CNR BEA en accord avec le CIPA.

Objectif de l'auto-saisine : De nombreux travaux portant sur les conditions d'étourdissement et d'abattage pour les différentes espèces de poissons élevées en Europe sont d'ores et déjà disponibles. Cependant, aucune revue bibliographique n'est spécifique à la situation française. De plus, la phase de pré-étourdissement est généralement peu détaillée malgré son incidence en termes de protection animale. Ce document a donc pour objectifs :

- D'identifier les facteurs susceptibles de compromettre la protection des poissons de leur sortie du bassin de vie à leur mort dans la filière française
- D'identifier l'origine de ces facteurs
- D'identifier les étapes concernées : manipulations pré-étourdissement, étourdissement, mise à mort
- D'identifier les conséquences des facteurs étudiés en termes de protection animale
- D'identifier les méthodes pour mesurer ces conséquences
- D'identifier des actions préventives/correctives pour limiter les conséquences négatives sur la protection des poissons

Ce document rendra accessible à la filière un état de l'art adapté à la situation française.

Précaution : Le corpus bibliographique utilisé pour cette synthèse est composé de littérature académique et de littérature grise. Il a été réalisé à partir d'une pré-sélection réalisée par la coordinatrice de l'expertise et de l'apport de références complémentaires par les experts sollicités. Le CNR BEA peut inclure certaines références au corpus bibliographique sans pour autant partager les opinions qu'elles véhiculent si elles contiennent des informations qu'une majorité des experts a jugées pertinentes à relayer.

Table des matières

Glossaire **1**

Liste des abréviations **2**

Introduction **4**

1. Contextualisation **6**

1.1. *La filière piscicole française* *6*

1.1.1. Les espèces élevées en France 6

1.1.2. Les systèmes d'élevage / de production 9

1.1.3. Les aspects économiques et le marché français 12

1.1.4. Méthodes d'abattage selon les espèces 15

1.1.5. Les nouvelles attentes par rapport au bien-être des poissons en élevage 16

1.2. Les aspects réglementaires et initiatives en faveur du bien-être des poissons 19

1.2.1. A l'échelle mondiale : les recommandations de l'Organisation Mondiale de Santé Animale (OMSA) 19

1.2.2. Règlementation Européenne au sujet du bien-être des animaux 21

1.2.3. Les recommandations de l'EFSA sur l'abattage des poissons d'aquaculture 23

1.2.4. Le bien-être des poissons dans l'aquaculture : une nouvelle priorité pour la Commission européenne 28

1.2.5. Spécificités réglementaires et initiatives françaises pour le bien-être des poissons 29

2. Sensibilités sensorielle et émotionnelle des poissons **32**

2.1. Dimension sensorielle de la sensibilité *32*

2.1.1. Vision 33

2.1.2. Olfaction 34

2.1.3. Gustation 34

2.1.4. Audition 35

2.1.5. Toucher 35

2.1.6. Génération et perception d'un champ électrique 37

2.2. Dimension psychologique de la sensibilité 37

2.2.1. Peur 38

2.2.2. Anxiété 40

2.2.3. Douleur 40

2.2.4. Stress 43

2.3. Les indicateurs de stress 44

2.3.1. Les indicateurs physiologiques 45

2.3.2. Les indicateurs comportementaux 45

2.4. Les conséquences de l'expérience émotionnelle négative sur la qualité des produits 45

2.4.1. Impact d'une expérience émotionnelle négative 45

2.4.2. La qualité comme indicateur de stress ? 46

3. Les méthodes d'abattage pratiquées en France au regard de la sensibilité des poissons d'élevage : facteurs de stress et de douleur, et conséquences 48

3.1. Phase de pré-étourdissement (jeûne, regroupement des poissons, transfert et chargement, et transport) 48

3.1.1. Le jeûne 48

3.1.2. Le regroupement et le transport sur le lieu d'abattage 49

3.2. Phase d'étourdissement et de mise à mort 55

3.2.1. Définitions 55

3.2.2. Les différentes méthodes d'étourdissement et/ou de mise à mort 57

3.2.3. Combinaison des différentes méthodes 72

3.2.4. Comparaison des différentes méthodes 73

4. Conclusion : bilan et recommandations 79

4.1. Bilan relatif aux méthodes étudiées 79

4.2. Recommandations générales 84

4.2.1. Le manque de recherche scientifique et technique au regard de la complexité du sujet 84

4.2.2. Le besoin important de diffusion des connaissances 85

4.2.3. Le manque de réglementation applicable en contexte de transport et d'abattage des poissons 86

4.2.4. Les contraintes spécifiques de la filière piscicole 87

4.2.5. Considérations économiques, pratiques et socio-culturelles 88

Bibliographie 89

Annexe 1 107

Annexe 2 108

Glossaire

Abattage : mise à mort d'animaux destinés à la consommation humaine.

Degré-jour : notation utilisée en pisciculture pour mesurer une durée en fonction de la température de l'eau car les poissons sont poïkilothermes. Ainsi "100 degrés-jours" signifie que l'incubation durera 5 jours dans de l'eau à 20°C, 7 jours dans de l'eau à 15°C, 10 jours dans de l'eau à 10°C. (Ceci est valable à l'intérieur de certaines limites de température : ne pas extrapoler ce calcul à des températures extrêmes) (Source : https://doris.ffessm.fr/Glossaire/Degre-jour/).

Etourdissement : processus qui consiste à rendre les animaux inconscients, avec ou sans mise à mort de l'animal, immédiatement avant de les abattre pour la consommation. Il doit être distingué de l'immobilisation qui provoque également un arrêt des réponses comportementales des animaux mais n'assure pas la perte de conscience.

Hyperoxie : taux excessif d'oxygène dans le sang.

Hypoxie : diminution de la quantité d'oxygène que le sang distribue aux tissus.

Metteurs en marché : dans le cadre de cette synthèse, les metteurs en marché sont uniquement des entreprises qui réalisent la vente directe aux enseignes de grande distribution, aux grossistes et aux restaurateurs.

Mise à mort : processus qui consiste à causer la mort des animaux. Dans le cas d'un abattage respectueux de la protection animale, la mise à mort intervient dans la continuité de l'étourdissement.

Poïkilotherme : se dit d'un animal dont la température corporelle varie avec celle de son environnement.

Polyploïdie : la polyploïdie permet l'obtention d'organismes stériles (pas à 100%), avec pour certains, un taux de croissance et de survie supérieur, voire une amélioration de la qualité. Cependant, la polyploïdie est une modification du nombre de chromosomes qui peut se produire naturellement, sans intervention humaine (par exemple, les huîtres triploïdes ne sont pas des OGM). (Rasmussen & Morrissey, 2007)

Téléostéens : famille de poissons à nageoires rayonnées, représentant 99,8% des espèces de poissons. La quasi-totalité des espèces de poissons élevées en France sont des téléostéens.

Truite portion : truite dont le cycle est compris entre 10 et 14 mois et dont le poids à l'abattage est d'environ 250 grammes.

Raceway : bassin linéaire aux parois en béton.

Liste des abréviations

AHAW : Santé et Bien-être Animal (« Animal Health And Welfare »)

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

CCA : Conseil Consultatif de l'Aquaculture

CIPA : Comité Interprofessionnel des Produits de l'Aquaculture

CNR BEA : Centre National de Référence pour le Bien-être Animal

DDPP : Direction Départementale de la Protection des Populations

DGAL : Direction Générale de l'Alimentation

DGAMPA : Direction Générale des Affaires Maritimes, de la Pêche et de l'Aquaculture

ECG : électrocardiogramme

EEG : électroencéphalogramme

EFSA : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (« European Food Safety Authority »)

FEAMPA : Fonds Européen pour les Affaires Maritimes, la Pêche et l'Aquaculture

FEAP : Fédération Européenne des Producteurs d'Aquaculture (« Federation of European Aquaculture Producers »)

GT : Grande Truite (1-2 kg)

HPI : hypothalamo-hypophyso-interrénal

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

ITAVI : L'institut Technique des filières Avicole, cunicole et piscicole

OMC : Organisation Mondiale du Commerce

OMSA : Organisation Mondiale de la Santé Animale

ONIRIS : École nationale vétérinaire, agroalimentaire et de l'alimentation de Nantes-Atlantique

RAS : Système recirculé (« Recirculating Aquaculture System »)

RSCPA : Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals

SNGTV : Société Nationale des Groupements Techniques Vétérinaires

SYSAAF : Syndicat des Sélectionneurs Avicoles et Aquacoles Français

TAEC : Truite Arc-en-ciel

TGT : Très grande truite (3-4 kg)

UE : Union Européenne

VOR : réflexe vestibulo-oculaire

VER : potentiels évoqués visuels (« visual evoked response »)

Introduction

La question du bien-être des animaux suscite un intérêt croissant, notamment dans les sociétés occidentales. En réponse, le nombre de publications scientifiques en Europe portant sur le bien-être des animaux a doublé entre 2003 et 2014 (Gautret et al., 2017). L'intérêt du public pour le bien-être des poissons est apparu bien plus tardivement que celui pour les principales espèces d'animaux d'élevage terrestre alors que les risques d'atteinte au bien-être des poissons en élevage et à l'abattage étaient identifiés. En effet, dans chacun des 7 avis sur les méthodes d'abattage des principales espèces de poissons élevés, l'EFSA (European Food Safety Authority) soulevait que la protection animale au moment de la mise à mort rencontrait des difficultés d'adéquation entre les pratiques réalisées et les méthodes recommandées (EFSA, 2009a, b, c, d, e, f, g). Désormais, ces questions sont prégnantes chez les citoyens malgré des améliorations introduites ces dernières années par les filières pour améliorer la protection des poissons et la qualité des produits. Dans le même temps, des échanges au niveau communautaire sur la protection des poissons en aquaculture se sont mis en place. Deux rapports ont ainsi été publiés par la Commission européenne : le premier en septembre 2017, « Bien-être des poissons d'élevage : pratiques courantes de transport et d'abattage », et le second en mars 2018, « Rapport de la Commission au Parlement européen et au Conseil sur la possibilité d'introduire certaines prescriptions relatives à la protection des poissons au moment de leur mise à mort » (Commission européenne, 2017, 2018). Un groupe de travail relatif aux poissons a été mis en place dans le cadre de la plateforme européenne d'échange sur le bien-être animal, instaurée en 2017. Les filières aquacoles françaises manquent néanmoins d'indicateurs et de solutions techniques pour consolider les démarches de progrès en matière de protection animale, dans lesquelles elles se sont engagées à la suite des états généraux de l'alimentation.

Si elle est apparue plus tardivement en comparaison avec les principales espèces d'animaux d'élevage terrestres, l'étude scientifique de la sensibilité et du bien-être des poissons est en très forte augmentation depuis quelques années. En effet, plusieurs projets de recherche européens sur le bien-être des poissons ont été financés soit directement, dans les deux derniers programmes-cadres (FP7[1] et H2020[2]), soit par le biais d'ERAnets[3]. Quelques actions COST[4]

[1] Le septième programme-cadre était le programme de financement de la recherche et du développement technologique de l'Union européenne pour la période 2007-2013. https://cordis.europa.eu/programme/id/FP7/fr

[2] Horizon 2020 était le programme de financement de la recherche et de l'innovation de l'UE pour la période 2014-2020. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-2020_en

[3] Dans son programme-cadre, Horizon 2020, la Commission européenne a mis en place un nouvel instrument au service de la recherche européenne : l'ERA-NET Cofund. Il permet de renforcer l'efficacité du financement de la recherche sur projets à l'échelle européenne. Il combine les outils précédents que sont les ERA-NET et les ERA-NET+

[4] « Le COST (Coopération européenne en science et technologie) est un organisme de financement des réseaux de recherche et d'innovation. Ses actions contribuent à relier les initiatives de recherche en Europe et au-delà et permettent aux chercheurs et aux innovateurs de développer leurs idées dans tous les domaines scientifiques et

ont également été financées afin de renforcer les liens entre les chercheurs et les parties prenantes concernées par la question du bien-être des poissons d'élevage (par exemple le COST Action 846 “Measuring and Monitoring Farm Animal Welfare” et le COST Action 21124 “Lifting farm animal lives – laying the foundations for positive animal welfare”).

Malgré l’accroissement récent des travaux scientifiques sur la sensibilité et la cognition des poissons, la grande variété d’espèces de poissons et des méthodes d’élevage rend difficile une généralisation des connaissances. En effet, les nombreuses différences physiologiques et neuroanatomiques entre les espèces de poissons élevés laissent penser que la sensibilité des poissons varie fortement entre les espèces considérées. A cela s’ajoute la diversité des niveaux de domestication démarrée seulement depuis moins de 3000 ans (Teletchea & Fontaine, 2012). Le manque de connaissances sur la sensibilité propre à chacune de ces espèces, couplé à la diversité des espèces élevées constituent un obstacle important à l'innovation technologique dans le domaine notamment des méthodes d’abattage, compromettant les progrès en matière de protection animale.

Dans ce contexte, il était nécessaire de réaliser une synthèse des connaissances technico-scientifiques pour mieux comprendre les besoins liés à la protection animale des poissons lors de l’abattage, depuis la mise à jeun, le regroupement et le transport des poissons jusqu’au poste d’abattage. Outre le fait d’actualiser l’état des connaissances, cette synthèse analyse les facteurs de stress et de douleur susceptibles d’altérer la protection des poissons lors de l’abattage. Elle permet d’identifier les informations éventuellement manquantes et d’apporter des pistes d’amélioration des pratiques d’abattage des poissons au regard de leur sensibilité. Cette synthèse tient compte de la diversité des espèces tout en se concentrant sur les principales espèces de poissons élevées en France[5] : la truite, la carpe et l’esturgeon (poissons d’eau douce), et le bar, la daurade, le maigre, le turbot et la sole (poissons d’eau de mer). Ces espèces ont des exigences différentes en ce qui concerne l’oxygène et la température de l’eau, et ont des sensibilités et des capacités d’adaptation différentes. Sur le plan organisationnel, la synthèse présente tout d’abord la situation de l’aquaculture en France (pratiques et situation du marché). Les aspects réglementaires du bien-être en élevage piscicole et les attentes sociétales sont ensuite rappelés. Puis, la sensibilité sensorielle et émotionnelle des poissons est appréhendée à l’aune des connaissances scientifiques. Par la suite, le texte se focalise sur les méthodes d’abattage des poissons et les impacts sur le stress et la douleur des poissons. Dans un souci de lecture, la présentation du processus d’abattage est segmentée en deux phases rapportées chronologiquement, la phase de sortie du bassin de vie (mise à jeun, regroupement des poissons, pêche des poissons, transport éventuel...) et la phase d’étourdissement et de mise à mort proprement dite. A chaque fois, les facteurs de stress et de douleur sont discutés.

technologiques en les partageant avec leurs pairs. Les actions COST sont des réseaux ascendants d'une durée de quatre ans qui stimulent la recherche, l'innovation et les carrières. » (https://www.cost.eu)

[5] Pour des raisons de lisibilité, le terme « France » est utilisé dans l’ensemble du rapport pour faire référence à la France métropolitaine

1. Contextualisation

1.1. La filière piscicole française

La pisciculture est une activité récente au niveau mondial par rapport aux autres filières d'élevage. En effet, le niveau de domestication des différentes espèces élevées est très variable : l'élevage de la carpe est une pratique millénaire, en particulier en Asie ; l'élevage des salmonidés (saumon, truite) s'est fortement développé dans les années 1980-90 en Amérique du Nord et en Europe, et plus récemment en Amérique du Sud ; les espèces marines élevées en France sont de domestication plus récente, et leurs caractéristiques sont plus proches de celles de leurs congénères sauvages. Une sélection est appliquée sur certaines espèces et a déjà permis d'améliorer leurs performances et capacités d'adaptation en élevage. Néanmoins, le marché des produits aquatiques est le seul à voir coexister des animaux d'une même espèce mais qui peuvent être issus du milieu sauvage (pêche) ou de l'élevage (aquaculture).

La production piscicole française est très diversifiée et les chiffres de l'année 2021 présentent un total de production de l'ordre de 43 621 tonnes[6] de poissons (34 718 tonnes de salmonidés élevés en eau douce, 300 tonnes d'autres poissons d'eau douce hors étang dont les esturgeons et les perches, 2 868 tonnes de poissons d'étangs dont 44% de carpes et 5 735 de poissons marins dont 77% de bar et de la daurade), 44 tonnes de caviar et 102 tonnes d'œufs de truite à destination de la consommation (Agreste, 2023). La France est également productrice de juvéniles et d'œufs pour la reproduction : 163 millions d'œufs embryonnaires et 19 millions de juvéniles de truite, 16 millions de vésicules résorbées et alevins de poissons d'eau douce hors salmonidés (Agreste, 2023), et 100 millions d'alevins de bar et la daurade pour les poissons marins (FEAP, 2023).

1.1.1. Les espèces élevées en France

Le Tableau 1 présente les principales espèces de poissons élevées en France. Elles comprennent les Salmonidés élevés en eau douce : truite arc-en-ciel, truite fario, saumon de fontaine, omble chevalier ; les poissons marins : bar, daurade royale, maigre, turbot, sole, saumon et truite élevée en mer ; les poissons élevés en étangs : carpes, … ; et autres poissons d'eau douce hors étangs : esturgeons, perches.

[6] La production de poissons, hors juvéniles, est toujours exprimée en tonnage car la conversion en nombre d'animaux est rendue impossible tant les calibres sont variés. De plus, la gestion des animaux en élevage se fait systématiquement par lots, et non par nombre d'individus.

Tableau 1. Principales espèces de poissons élevées en France en 2021. *Données issues de : (Agreste, 2023)*

Salmonidés	Truite arc-en-ciel (98% de la production de salmonidés élevés en eau douce)	*Oncorhynchus mykiss*
	Truite fario, Saumon de fontaine, Omble chevalier, etc. *(*environ 2% de la production de salmonidés élevés en eau douce)	*Salmo trutta, Salvelinus fontinalis, Salvelinus alpinus*
Poissons marins	Bar	*Dicentrarchus labrax*
	Daurade royale	*Sparus aurata*
	Maigre	*Argyrosomus regius*
	Turbot	*Scophtalamus maximus*
	Sole	*Solea senegalensis*
Poissons d'étangs	Carpes (plusieurs espèces) et autres poissons d'étangs	Cyprinidés et autres
	Esturgeons (plusieurs espèces)	Ascipenseridés

La production est répartie sur l'ensemble du territoire français comme le présente la Figure 1, mais de façon inégale selon les espèces. Certaines régions participent de façon plus importante, notamment la région Nouvelle-Aquitaine et la région des Hauts-de-France (Figure 1).

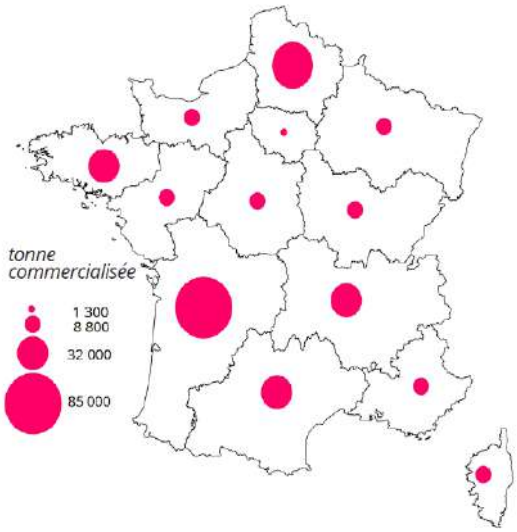


Figure 1. Répartition de la production piscicole en tonnes selon les régions françaises, hors écloserie/nurserie et pisciculture en étangs. *Source : (Agreste, 2020)*

N.B. : Il n'est pas possible de localiser les principaux sites d'abattage sur une carte. En effet, dans la filière « truite », certains sites de production réalisent également eux-mêmes l'abattage que ce soit pour de la vente directe au détail ou bien pour une vente à un distributeur (grossiste, grande surface, …). Dans ce cas, il n'y a pas de transport entre l'élevage et le site d'abattage, seulement un transfert interne. Mais tous les sites de production ne disposent pas d'un atelier de transformation (et donc d'abattage). Par ailleurs, tous les ateliers de transformation n'abattent pas les poissons (exemple des ateliers de fumaison qui reçoivent les poissons déjà éviscérés, voire filetés). Dans le cas où l'abattage n'est pas réalisé sur le site de production, les poissons sont transportés dans des cuves remplies d'eau et oxygénées (par des camions à carrosserie ouverte, des véhicules routiers de plus petite taille ou sur des bateaux) ; en fonction de la durée du transport, d'autres méthodes de traitement de l'eau sont utilisées (refroidissement, …). Les poissons élevés dans les étangs sont souvent transportés vers les ateliers d'abattage dans des cuves remplies d'eau et oxygénées. Quant aux piscicultures des poissons marins et d'esturgeons, les sites pratiquent l'abattage sur le site de production.

La truite arc-en-ciel est l'espèce de poissons la plus élevée en France. La durée d'élevage peut être plus ou moins longue en fonction du calibre de poisson recherché. Ainsi le cycle sera compris entre 10 et 14 mois pour obtenir le stade d'élevage appelé "portion", correspondant à un poisson d'environ 250 grammes. De plus en plus, l'élevage s'oriente vers la production de grande truite (GT) ou très grande truite (TGT) pour obtenir des animaux de 1-2 ou 2-3 kg respectivement (Figure 2). Ces calibres sont commercialisés en poissons frais découpés (darnes, pavés, filets) ou valorisés en truite fumée pour répondre à la demande croissante des consommateurs (Figure 3). La durée d'élevage dans ces cas est de l'ordre de 2-3 ans (selon la souche utilisée et les conditions d'élevage, notamment la température de l'eau).

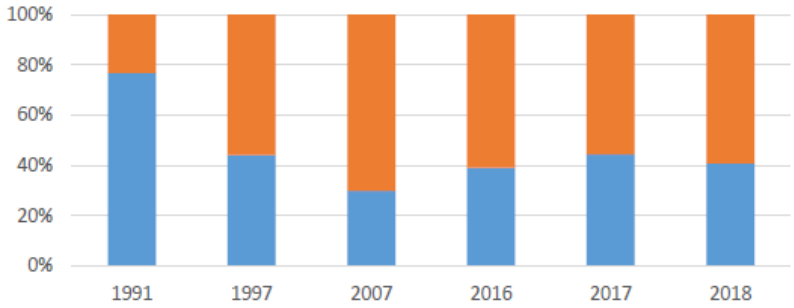


Figure 2. Évolution des calibres de truite arc en ciel (TAEC) élevées depuis 1991. *En bleu les truites portions et en orange les grandes truites et très grandes truites. Données issues de : (Agreste, 2011, 2019)*

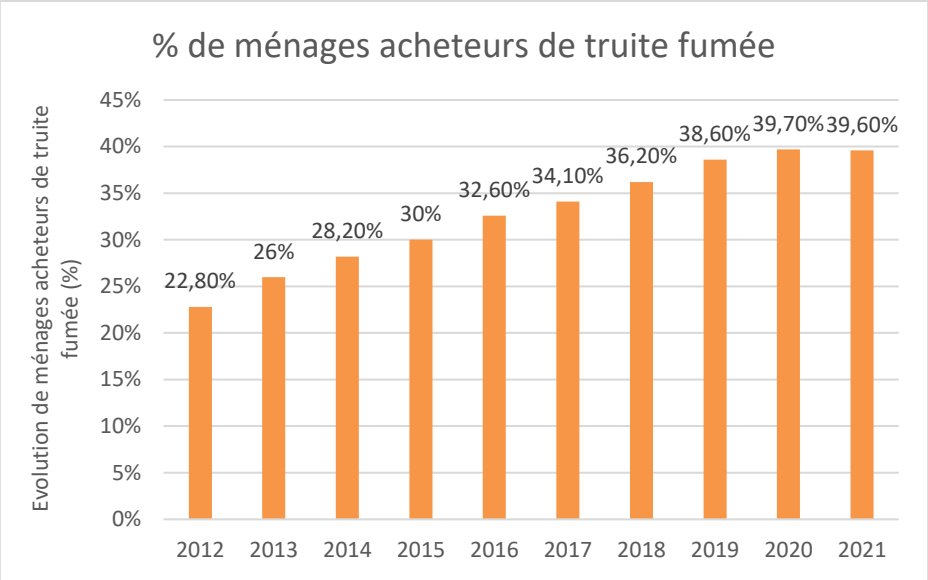


Figure 3. Évolution de la part des ménages acheteurs de truite fumée pour leur consommation à domicile. *Données issues de FranceAgriMer (2013, 2014, 2015, 2016, 2017b, 2018, 2019a, 2020, 2021, 2022c).*

Les élevages de poissons marins présentent des durées d'élevage comparables (Tableau 2).

Tableau 2. Durées d'élevage indicatives en France

Espèce	Ecloserie	Grossissement
Bar	90 à 150 jours	18 à 36 mois
Daurade	90 à 150 jours	18 à 36 mois
Maigre	90 à 150 jours	18 à 36 mois
Turbot	90 à 150 jours	18 à 36 mois
Saumon Atlantique	12 mois jusqu'au stade « smolt » N.B. : élevage réalisé en eau douce	18 mois
Truite en mer	12 mois jusqu'au stade « juvénile en eau douce »	18 mois
Sole	140 jours	18 mois

Dans la filière piscicole marine, certaines entreprises ou certains sites sont spécialisés en écloserie, dans la mesure où la maîtrise de la reproduction et de l'élevage larvaire nécessitent des installations spécifiques, ne serait-ce que pour la culture de phytoplancton et de zooplancton nécessaires pour l'alimentation des larves (en effet, contrairement aux salmonidés qui, suite à la résorption de leur vésicule vitelline, peuvent se nourrir d'aliment composé inerte, les larves de poissons marins se nourrissent de proies vivantes).

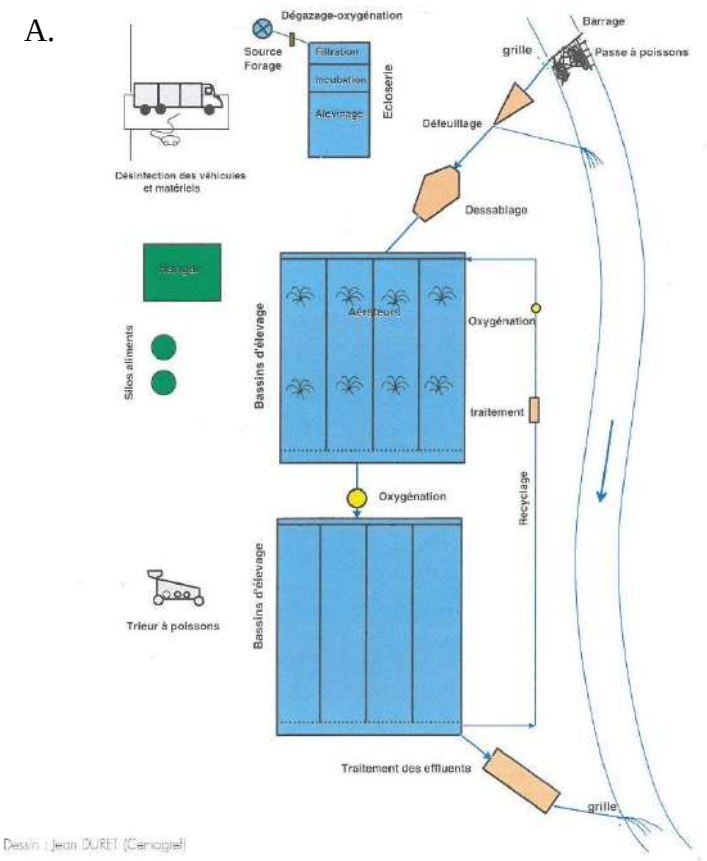
1.1.2. Les systèmes d'élevage / de production

Selon les espèces élevées, les systèmes de production et les sources d'approvisionnement en eau sont différents. Ainsi pour les espèces marines (bar, daurade, turbot, maigre), les

installations peuvent être situées à terre en pompant de l'eau de mer à proximité ou bien les installations peuvent être situées directement en mer (type viviers).
Pour les espèces d'eau douce, différents systèmes d'approvisionnement en eau coexistent : source ou forage, notamment pour les écloseries (truite, esturgeon) ; par dérivation de cours d'eau (truite, esturgeon) ; dans des étangs (esturgeon, poissons d'étangs) et depuis peu, les circuits RAS (recirculating aquaculture systems ou systèmes recirculés) se développent sur une partie ou bien sur l'ensemble de la pisciculture (truite et esturgeon).
Dans pratiquement tous les cas, les élevages sont fortement dépendants de la quantité et la qualité de l'eau issue de l'environnement, dans la mesure où c'est cette eau qui, parfois sans traitement (exemple des étangs et des élevages en viviers en mer), constitue le milieu d'élevage des poissons. Hormis le cas spécifique des exploitations avec de faibles débits d'eau (systèmes en eau recirculée comme les écloseries, notamment), il n'est pas possible d'implanter des systèmes de traitement pour modifier de façon substantielle la qualité de l'eau entrante. Il est donc nécessaire que ces systèmes de production soient adaptés aux types de production (écloserie, prégrossissement, grossissement) et au milieu sur lesquels ils sont implantés : par exemple, les écloseries de truite sont majoritairement implantées sur source ou sur forage pour une garantie de la qualité de l'eau entrante, dans la mesure où les juvéniles doivent être élevés dans une eau d'excellente qualité et dont la température est stable.
Dans les installations à terre, l'eau circule dans les bassins (type bassins circulaires ou raceways[7]) selon un débit réglé par le pisciculteur, entretenant un courant, avant d'être restituée au milieu. Dans les systèmes recirculés, l'eau sortant des bassins passe par différents systèmes de traitement (mécanique, biologique, dégazage) avant de retourner dans les bassins (Figure 4).

[7] Raceway : bassin linéaire aux parois en béton

A.



B.

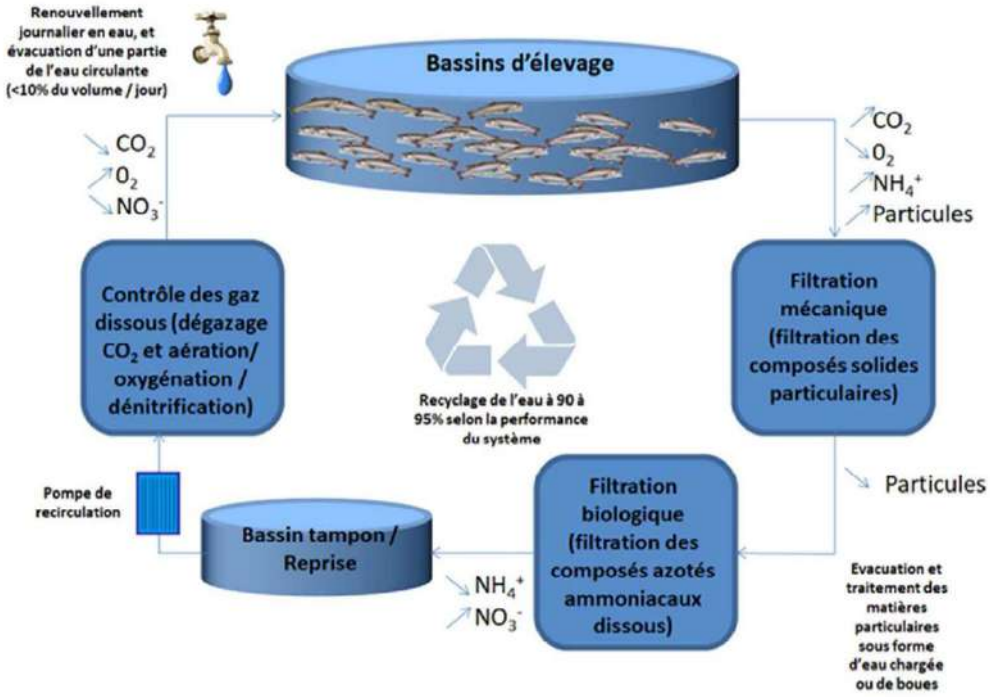


Figure 4. Schémas généraux d'organisation d'une pisciculture en circuit ouvert (avec recirculation, le cas échéant) Dessin : Jean DURET (Cemagref) (A) et d'une pisciculture en système recirculée (RAS) (B). *Sources : (A) Guyennet (2000); (B) FranceAgriMer (2019b)*

1.1.3. Les aspects économiques et le marché français

La valeur générée par la production piscicole française est constituée à 55% par celle des salmonidés. La Figure 5 illustre, avec les parts respectives de la pisciculture marine et des esturgeons, la spécialisation française en matière d'écloserie de bar, daurade, et maigre, et de production de caviar, la France étant le 3ème producteur mondial.

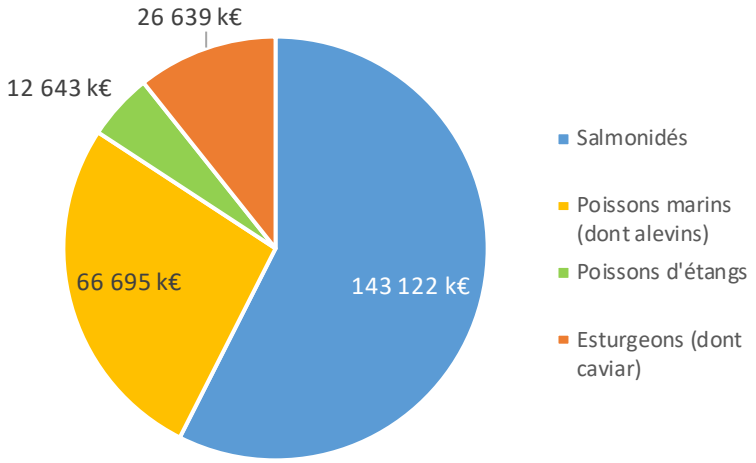


Figure 5. Chiffre d'affaires de la filière piscicole française (dont œufs destinés à la consommation et juvéniles) en 2020. *Données issues de Agreste (2023)*

Après une période de forte baisse, le volume de production piscicole française en eau douce a eu tendance à se stabiliser à partir du milieu des années 2000. Depuis quelques années, on assiste à une légère augmentation des volumes produits, mais sans retrouver les niveaux du milieu des années 90 (Figure 6).

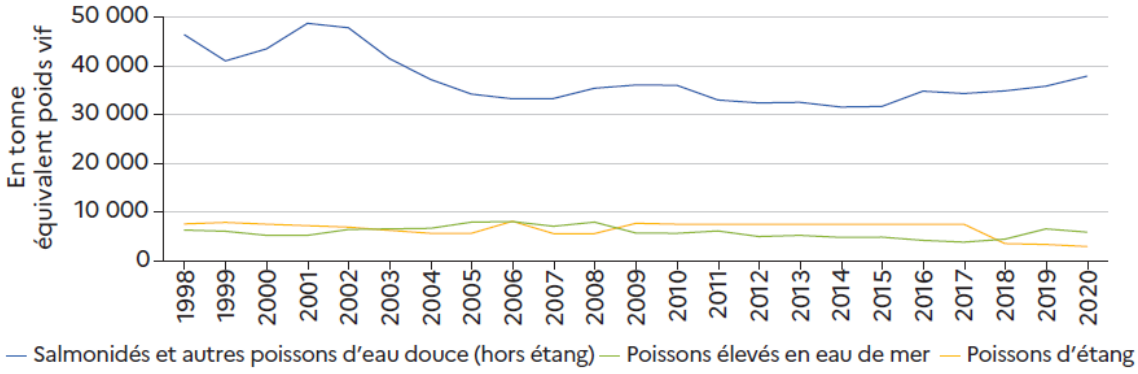


Figure 6. Production piscicole en France métropolitaine de 1998 à 2020. NB : Les volumes sont en équivalent poids vifs. La production en étang n'a pas été mise à jour entre 2008 et 2017. *Source Agreste (2022).*

Une part non négligeable de la production, près de 6%, est réalisée en mode de production biologique. (Tableau 3).

Tableau 3. Part de la production biologique (nombre d'entreprises et volume en tonnes) dans la filière piscicole française. *Source Agreste (2023)*

Espèce	Entreprises produisant en AB	Volume en AB	Volume hors AB
Salmonidés (chair)	23	1 198,90	33 518,71
Salmonidés (oeufs pour la consommation)	7	5,38	92,58
Autres poissons d'eau douce hors étangs, dont esturgeons et perches (chair)	0	0,00	300,42
Esturgeons (caviar)	0	0,00	43,96
Poissons d'étang	5	45,94	2 822,41
Bar (loup)	1	s	s
Autres poissons élevés en eau de mer, dont maigre, daurade royale...	0	0,00	3 094,16

Les grands principes du mode de production biologique, décrits dans le Règlement (UE) 2018/848, s'appliquent à la pisciculture :

- Interdiction du recours aux organismes génétiquement modifiés (OGM), aux animaux polyploïdes[8] obtenus artificiellement, et aux hormones ou dérivés hormonaux,
- Limitation des traitements allopathiques et antiparasitaires (prévention privilégiée)[9].

En pisciculture, 100% des juvéniles introduits dans l'exploitation en mode de production biologique doivent être bios ; les unités bios et non bios doivent être séparées (la France a choisi le principe de non-mixité des exploitations, hormis pour les écloseries) ; les installations de grossissement ne peuvent avoir recours au système recirculé, au chauffage ou au refroidissement artificiels des eaux ; il existe des restrictions à l'utilisation de lumière artificielle ; l'utilisation d'oxygène n'est autorisée que dans des cas exceptionnels ; des densités maximales ont été fixées espèce par espèce ; dans l'alimentation, la priorité est donnée aux matières premières issues de co-produits en ce qui concerne les farines et les huiles de poissons ; les techniques de mise à mort doivent immédiatement rendre les poissons inconscients et insensibles à la douleur. Par ailleurs, une attention particulière est portée aux connaissances et compétences de l'éleveur, à la manutention (limitation au minimum et réalisée avec soin[10]), aux équipements et procédures pour éviter tout stress ou dommage physique, aux mesures de réduction des durées de transport.

[8] La polyploïdie permet l'obtention d'organismes stériles (pas à 100%), avec pour certains, un taux de croissance et de survie supérieur, voire une amélioration de la qualité. Cependant, la polyploïdie est une modification du nombre de chromosomes qui peut se produire naturellement, sans intervention humaine (par exemple, les huîtres triploïdes ne sont pas des OGM). (Rasmussen & Morrissey, 2007)

[9] L'utilisation de traitements allopathiques est limitée à deux traitements par an, hors vaccinations et programmes d'éradication obligatoires. Toutefois, dans le cas des animaux dont le cycle de production est inférieur à un an, il n'est autorisé qu'un seul traitement allopathique par an.

[10] A titre d'exemple, le règlement relatif à la production biologique indique « La manutention des animaux d'aquaculture est limitée au minimum et elle s'effectue avec le plus grand soin. Des équipements appropriés et des procédures adéquates sont utilisés de manière à éviter aux animaux tout stress et tout dommage physique. […] Les opérations de calibrage sont limitées au minimum et se déroulent selon des modalités compatibles avec le bien-être des animaux. »

Concernant la production totale (bio et non bio), les volumes en France sont néanmoins bien inférieurs à ceux produits par certains autres pays européens, et l'évolution de la production au niveau français ne suit pas la dynamique de progression observée au niveau mondial, du fait de la difficulté à augmenter la production des sites et l'installation de nouvelles structures. Parmi les freins, on peut noter la complexité et la durée des procédures administratives (il faut en effet compter au moins trois ans pour obtenir un renouvellement de l'arrêté préfectoral de production, et la moyenne se situe davantage autour de cinq ans) ainsi qu'un cadre réglementaire non spécifique à la pisciculture en matière d'environnement : les demandes des services instructeurs se basent sur l'ensemble des textes découlant de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques de 2006 et nécessitent des études dépassant le cadre strict de ce qui est maitrisable par les pisciculteurs. Cela explique l'absence de création de sites piscicoles depuis 30 ans, hormis un site de pré-grossissement en 2010.

Concernant les parts des différents pays dans la production piscicole couverte par le périmètre de la FEAP (Federation of European Aquaculture Producers, incluant l'Union Européenne, la Norvège, le Royaume-Uni et la Turquie), hormis pour la production de truite, pour laquelle la France représente 20% de la production des pays membres de l'UE, la production piscicole française est insignifiante au niveau européen. Dans l'Union Européenne, les deux autres pays producteurs de truite, outre la France, sont l'Italie et le Danemark (pays où les truites sont élevées en mer après une phase de pré-grossissement en eau douce). Les principaux pays producteurs de bars et de daurades sont la Turquie, la Grèce et l'Espagne. La production française, bien que représentant environ 8% des alevins de bars et de daurades du pourtour méditerranéen, constitue entre 1 et 2% des volumes d'alevins de bars et de daurades produits dans l'UE et hors UE (FEAP, 2023). A titre comparatif, la Turquie produit environ 37% des alevins de bars et de daurades du pourtour méditerranéen. Ainsi, la majorité des bars et daurades consommés en France sont issus de pays de l'UE ou de pays-tiers (cf ci-après).

La France est un pays très consommateur de produits aquatiques. Il est estimé que 33,5 kg de produits aquatiques ont été consommés en France par an et par habitant (dont 11% de poissons d'aquaculture) en 2017 (FranceAgriMer, 2022a). Pour satisfaire cette consommation, la France a très majoritairement recours aux importations : 93% en volume dans le bilan d'approvisionnement en produits aquatiques en France en 2018 (FranceAgriMer, 2021).
La part des poissons d'aquaculture français dans la consommation de produits aquatiques en France en 2018 n'a ainsi représenté que 1,9% des produits consommés (CIPA et al., 2023)(Tableau 4).

Tableau 4. Commerce extérieur[11] des principales espèces de poissons élevés en France en 2021. Les données sont indiquées en volume (T) et valeur (k€). *Données issues de FranceAgriMer (2022b)*

	Importations	Exportations	Balance commerciale
Truite	11 760 T (60% en provenance d'Espagne)/72 001 k€	7 642 T (55% à destination de l'Allemagne)/31656 k€	- 4 118 T/-40 348 k€
Bar et daurade	21 524 T (à 44% en provenance de Grèce)/107 090 k€	2 966 T (à 29% à destination de l'Italie)/28 804 k€	- 18 558 T/-78 286 k€
Saumon	245 752 T (à 47% en provenance de Norvège)/1 684 243 k€	40 715 T (à 39% à destination de la Pologne)/376 322 k€	- 205 037 T/- 1 307 920 k€
Carpe	402 T/988 k€	63 T/288 k€	- 339 T/-700 k€

1.1.4. Méthodes d'abattage selon les espèces

Les méthodes d'abattage utilisées en France varient selon les espèces (Tableau 5)

Tableau 5. Pratiques d'abattage utilisées en France (en nombre de sites)[12]. *Source Agreste, (2021)*

Equipement ou technique d'abattage	Elevage de salmonidés	Elevage d'esturgeons et autres poissons d'eau douce hors étangs	Pisciculture en étangs	Pisciculture marine
Pratique d'abattage				
Electrocution	88	3	6	1
Saignée	32	3	2	6
Assommage ou percussion	76	5	4	4
Choc thermique	3	0	3	15
CO2	2	1	0	0
Pas de technique d'abattage spécifique	19	2	189	5
Ensemble	**365**	**21**	**211**	**28**

[11] Les chiffres de valeur de ce tableau regroupent des poissons vivants, des poissons frais entiers ou découpés et des poissons fumés. La différence de prix moyen entre le prix des poissons à l'import et à l'export s'explique par le fait qu'on exporte (ou importe selon les espèces) plus de poissons ou de « produits » avec un prix au kg plus élevé qu'on importe (ou exporte selon les espèces). Par exemple, pour la truite on exporte surtout des poissons vivants en volume (moins chers) et on importe surtout des poissons frais découpés (plus chers), d'où la différence de prix au kilo.

[12] La dernière ligne « Ensemble » du Tableau 5 correspond au nombre d'entreprises enquêtées. Nombre de ces entreprises ne pratiquent pas l'abattage. Par ailleurs, certaines entreprises utilisent plusieurs techniques, c'est pourquoi cette dernière ligne ne correspond pas à la somme des autres lignes du tableau.

N.B. : Le périmètre de cette enquête Agreste recouvre l'ensemble des entreprises de production (donc d'élevage) de la filière. Les ateliers de transformation/conditionnement qui ne possèdent pas de pisciculture ne sont donc pas interrogés. Or ces structures de transformation/conditionnement sont également susceptibles d'abattre des poissons et elles représentent 70 à 80% des metteurs[13] du marché. A contrario répondent à cette enquête des piscicultures qui n'abattent pas les poissons, cela explique probablement la part des réponses à la question « pas de technique d'abattage spécifique ».

L'électrocution et la percussion sont très majoritaires en salmoniculture alors que le choc thermique est la technique la plus répandue pour les poissons marins (les espèces majoritaires que sont le bar et la daurade sont des espèces d'eau « chaude » étourdies et abattues dans un mélange eau/glace). Selon les publications ou les pratiques de terrain, plusieurs termes sont utilisés pour désigner cette méthode : « choc thermique », « asphyxie dans la glace », « bain d'eau glacée », « mélange eau-glace », ….
Il n'est pas précisé dans la source si l'« électrocution » comme pratique d'abattage englobe les pratiques d'électronarcose et/ou d'électrocution (cf 3.2.2.3).

Concernant la « saignée », les informations disponibles dans la source ne permettent pas de préciser si celle-ci est précédée d'une méthode d'étourdissement ou non. En pratique, toutes les méthodes d'étourdissement peuvent être suivie de saignée à partir d'une certaine taille de poissons (les petits poissons vendus entiers ne sont pas saignés).

La description complète des techniques d'étourdissement et d'abattage est faite dans la partie « 3.2. Phase d'étourdissement et de mise à mort ».

1.1.5. Les nouvelles attentes par rapport au bien-être des poissons en élevage

Dans son baromètre d'image des produits aquatiques, FranceAgriMer interroge régulièrement un panel représentatif de la population française métropolitaine. En décembre 2017, un focus avait été fait sur des questions relatives au bien-être des animaux aquatiques (FranceAgriMer, 2017a).

Sur la base des résultats issus de ce baromètre, les trois principaux enjeux pour une production alimentaire de poissons, coquillages et crustacés plus durable et équitable sont :
• Le « *bon état écologique du milieu marin (qualité de l'eau, protection des fonds marins…)* » (92% des répondants)
• La « *qualité sanitaire des produits* » (91% des répondants)
• La « *préservation des espèces menacées (cétacées, tortues…)* » (91% des répondants)

Ces enjeux apparaissent encore plus importants aux consommateurs de plus de 65 ans et retraités.

[13] Ici, les metteurs en marché sont des ateliers qui réalisent des ventes directes aux enseignes de grande distribution, aux grossistes et aux restaurateurs.

Il est à noter que le bien-être des animaux arrive en quatrième position, jugé comme un des principaux enjeux pour une production alimentaire de poissons, coquillages et crustacés plus durable et équitable par 88% des répondants.

Le panel a ensuite été interrogé spécifiquement sur la perception du bien-être des animaux. Il en ressort que 2/3 des Français se disent sensibles au bien-être des poissons, crustacés et coquillages (les trois catégories d'animaux étant regroupées dans une même question). Cette sensibilité est plus marquée chez les femmes, chez les personnes âgées de 50 à 64 ans, et chez les personnes sans activité professionnelle.

Par ailleurs, il ressort de l'enquête que la prise en compte du bien-être des animaux par le consommateur se traduit principalement par *« la consommation de produits aquatiques avec des signes de qualité (labels, bio…) »* (36% des répondants) et par *« la consommation de produits de la pêche plutôt que des produits de l'aquaculture* » (34% des répondants). Pour la majorité des Français, la pisciculture peut être compatible avec le bien-être des animaux mais sous réserve d'amélioration des pratiques (58% des répondants).

Toujours dans la même enquête, il ressort que les principales indications attendues par le consommateur pour attester la prise en compte du bien-être des animaux sont :

- Les informations sur les conditions de vie des poissons (88% des répondants, 34% ayant placé cette information en première position)
- Les informations sur les conditions de « stockage » des poissons (88% des répondants, 13% ayant placé cette information en première position)

On note également que les informations sur les conditions d'abattage des « produits aquatiques vivants » ressortent comme très importantes pour les consommateurs pour attester la prise en compte du bien-être des animaux (84% des répondants, 14% ayant placé cette information en première position).

Enfin, les actions relatives au bien-être des poissons, comme des coquillages et crustacés, sont peu connues puisque près de la moitié des répondants n'ont jamais eu connaissance de telles actions.

Nous relevons que les termes utilisés dans ce type d'enquêtes gagneraient à être précisés pour mieux comprendre les attentes des consommateurs en termes de bien-être des animaux.

Au niveau européen, le bien-être des poissons fait l'objet d'une attention grandissante, comme en témoignent les travaux menés par le Conseil Consultatif de l'Aquaculture (CCA).

Les conseils consultatifs sont des organes d'intérêt européen, créés par le règlement sur la politique commune de la pêche (UE) n° 1380/2013. Le CCA conseille la Commission européenne et les États membres sur toute les questions relatives à la gestion et aux aspects socio-économiques et de conservation de l'aquaculture.

Les recommandations du CCA incluent les opinions des parties prenantes de l'aquaculture européenne représentées selon la répartition suivante :

- ✓ 60% - Organisations sectorielles (Aquaculture, Aliments, Vétérinaires, Syndicats…)

- ✓ 40% - Autre Groupement d'Intérêt (Environnement, Consommateurs, Organisations de protection animale…)

(liste des membres disponible sur : https://aac-europe.org/fr/a-propos/membres)

En 2019, le CCA a émis une recommandation sur la protection animale lors de l'abattage des poissons. Il préconise, à différents niveaux (européen et national), de « Soutenir le développement de technologies d'abattage des poissons », « Soutenir le développement des bonnes pratiques »[14], « Maximiser la valeur des bonnes pratiques de gestion », « Garantir l'efficacité et les bénéfices des pratiques d'abattage des poissons », confier un certain nombre de missions à un « Centre de référence européen du bien-être animal » et « Promouvoir le besoin de normes spécifiques aux espèces dans les forums internationaux » (CCA, 2019). Ces recommandations, fruits de consensus entre l'ensemble des parties prenantes participantes, sont systématiquement adressées à la Commission Européenne.

En 2022, le CCA a émis des recommandations sur le bien-être des poissons pendant le transport (CCA, 2022) et sur la création d'un centre européen de référence sur le bien-être des poissons (CCA, 2022a). Depuis, la Commission Européenne a lancé un appel à candidature pour la création d'un centre européen de référence pour le bien-être des animaux aquatiques le 12/04/2023.

Cette activité du CCA montre la mobilisation tant du secteur professionnel que des ONG de défense du bien-être des animaux sur le sujet en Europe.

En conclusion :

La filière piscicole française est une petite filière, en comparaison avec celles d'autres espèces animales et en comparaison avec les autres pays, et présente une variété de modes de production, de pratiques d'élevage, de transport et d'abattage. Cette variété est liée notamment à une grande diversité d'espèces élevées avec des milieux de vie spécifiques (en particulier différence eau douce/eau de mer).

La filière doit tenir compte des attentes sociétales croissantes relatives à la protection et au bien-être des poissons dans son évolution. En particulier, la diversité des modes et pratiques d'abattage gagnerait à être précisée et mieux cadrée d'un point de vue à la fois technique et règlementaire.

[14] Aucune bonne pratique n'est explicitée ou mise en avant dans ces recommandations, le CCA recommande notamment de « Consolider la base de connaissances et identifier les bonnes pratiques. » et d'établir « une plateforme par la Commission pour le partage continu des bonnes pratiques, à mesure qu'elles sont développées par le secteur, les experts et les autorités pertinentes »

1.2. Les aspects réglementaires et initiatives en faveur du bien-être des poissons

1.2.1. A l'échelle mondiale : les recommandations de l'Organisation Mondiale de Santé Animale (OMSA)

L'OMSA (anciennement OIE) est chargée d'établir des normes intergouvernementales de santé animale et, depuis la création de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) en 1995, est reconnue comme une référence de l'OMC dans la catégorie des mesures sanitaires.

En 2002, l'OMSA a élargi son mandat afin d'inclure le bien-être des animaux. Il convient de mentionner que les codes et les normes de l'OMSA font référence au niveau international mais qu'ils n'ont pas de caractère obligatoire.

Selon le Code terrestre de l'OMSA, « le bien-être des animaux désigne l'état physique et mental d'un animal par rapport aux conditions dans lesquelles il vit et meurt ». Les principes directeurs de l'OMSA (Code sanitaire pour les animaux terrestres) sur le bien-être des animaux mentionnent également les « Cinq Libertés », publiées en 1965 (Brambell, 1965) pour décrire le droit au bien-être des animaux sous contrôle humain. Selon ce concept, les besoins primaires d'un animal en matière de bien-être peuvent être satisfaits en garantissant :

- Absence de faim, de soif et de malnutrition,
- Absence de peur et de détresse,
- Absence de stress physique ou thermique,
- Absence de douleur, de lésion et de maladie, et
- Possibilité pour l'animal d'exprimer les comportements normaux de son espèce.

Concernant les animaux aquatiques, le Code aquatique n'est pas aussi développé sur le bien-être que pour les animaux terrestres, il comporte cependant un chapitre 7.2 sur le transport et un chapitre 7.3 sur l'abattage respectueux de la protection animale (OMSA, 2022).

Le chapitre 7.2 sur le bien-être des poissons d'élevage pendant le transport fournit des recommandations pour minimiser l'effet du transport sur le bien-être des poissons d'élevage et s'applique à leur transport par voie aérienne, maritime ou terrestre à l'intérieur d'un pays et entre les pays. Il comprend des sections sur les responsabilités, les compétences, la planification du transport, la documentation, le chargement, le transport et le déchargement des poissons et les activités de post-transport. Il mentionne clairement le fait qu'il doit exister des recommandations spécifiques aux espèces.

Le chapitre 7.3 sur les aspects liés à la protection des poissons d'élevage destinés à la consommation humaine lors de l'étourdissement et de la mise à mort fournit des recommandations, y compris concernant le transport et la détention immédiatement avant l'étourdissement. Les principes peuvent également être appliqués dans le cas de l'étourdissement et de la mise à mort à des fins de lutte contre les maladies. Il comprend des sections sur le personnel, le transport, la conception des installations de regroupement, le déchargement, le transfert et le chargement, les méthodes d'étourdissement et de mise à mort

avec un tableau récapitulatif des méthodes utilisées pour les poissons et leurs problèmes respectifs vis à vis de la protection animale (Tableau 6).

Tableau 6. Récapitulatif de certaines méthodes d'étourdissement et de mise à mort des poissons (méthodes mélange eau/glace et gaz non incluses) et de leurs inconvénients en matière de protection animale[15]. *Source : OMSA (2022)*

Procédé d'étourdissement ou de mise à mort	Méthode spécifique	Préoccupations et impératifs majeurs de protection animale	Avantages	Désavantages
Mécanique	Percussion	Le coup porté, au niveau du cerveau, doit être suffisamment puissant pour provoquer une perte de conscience immédiate. Les poissons doivent être retirés rapidement de l'eau, immobilisés et assommés à l'aide d'un objet contondant manuellement ou d'un pistolet à percussion automatique. L'efficacité de l'étourdissement doit être vérifiée, et les poissons doivent être de nouveau étourdis si nécessaire. La percussion peut être une méthode d'étourdissement ou de mise à mort.	Perte immédiate de conscience. Convient aux poissons de taille moyenne à grande.	Les mouvements désordonnés des poissons peuvent nuire à la manœuvre. L'étourdissement sera partiel si le coup porté est trop faible. Des blessures peuvent être ainsi causées aux animaux. L'étourdissement manuel ne peut être employé que pour un nombre limité de poissons de taille homogène.
	Décérébration à l'aide d'une pointe ou d'un emporte-pièce	La pointe doit être positionnée sur le crâne de façon à perforer le cerveau du poisson et à provoquer une perte de conscience immédiate. Les poissons doivent être rapidement retirés de l'eau, puis immobilisés afin d'insérer immédiatement la pointe dans le cerveau. Il s'agit d'une méthode d'étourdissement ou de mise à mort.	Perte immédiate de conscience. Convient aux poissons de taille moyenne à grande. Pour les petits thons, l'introduction de la pointe se fait sous l'eau afin d'éviter qu'ils soient exposés à l'air libre. L'existence d'un point mou (au niveau de la glande pinéale) entre les deux yeux du thon facilite la pénétration de la pointe chez cette espèce.	Le mauvais positionnement de la pointe peut engendrer des blessures. Cette méthode est difficile à utiliser lorsque les poissons sont agités. Elle n'est envisageable que pour un nombre limité de poissons.
	Tir à balle	Le cerveau doit être soigneusement visé avant de tirer. Les poissons doivent se trouver dans une position adéquate et la distance de tir doit être la plus courte possible. C'est une méthode d'étourdissement ou de mise à mort.	Perte immédiate de conscience. Convient aux poissons de grande taille (les grands thons par exemple).	La distance de tir et le calibre de l'arme doivent être adaptés. Le surpeuplement des bassins et le bruit des armes peuvent provoquer des réactions de stress chez les poissons. La contamination de l'aire de travail par le relargage de fluides corporels peut poser des problèmes de sécurité biologique. Cette méthode peut s'avérer dangereuse pour les opérateurs.
Électrique	Électrocution	Cette méthode consiste en l'application d'un courant électrique d'intensité, de fréquence et de durée suffisantes pour causer une perte de conscience immédiate chez les poissons. C'est une méthode d'étourdissement ou de mise à mort. L'équipement doit être conçu et entretenu d'une manière appropriée.	Perte immédiate de conscience. Convient aux poissons de taille petite à moyenne. Convient pour mettre à mort un grand nombre de poissons ; il n'est pas nécessaire de retirer les poissons de l'eau.	Cette méthode est difficile à standardiser. Les paramètres optimaux sont inconnus pour un certain nombre d'espèces. Cette méthode peut s'avérer dangereuse pour les opérateurs.
	Électrocution d'animaux non immergés (électro-narcose)	Les poissons doivent arriver tête la première afin de favoriser, en premier lieu, l'électrocution du cerveau. Cette méthode consiste en l'application d'un courant électrique d'intensité, de fréquence et de durée suffisantes pour causer une perte de conscience immédiate chez les poissons. L'équipement doit être conçu et entretenu d'une manière appropriée.	Permet de contrôler visuellement que l'étourdissement est total et offre la possibilité d'étourdir de nouveau et individuellement les poissons.	Le mauvais positionnement du poisson peut résulter en un étourdissement partiel. Les paramètres optimaux de réglage sont inconnus pour un certain nombre d'espèces. Cette méthode ne convient pas pour les lots de poissons de taille hétérogène.

[15] L'OMSA précise que « *les termes poissons de taille petite, moyenne ou grande doivent être interprétés en relation avec l'espèce considérée* ».
L'OMSA précise également que les méthodes « *refroidissement avec de la glace déposée dans l'eau d'hébergement* », « *exposition dans l'eau d'hébergement au dioxyde de carbone (CO2) (en milieu confiné)* », « *refroidissement avec de la glace et du CO2 déposés dans l'eau d'hébergement* », « *immersion dans des bains de sels ou d'ammoniaque* », « *asphyxie par retrait de l'eau* » et « *exsanguination sans étourdissement préalable* » sont également utilisées mais non évoquées dans ce tableau car elles s'avèrent peu respectueuses au regard de la protection des poissons et qu'il est préférable de ne pas les utiliser s'il est faisable d'employer une des méthodes listées dans ce tableau.

1.2.2. Règlementation Européenne au sujet du bien-être des animaux

Au niveau de l'Union Européenne, les animaux sont reconnus comme des êtres sensibles à l'Article 13 du Traité sur le Fonctionnement de l'Union Européenne (Conseil de l'Union européenne, 2007). A ce titre, dans la mise en œuvre de la politique de l'Union dans les domaines de l'agriculture, de la pêche, des transports, du marché intérieur, de la recherche et développement technologique et de l'espace, l'Union et les États membres doivent tenir pleinement compte des exigences en matière de bien-être des animaux.
Les poissons sont donc couverts par cette disposition, mais le droit européen ne les intègre pas de manière spécifique dans son cadre juridique. Une directive (98/58/CE) et deux règlements (CE 1/2005 et CE 1099/2009) constituent l'intégralité de la législation européenne associée au bien-être des poissons.

À l'Article 2 de la directive 98/58/CE du Conseil du 20 juillet 1998, il est indiqué que les poissons sont couverts par cette directive. L'Article 3 constitue le seul article qui s'applique aux poissons, et il stipule que *« les États membres prennent des dispositions pour veiller à ce que les propriétaires ou les détenteurs prennent toutes les mesures raisonnables pour assurer le bien-être des animaux dont ils ont la garde et pour s'assurer que ces animaux ne subissent aucune douleur, souffrance ou blessure inutile »* (Conseil de l'Union européenne, 1998). Les États membres avaient jusqu'au 31 décembre 1999 pour transposer cette Directive au niveau national.

Au niveau français, les textes de transposition applicables aux poissons sont les suivants :

- Arrêté du 30 mars 2000 modifiant l'arrêté du 25 octobre 1982 relatif à l'élevage, la garde et la détention des animaux
- Loi n°2001-6 du 4 janvier 2001 portant diverses dispositions d'adaptation au droit communautaire en matière de santé des animaux et de qualité sanitaire des denrées d'origine animale et modifiant le code rural

Le règlement du Conseil CE/1/2005 relatif à la protection des animaux pendant le transport et les opérations connexes s'applique à tous les vertébrés et par conséquent, il s'applique aux poissons. L'Article 3 énonce les conditions générales du transport des animaux avec le fait qu'aucun transport ne doit causer de blessures ou de souffrances aux animaux. L'Article 4 énumère les documents nécessaires au transport des animaux vivants et l'Article 5 stipule que le bien-être ne doit pas être compromis par un manque de coordination entre les différentes parties impliquées dans le transport ou par les conditions météorologiques. La partie 2.3 du chapitre V "Périmètre d'abreuvement et d'alimentation, temps de trajet et périodes de repos" précise *« Les espèces autres que celles visées au point 2.1. ou 2.2. doivent être transportées conformément aux instructions écrites relatives à l'alimentation et à l'abreuvement et en tenant compte des précautions particulières requises »* (Conseil de l'Union européenne, 2004). Pour les poissons, en l'absence de définition de ces "précautions particulières", ce sont les règles générales qui s'appliquent, c'est-à-dire l'alimentation et l'abreuvement.

Du fait du caractère inapplicable de ces exigences du règlement du Conseil CE/1/2005 pour les poissons (en effet, l'alimentation des poissons pendant le transport est contre-indiquée : l'excrétion (fèces, urine) qui en résulterait serait toxique pour les poissons du fait du non

renouvellement d'eau ; quant à l'abreuvement, il est sans objet pour les poissons), un projet de guide de bonnes pratiques de transport a été évoqué entre la profession et le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Des travaux ont eu lieu entre 2013 et 2015 et n'ont finalement pas abouti, notamment à cause de la grande diversité de modalités de transport et, par conséquent, de la difficulté à couvrir tous les modes de transport. En dépit de cela, la DGAL (Direction Générale de l'Alimentation) a établi le 14 décembre 2016 la note de service « DGAL/SDSPA/2016-955 » sur les règles applicables au transport de poissons vivants et de leurs produits sur le territoire national. Cette note de service s'applique à tous les mouvements y compris les rempoissonnements du milieu naturel, mais ne s'applique pas en cas de police sanitaire, d'échanges ou d'exportations. Ce qui laisse les perspectives ouvertes pour la poursuite des travaux sur le transport des poissons.

Le règlement CE n° 1099/2009 du Conseil relatif à la protection des animaux au moment de l'abattage couvre les points critiques de la vie des animaux terrestres d'élevage pendant le transport et l'abattage. Dans son premier Article (1.1), il stipule que seules les exigences énoncées à l'Article 3.1 s'appliquent aux exploitations piscicoles : "Toute douleur, détresse ou souffrance évitable est épargnée aux animaux lors de la mise à mort et des opérations annexes." Cette obligation à caractère général confirme la difficulté à édicter des règles en matière de bien-être et de protection spécifiques aux poissons, du fait d'un manque de connaissances sur le sujet et de la diversité des espèces concernées. Néanmoins, l'Article 27, paragraphe 1, du règlement précise que *«la Commission présente au Parlement européen et au Conseil un rapport sur la possibilité d'introduire certaines prescriptions relatives à la protection des poissons au moment de leur mise à mort, qui tiennent compte des aspects liés au bien-être des animaux ainsi que des incidences socioéconomiques et environnementales »* (Conseil de l'Union européenne, 2009b).

La Commission Européenne a ainsi publié un rapport au Parlement Européen et au Conseil en 2018 sur la possibilité d'introduire certaines prescriptions relatives à la protection des poissons au moment de leur mise à mort du fait du caractère très général du règlement CE 1099/2009. Elle conclut que, « *dans l'ensemble, les exigences générales du règlement (CE) 1099/2009 applicables au bien-être des poissons au moment de leur abattage ont contribué à l'élaboration d'un cadre en matière de législation nationale et d'orientations pour le bien-être des poissons d'élevage au sein de l'UE, en particulier pour le saumon d'Atlantique.*" Elle relève également que "*Le niveau de conformité avec les normes de l'OIE* (Organisation Mondiale de Santé Animale, ndlr) *relatives à l'abattage varie d'une espèce à l'autre. Pour le saumon d'Atlantique, les bonnes pratiques sont généralement appliquées, à quelques exceptions près, dans les pays étudiés. Pour la carpe commune et la truite arc-en-ciel, le niveau de conformité varie selon les méthodes utilisées. Pour le bar européen et la daurade royale, les normes de l'OIE ne sont pas respectées dans les pays étudiés. Les conclusions du rapport d'étude commandé indiquent également que l'ensemble du secteur améliore progressivement, mais de façon continue, le bien-être des poissons, ainsi qu'en témoignent le recours accru à des méthodes plus humaines comme l'étourdissement électrique, l'abandon progressif d'autres méthodes telles que l'étourdissement au CO_2, et l'adoption de normes privées.*" Ces constats permettent à la Commission de conclure de la façon suivante : *"À ce stade, la Commission estime que les éléments de preuve dont elle dispose suggèrent qu'il n'est pas opportun de proposer des*

exigences spécifiques en matière de protection des poissons au moment de leur mise à mort, compte tenu du fait que les objectifs du règlement peuvent également être atteints au moyen de mesures volontaires, comme le prouvent les améliorations introduites par le secteur ces dernières années. Il est par ailleurs important de signaler qu'il s'agit d'un secteur relativement nouveau et très diversifié par rapport à d'autres systèmes traditionnels de production d'animaux d'élevage, et que les technologies pour améliorer le bien-être des animaux sont en cours de progression. Au regard des évolutions actuelles, la Commission conclut que, si de nouvelles orientations s'avéraient nécessaires, il serait préférable de les mettre en œuvre au niveau des États membres. Quoi qu'il en soit, la Commission continuera de suivre les progrès réalisés dans ce domaine. » (Commission Européenne, 2018).

Il convient également de citer, dans le cas particulier du mode de production biologique, le règlement CE/710/2009 de la Commission qui établit des règles détaillées pour les animaux d'aquaculture et les algues et qui présente plusieurs paramètres spécifiques aux espèces à l'annexe XIIIa (Conseil de l'Union européenne, 2009a). La plupart de ces dispositions sont reprises dans la version consolidée du Règlement (UE) 2018/848 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques qui est entré en vigueur le 1er janvier 2022 (Union européenne, 2018).

1.2.3. Les recommandations de l'EFSA sur l'abattage des poissons d'aquaculture

La plupart des travaux de l'EFSA sont entrepris en réponse à des saisines de la Commission européenne, du Parlement européen et des États membres de l'UE.

Le Comité Scientifique de la Santé et du Bien-être Animal (AHAW), nommé par l'EFSA, a publié en 2008 deux évaluations d'experts sur les aspects du bien-être concernant différents systèmes d'élevage et stades de vie du saumon d'élevage, de la truite arc-en-ciel, de la carpe, de l'anguille, de la daurade et du bar (EFSA, 2008a, 2008e, 2008b, 2008d, 2008c). Celles-ci seront révisées au cours de la période 2027-2029 (Commission Européenne, 2021b).

En 2009, le groupe AHAW a également publié des évaluations d'experts sur les aspects de protection des poissons en contexte d'étourdissement et d'abattage pour le saumon d'élevage, la truite arc-en-ciel, le turbot, le thon, la carpe, l'anguille, la daurade et le bar (EFSA, 2009a, b, c, d, e, f, g). Les conclusions sont présentées ci-après.

Saumon

Méthodes évaluées : dioxyde de carbone (CO_2), mélange eau-glace, percussion, courant électrique, saignée.

L'EFSA conclut entre autres que le dioxyde de carbone et le mélange eau-glace sont les méthodes les plus à risque au regard de la protection des saumons, en particulier car :

- les hautes concentrations en CO_2 sont aversives pour les saumons et qu'il est de fait difficile de prescrire des conditions qui pourraient réduire leurs souffrances,
- le mélange eau-glace ne permet pas une perte de conscience immédiate.

La méthode au CO_2 a été évaluée comme présentant le plus grand risque pour les saumons.

A l'inverse, les méthodes les plus favorables à la protection des saumons semblent être les méthodes d'étourdissement et de mise à mort par percussion ainsi que certaines méthodes d'étourdissement électrique. L'EFSA précise néanmoins que les méthodes d'étourdissement et de mise à mort par courant électrique présentent des risques de manque d'efficacité notamment lorsqu'un trop faible voltage est appliqué.

Truite arc-en-ciel

Méthodes évaluées : percussion, courant électrique, dioxyde de carbone (CO_2), mélange eau-glace (décrit dans l'avis comme « asphyxie dans la glace »), asphyxie à l'air, saignée.

L'EFSA conclut entre autres que le dioxyde de carbone, le mélange eau-glace, et l'asphyxie à l'air sont les méthodes les plus néfastes au regard de la protection les truites.

A l'inverse, l'étourdissement mécanique et l'étourdissement électrique provoquent une perte de conscience immédiate des truites s'ils sont bien réalisés. Ces méthodes sont donc plus favorables à la protection des truites.

Bar et daurade

Méthodes évaluées (conditions commerciales) : asphyxie dans l'air, glace, mélange eau-glace.

L'EFSA conclut entre autres que les trois méthodes commerciales n'induisent pas de perte de conscience immédiate et maintiennent la conscience pendant une période de plusieurs minutes durant laquelle des signes de mal-être sont apparents (réponses physiologiques et comportementales). Les méthodes alternatives comme le dioxyde de carbone, l'exposition à l'azote et l'étourdissement électrique ne sont utilisées qu'expérimentalement (au moment de la parution du rapport). Parmi ces méthodes alternatives, seul l'étourdissement électrique peut induire une perte immédiate de conscience, la reprise étant évitée par le refroidissement immédiat des poissons.

Thon

Méthodes évaluées (conditions commerciales) : le tir sous-marin (lupara), le tir à la tête depuis la surface, et la décérébration manuelle. La taille du poisson et sa destination commerciale sont des facteurs clés dans les options d'abattage.

L'EFSA conclut entre autres que le tir sous-marin (lupara) cause moins de souffrances aux gros thons que le tir depuis la surface en raison d'un encombrement important et d'un pourcentage élevé de poissons devant être tués par un second tir. Pour les petits thons, la décérébration sous l'eau est la méthode la moins à risque au regard de la protection des poissons, bien qu'elle puisse être améliorée.

Turbot

Méthodes évaluées (conditions commerciales) : saignée, asphyxie sur glace.

L’EFSA conclut entre autres que les méthodes existantes de mise à mort du turbot (saignée et asphyxie sur la glace) impliquent des périodes prolongées de conscience au cours desquelles des réactions de stress ont été observées. Pour cette raison, ces méthodes constituent un risque considérable d’atteinte au bien-être des turbots. Au niveau expérimental, l'étourdissement électrique qui induit une perte de conscience immédiate suivi d'un refroidissement dans de l'eau glacée, a donné des résultats prometteurs pour la protection du turbot et la qualité de la viande.

Anguille

Méthodes évaluées (conditions commerciales) : sel, ammoniaque, mélange glace-sel, étourdissement électrique dans l’eau. Toutes ces méthodes sont suivies d’une éviscération.

L’EFSA conclut entre autres qu’actuellement, il n'existe pas de méthodes d'étourdissement disponibles dans le commerce qui induise une perte de conscience immédiate chez toutes les anguilles et qui se maintienne jusqu'à la mort. L’étourdissement électrique immédiatement suivi d'une méthode de mise à mort est la méthode disponible dans le commerce la moins à risque au regard de la protection des anguilles.

Carpe

Méthodes évaluées (conditions commerciales) : asphyxie suivie d’une percussion, étourdissement électrique dans l'eau, étourdissement par percussion. Toutes ces méthodes sont suivies d’une éviscération.

Selon l’EFSA, il est communément admis que la majorité des carpes sont vendues vivantes ou entières par des détaillants (supermarchés, vente au marché) ou à la ferme et que moins de 15% de carpes produites pour la consommation humaine sont transformées.

L’EFSA conclut néanmoins que parmi les méthodes évaluées :

- La méthode d’étourdissement électrique utilisée dans le commerce ne semble pas être compatible avec une perte de conscience instantanée des carpes, du fait de la durée d’application du courant électrique trop courte et d’un mauvais choix de paramètres électriques ;
- Des effets aversifs sont apparents chez les carpes avec la méthode d’asphyxie à l’air ;
- L’évaluation de risque montre que l’étourdissement par percussion sans asphyxie est la méthode impliquant le moins d’impacts négatifs sur les carpes, si elle est bien réalisée.

Le Tableau 7 récapitule les avantages et inconvénients des méthodes utilisées pour l’étourdissement et/ou la mise à mort des poissons par espèce, selon l’EFSA. Seules les méthodes indiquées comme non-expérimentales par l’EFSA et étudiées dans cette synthèse sont développées dans ce tableau.

Tableau 7. Présentation des méthodes utilisées pour l'étourdissement et/ou la mise à mort, et des avantages et inconvénients de celles-ci d'après l'EFSA[16].
Seules les méthodes indiquées comme non-expérimentales par l'EFSA et étudiées dans cette synthèse sont développées dans ce tableau. (Illustration originale du CNR BEA)

Méthode d'étourdissement ou de mise à mort	Espèce de poissons étudiée par l'Efsa	Avantages de la méthode pour la protection des poissons	Inconvénients de la méthode pour la protection des poissons	Source
Courant électrique : Application d'un courant électrique au travers du cerveau du poisson pour perturber l'activité neuronale et ainsi causer la perte de conscience.	Saumon Atlantique	- Inconscience provoquée en moins d'une seconde lorsque les paramètres électriques sont adéquats (pour des truites portions, un courant entre 3 et 6 V/cm doit être appliqué entre 30 et 60 sec)	- Exposition potentielle à des chocs préalables à l'étourdissement. - Efficacité de l'étourdissement dépendante des paramètres électriques utilisés et de la conductivité de l'eau. - Paralysie et étourdissement inefficace potentiels si des courants électriques de trop faible voltage sont utilisés. - Etourdissement réversible, impliquant l'utilisation d'une méthode de mise à mort juste après pour éviter que les poissons ne reprennent connaissance. - Pour les carpes : il semblerait que les paramètres électriques et les durées d'application utilisées ne sont pas compatibles avec une perte de conscience instantanée.	(EFSA, 2009) p.21-22 et p. 37-38
	Truite arc-en-ciel			(EFSA, 2009) p.30-31
	Anguille			(EFSA, 2009) p.25-26
	Carpe			(EFSA, 2009) p10-12 et p.22-23
Percussion : Frappe de la tête du poisson avec un objet avec une force suffisante pour causer une hémorragie dans le cerveau	Saumon	- Inconscience et mort provoquées instantanément lorsque le coup est correctement appliqué. - Méthodes globalement robustes en termes de protection des poissons.	- Potentielle paralysie avant la perte de conscience. - Application correcte du coup difficile (liée aux calibres de poissons variables pour les systèmes automatiques et à la contention des poissons pour les systèmes manuels) menant potentiellement à un étourdissement inefficace ou réversible. - Maintien des poissons hors de l'eau.	(EFSA, 2009) p.21 et p. 37-38
	Truite arc-en-ciel			(EFSA, 2009) p.14-15 et p.30-31
	Carpe			(EFSA, 2009) p.22-23
CO2 : Immersion des poissons dans un bac rempli d'eau saturée en CO_2.	Saumon Atlantique		L'EFSA indique que **cette méthode ne devrait pas être utilisée pour étourdir et mettre à mort** toutes espèces de poissons. - Perte de conscience lente (environ 6 minutes pour le saumon et plus de 4 minutes pour la truite). - Aversif pour les poissons (les réactions aversives durent parfois jusqu'à 4 minutes pour le saumon et plus de 3 minutes pour la truite).	(EFSA, 2009) p. 18-19 et p. 37-38
	Truite arc-en-ciel			(EFSA, 2009) p.16-17 et p.30-31

[16] Les avantages et inconvénients pratiques relatifs aux méthodes étudiées par l'EFSA ne sont pas inclus dans ce tableau qui se focalise sur les aspects de protection animale.

Méthode d'étourdissement ou de mise à mort	Espèce de poissons étudiée par l'Efsa	Avantages de la méthode pour la protection des poissons	Inconvénients de la méthode pour la protection des poissons	Source
			- Hypoxie des poissons liée au fait que l'eau n'est pas changée entre 2 lots. - Hémorragie des branchies, perte de mucus, activité métabolique élevée et stress. - Potentielle paralysie avant la perte de conscience.	
Mélange eau/glace : Immersion des poissons dans un bac rempli d'eau glacée.	Saumon Atlantique		L'EFSA indique que **cette méthode ne devrait pas être utilisée pour étourdir et mettre à mort** les saumons Atlantique. - Perte de conscience lente (5 minutes en moyenne pour la daurade). - Mort lente (20 à 35 minutes pour la daurade et 18 à 35 minutes pour le bar). - Aversif pour les poissons (les réactions aversives durent parfois jusqu'à 4 minutes pour le saumon, le bar et la daurade).	(EFSA, 2009) p. 19-20 et p. 37-38
	Truite arc-en-ciel			(EFSA, 2009) p.17 et p.30-31
	Bar			(EFSA, 2009) p.17-18
	Daurade			(EFSA, 2009) p.17-18
Asphyxie à l'air : Retrait des poissons de l'eau pour les laisser mourir à l'air libre.	Truite arc-en-ciel		L'EFSA indique que **cette méthode ne devrait pas être utilisée pour étourdir et mettre à mort** toutes espèces de poissons. - Mort lente (jusqu'à 128 minutes pour le bar et 4 heures pour le turbot). - Extrêmement aversif pour les poissons.	(EFSA, 2009) p.22 et p.30
	Bar			(EFSA, 2009) p.15-16
	Daurade			(EFSA, 2009) p.15-16
	Turbot			(EFSA, 2009) p.13 et p.20
Saignée : Coupe des artères branchiales des poissons.	Saumon Atlantique	- Lorsqu'elle suit une méthode d'étourdissement, la saignée empêche les poissons d'être à nouveau conscients.	L'EFSA indique que **cette méthode ne devrait pas être utilisée sans étourdissement préalable** pour toutes espèces de poissons. - Mort lente si elle ne suit pas une méthode d'étourdissement - Aversif pour les poissons si elle ne suit pas une méthode d'étourdissement	(EFSA, 2009) p. 23-24 et p. 37-38
	Truite arc-en-ciel			(EFSA, 2009) p.17
	Turbot			(EFSA, 2009) p.13 et p.20
Décérébration : Le cerveau du poisson est transpercé manuellement avec un outil tranchant.	Thon	- Inconscience provoquée en moins d'une seconde lorsque le geste est bien réalisé	- Etourdissement inefficace si le geste est mal réalisé. - Aversif pour les poisons s'ils sont saignés avant la destruction du cerveau.	(EFSA, 2009) p.13-15 et p.22

1.2.4. Le bien-être des poissons dans l'aquaculture : une nouvelle priorité pour la Commission européenne

La Commission européenne, dans le cadre de sa Stratégie « De la Ferme à la Fourchette », s'est engagée à réviser la réglementation en matière de bien-être des animaux et à envisager différents scénarios d'étiquetage.

Afin d'alimenter sa réflexion, elle a lancé plusieurs chantiers notamment celui d'un « fitness check » de la règlementation européenne actuelle sur le bien-être des animaux à la ferme, pendant le transport et à l'abattage. Ce travail a été publié en octobre 2022 et avait pour principal objectif d'« évaluer si les règles en vigueur sont toujours adaptées à leur objectif, en particulier dans quelle mesure elles sont pertinentes, efficientes, efficaces, cohérentes et ont une valeur ajoutée de l'UE ». Pour cela, la Commission européenne s'est basée sur :

- des « recherches documentaires approfondies » (dont législation de l'UE, documents de travail des services de la Commission européenne, articles scientifiques et thèses universitaires évalués par les pairs, études statistiques, données brutes fournies par les Etat Membres),
- des « enquêtes de terrain » sous forme notamment d'une consultation ciblée de parties prenantes et d'une consultation publique
- une « étude externe pour l'analyse coûts-avantages de la législation actuelle de l'UE sur le BEA».

Ce fitness check conclut notamment que, bien que la législation européenne sur le bien-être des animaux ait permis « l'amélioration du bien-être de beaucoup d'animaux en Europe », celle-ci « n'est pas totalement apte à répondre aux besoins actuels et futurs » car « les règles actuelles ne tiennent pas pleinement compte des attentes croissantes de la société et des préoccupations éthiques, des évolutions scientifiques et technologiques et des défis futurs en matière de durabilité. ». En effet, les poissons d'élevage sont cités parmi les espèces dont le bien-être dans l'UE « n'a toujours atteint un niveau optimal », en particulier car ils ne font pas l'objet d'une directive ciblée (Commission européenne, 2022).

Étant donné que la révision de la législation européenne sur le bien-être des animaux a notamment pour objectif d'élargir le champ d'application des exigences de l'UE en accord avec les dernières connaissances scientifiques, la Commission européenne a publié une feuille de route listant les futurs mandats pour l'EFSA à délivrer entre 2022 et 2030. D'après cette feuille de route, l'EFSA publiera entre 2027 et 2029 six rapports sur le bien-être de différentes espèces de poissons de pisciculture : saumon et truite (juin 2026), carpe (juin 2027), bar (juin 2028), daurade (juin 2028), anguille (juin 2028), et thon (décembre 2029). Ces rapports ne prendront néanmoins pas en considération les pratiques liées à l'abattage (Commission européenne, 2021b).

La Commission européenne a également créé en 2017 une plate-forme européenne sur le bien-être des animaux constituant un réseau interactif d'experts pour l'assister sur les questions directement liées au bien-être des animaux et promouvoir le dialogue entre les parties prenantes.

Enfin, la Commission européenne a publié le 12 mai 2021 sa nouvelle stratégie 2021-2030 pour l'aquaculture. Alors que la notion de bien-être des animaux n'était pas mentionnée dans la stratégie précédente, une section entière (section 2.2.2) y est désormais consacrée. Les orientations stratégiques pour une aquaculture plus durable et compétitive dans l'Union européenne pour la période 2021-2030 serviront à orienter les subventions en provenance du Fonds Européen pour les Affaires Maritimes, la Pêche et l'Aquaculture (FEAMPA). La section sur le bien-être des poissons comprend les axes suivants :

- « la mise au point de bonnes pratiques en matière de bien-être des poissons durant l'élevage, le transport et la mise à mort »,
- « la définition d'indicateurs communs, validés, spécifiques aux espèces et contrôlables en matière de bien-être des poissons tout au long de la chaîne de production (y compris en ce qui concerne le transport et l'abattage) »,
- « la poursuite de la recherche et de l'innovation, en particulier sur les paramètres de bien-être propres à chaque espèce, y compris les besoins nutritionnels dans les différents systèmes d'élevage »,
- « l'apport de connaissances et de compétences en matière de bien-être des poissons aux aquaculteurs et aux autres opérateurs qui s'occupent de poissons d'élevage vivants ». (Commission européenne, 2021a)

1.2.5. Spécificités réglementaires et initiatives françaises pour le bien-être des poissons

A l'échelle de la législation française, l'Article 515-14 du Code Civil indique que « les animaux sont des êtres vivants doués de sensibilité. ». Néanmoins, la protection des poissons est peu réglementée à l'échelle française et repose davantage sur les initiatives des filières.

Dès 2018, le CIPA a étoffé et réactivé le groupe de travail « référents bien-être » dédié aux échanges et réflexions sur le bien-être des poissons. Afin d'aller plus loin dans la compréhension des critères de bien-être, le CIPA s'est rapproché de partenaires scientifiques et techniques, afin de faire état des connaissances sur le bien-être des espèces de poissons élevées en France et sur les travaux en cours, établir des priorités de travaux et faire émerger des projets autour de ces priorités en bien-être des poissons. Depuis 2019, la plateforme « Bien-être des poissons » réunit, à l'initiative du CIPA et du CNR BEA, AgroParisTech, l'ANSES, la DGAL, la DGAMPA, l'IFREMER, INRAE, l'ITAVI, ONIRIS, la SNGTV et le SYSAAF. Les priorités de la filière piscicole française en matière de bien-être des poissons sont les suivantes :

- L'identification des indicateurs de bien-être des poissons d'élevage par espèce et par système d'élevage,
- La caractérisation des liens entre la densité d'élevage et le bien-être des poissons[17],

[17] La densité ayant été utilisée par défaut (faute d'indicateurs opérationnels) comme un critère de bien-être, notamment dans les cahiers des charges de production (signes d'identification de la qualité et de l'origine, enseignes

- L’amélioration des conditions et méthodes d’abattage pour garantir la protection des poissons.

L’objectif de la création de la plateforme bien-être des poissons est d’établir des ponts entre l’approche des éleveurs sur cette problématique et les connaissances récentes acquises par la communauté scientifique.

Par ailleurs, la profession piscicole française a mis en place un cahier des charges unique de production (« Charte Qualité – Aquaculture de nos Régions® »), dont les exigences sont vérifiées par un organisme tiers dans les élevages et les ateliers de transformation et de conditionnement. Il couvre 70% des volumes de production destinés à la consommation. Le cahier des charges comporte des obligations de moyens basées sur les 4 grands principes de bien-être des animaux (bonne santé, bonne alimentation, bon environnement et respect du comportement spécifique de l’espèce) qui caractérisent les besoins des poissons à satisfaire pour maximiser leur bien-être :

- Maîtrise de l'hygiène, application du guide de bonnes pratiques sanitaires en élevages piscicoles
- Adaptation de l'élevage à la quantité d'eau disponible, densités maximales
- Suivi de la qualité de l'eau, du nombre et du poids des poissons, de la croissance et des mortalités (enlèvement quotidien des morts)
- Installations et équipements conçus pour favoriser le bien-être et limiter le stress des poissons
- Constitution de lots homogènes en taille
- Manipulations limitées à celles strictement indispensables
- Prévention de la prédation par les animaux sauvages
- Adaptation et suivi de l'alimentation
- Encadrement du jeûne avant transport et/ou abattage

Faute d’indicateurs de bien-être opérationnels disponibles (en cours de développement dans le cadre de travaux profession-recherche issus de la plateforme « bien-être des poissons »), ces obligations de moyens permettent a priori d’assurer aux poissons de bonnes conditions d’élevage.

Enfin, l’agrément sanitaire des ateliers de conditionnement et de transformation couvre l’abattage. Les contrôles afférents par les DDPP (Direction Départementale de la Protection des Populations) ont vocation, notamment, à évaluer les méthodes d’abattage à la fois au niveau sanitaire, mais également du point de vue de la protection animale.

de la distribution). Les professionnels de la pisciculture française souhaitent disposer, au vu des publications scientifiques sur le sujet, des éléments caractérisant les liens entre la densité d'élevage et le bien-être des poissons.

En conclusion :

La réglementation en matière de bien-être des animaux est souvent peu adaptée aux poissons et non spécifique. Cela s'explique entre autres par la diversité des espèces élevées, par le manque de connaissances sur leurs sensibilités spécifiques, et par l'intérêt relativement récent du consommateur pour la prise en compte de leur bien-être.

Dans la perspective de la modification prochaine de la réglementation européenne, il est indispensable de disposer de connaissances scientifiques précises sur la sensibilité et les besoins physiologiques et comportementaux des poissons afin de proposer des pratiques adaptées pour une protection optimale des espèces aquatiques.

2. Sensibilités sensorielle et émotionnelle des poissons

La réglementation européenne et, par voie de conséquence, le droit français, reposent sur la reconnaissance de la « sensibilité des poissons », traduction de l'expression anglaise "animal sentience". Comme pour les autres espèces animales définies comme des êtres vivants doués de sensibilité, la sensibilité se décline scientifiquement en deux dimensions, une dimension purement sensorielle et une dimension psychologique, qui sont toutes les deux à prendre en compte pour développer des procédures d'abattage respectueuses de la sensibilité des poissons. Les Téléostéens, famille de poissons à nageoires rayonnées, représentent 99,8% des espèces de poissons et regroupent donc la quasi-totalité des espèces de poissons élevées en France (Figure 7). Ainsi, dans cette synthèse, l'univers sensoriel et émotionnel des poissons est décrit principalement chez les Téléostéens.

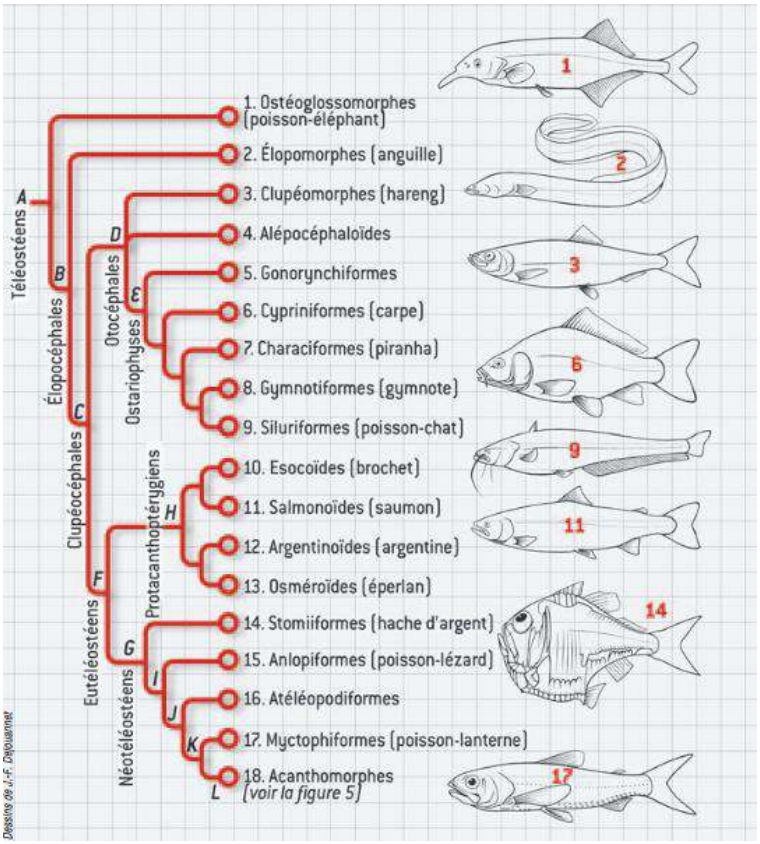


Figure 7. Classification phylogénétique de la famille des Téléostéens *(Lapert, 2010)*

2.1. Dimension sensorielle de la sensibilité

Les poissons ont un système sensoriel particulièrement élaboré par rapport à celui des vertébrés terrestres. Ils sont dotés de six sens : la vue, l'odorat, le goût, l'ouïe, le toucher, et sont également dotés d'un organe mécano-sensoriel, la ligne latérale, qui leur permet de percevoir les vibrations dans l'eau et les changements de pression. Certaines espèces peuvent aussi émettre et percevoir des champs électriques. Par ailleurs, les poissons sont poïkilothermes (leur température corporelle est identique à celle de l'eau environnante) ce qui confère à ces animaux

une grande sensibilité aux changements de température. Leurs capacités sensorielles interviennent dans leurs prises de décision comportementale et dans la communication avec les congénères. Elles peuvent fortement varier selon les espèces de poissons, et donc moduler différemment leurs réactions aux pratiques réalisées lors de l'abattage. Il est donc indispensable de tenir compte des capacités sensorielles propres à chaque espèce pour tenter de comprendre la manière dont un poisson perçoit et interprète les différents événements associés à une pratique d'abattage.

2.1.1. Vision

Le fonctionnement de l'œil des poissons est assez similaire à celui de la plupart des vertébrés : la lumière passe à travers la cornée et est dirigée vers la rétine par le cristallin. Contrairement à celui des mammifères qui est ovale, le cristallin des poissons est sphérique ce qui les empêche de voir correctement de loin mais leur permet de bien percevoir les formes à proximité d'eux. Pour la majorité des espèces, l'accommodation de l'œil pour la vision à distance peut se faire grâce à des ligaments et des muscles rétracteurs qui tirent le cristallin vers la rétine (Figure 8a). La rétine est dotée de cellules photoréceptrices (les bâtonnets) grâce auxquelles les poissons perçoivent des lumières de faible intensité et des cônes également présents sur la rétine leur permettent de distinguer les couleurs (Figure 8b). Grâce à la densité des cônes, de nombreuses espèces de poissons sont sensibles aux ultra-violets, dont les salmonidés. Les photorécepteurs sont associés à des neurones intra-rétiniens et à des cellules ganglionnaires dont les axones quittent la rétine par le nerf optique et projettent vers le tectum optique, la région cérébrale impliquée dans le système visuel (Montgomery & Carton, 2008). La morphologie de l'œil et le circuit impliqué dans la perception lumineuse peuvent cependant varier selon la luminosité de l'environnement dans lequel les différentes espèces évoluent. En général, les espèces vivant en profondeur possèdent un œil de plus gros diamètre que les poissons de surface (Montgomery & Macdonald, 1998). Contrairement aux mammifères, la plupart des espèces de poissons ne modifient pas le diamètre de leur pupille en fonction des variations d'intensité lumineuse, mais une réponse rétino-motrice entraîne des changements morphologiques et des migrations de pigments au niveau des photorécepteurs. Par ailleurs, l'œil du poisson est dépourvu de paupières (à l'exception de certaines espèces de requins) ce qui le rend particulièrement sensible aux changements brusques de luminosité.

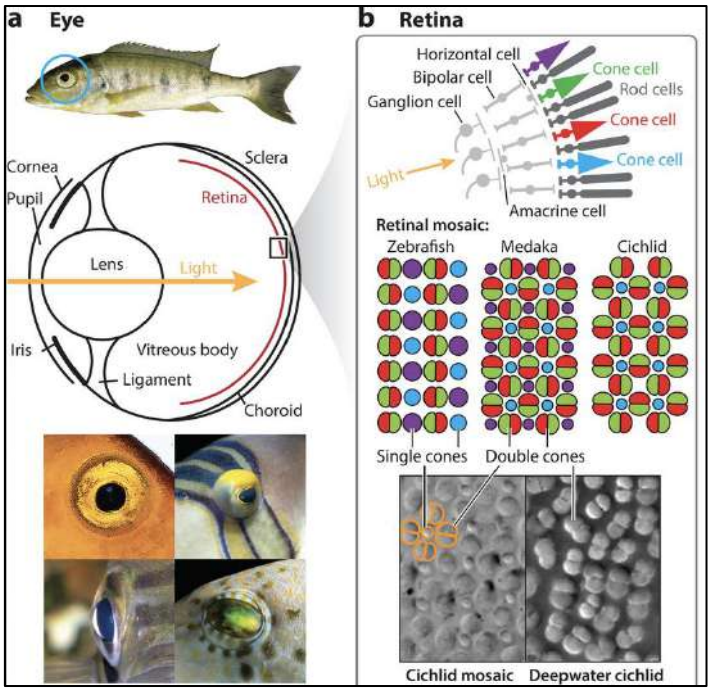


Figure 8. Le système sensoriel visuel des poissons téléostéens. *Source : Musilova et al., 2021. (a) L'œil des poissons téléostéens contient un cristallin (Lens) sphérique. (b) La rétine est dotée de cellules photoréceptrices : les bâtonnets (Rod cells) et les cônes (Cone cells) qui peuvent être simples ou doubles selon les espèces.*

2.1.2. Olfaction

Chez les Téléostéens, l'organe olfactif est situé sur la partie dorsale de la tête. Il est constitué d'une cavité connectée au milieu extérieur par deux ouvertures (narines antérieure et postérieure), ce qui dirige le flux de l'eau à l'intérieur de l'organe quand le poisson nage. La cavité olfactive est composée de lamelles, elles-mêmes composées d'un épithélium. Les neurones récepteurs olfactifs (ORNs) sont situés dans cet épithélium et leurs axones projettent directement vers les synapses du bulbe olfactif, qui projettent vers les régions olfactives du cerveau antérieur. Cinq principales classes de composés chimiques non volatiles sont détectés par le sens olfactif des poissons téléostéens : les acides aminés, les stéroïdes gonadaux, les acides biliaires, les prostaglandines (Laberge & Hara, 2001) et les polyamines (Rolen et al., 2003). La perception de ces composés odorants par les poissons influence leur comportement alimentaire, celui de reproduction, de migration, les comportements sociaux et l'évitement des prédateurs.

2.1.3. Gustation

Chez la majorité des espèces de poissons, le sens du goût se décompose en deux sous-modalités : les bourgeons gustatifs et les cellules chimio sensorielles solitaires. Les bourgeons gustatifs font partie des organes sensoriels d'origine épidermique, qui répondent à une variété de composés chimiques ainsi qu'à des stimulations tactiles (Barlow & Northcutt, 1997). En général, les bourgeons gustatifs sont présents dans la cavité oropharyngée mais chez certains

groupes tels que les silures, on les retrouve également sur l'ensemble du corps. Les bourgeons gustatifs oropharyngés sont surtout innervés par le nerf vague qui se projette au niveau du lobe vagal dans le cerveau postérieur. Les bourgeons gustatifs externes sont innervés par le nerf facial. Les principaux composés chimiques détectés sont les acides aminés, les acides carboxyliques, les nucléotides et les sels biliaires. Une sensibilité gustative au CO_2, H^+ et aux toxines marines a aussi été rapportée (Hara, 1994). Contrairement aux bourgeons gustatifs, les cellules chimio sensorielles solitaires ne sont pas sensibles à des stimulations tactiles. On les retrouve partout sur la surface du corps du poisson et elles sont innervées par le nerf facial ou les nerfs spinaux. Des clusters de cellules chimio sensorielles solitaires ont été identifiés sur les rayons des nageoires dorsales et pectorales et ils répondent essentiellement à des composés chimiques de type acides biliaires.

2.1.4. Audition

Les sons se propagent trois fois plus rapidement dans l'eau que dans l'air. Le sens auditif principal des poissons est l'ouïe otolithique (Montgomery & Carton, 2008). Les otolithes présents dans l'oreille interne sont très denses et forment un accéléromètre qui détecte les mouvements du poisson dans le champ sonore. Chez la plupart des espèces, le sacculus est spécialisé dans la détection des sons grâce à des ensembles de cellules ciliées qui détectent les mouvements relatifs entre le poisson et les deux otolithes sacculaires. Les différentes orientations de ces populations de cellules ciliées permettent au poisson de déterminer la provenance de la vibration sonore dans un environnement tridimensionnel. Parallèlement, la vessie natatoire joue un rôle dans le système auditif car elle permet mécaniquement la détection de variations de pression et communique avec l'oreille interne. Elle sert donc de caisse de résonance aux vibrations sonores ce qui permet d'amplifier les sons. La plupart des espèces de poissons peuvent détecter des sons de très basses fréquences (infra-son) jusqu'à des fréquences allant de 500 à 800 Hz. Les espèces dont le système auditif est le plus développé peuvent entendre les ultrasons (> 2kHz) (Montgomery & Carton, 2008). Certaines espèces (maigre, rouget grondin) ont également la capacité d'émettre des sons pour la communication intra-spécifique, en faisant vibrer les muscles situés contre la vessie natatoire, ou la vessie natatoire elle-même, ou par de multiples mécanismes de stridulation.

2.1.5. Toucher

Des récepteurs sensoriels cutanés associés à myriade de terminaisons nerveuses situées sur la peau de l'ensemble du corps, particulièrement autour de la bouche, confèrent aux poissons le sens du toucher, mais également un sens précis de détection de la température et de la salinité de l'eau.

Une sensibilité particulière à la température

Les poissons sont des animaux poïkilothermes, c'est-à-dire que leur température corporelle est identique (± 0,1-1°C) à celle du milieu où ils évoluent, ce qui les rend extrêmement sensibles à tout changement thermique (Quigley & Hinch, 2006). Ils peuvent détecter des variations de la

température ambiante inférieures à 0,05°C. Toutes espèces confondues, les poissons ont la capacité de s'adapter à une large gamme de températures allant de 0 à 40°C. La sensibilité thermique d'un poisson se résume souvent à une courbe de tolérance (létalité, maintien de l'équilibre, sensibilité au toucher) et de performance (fécondité, croissance, niveau métabolique, performances de nage). Pour chaque espèce, il existe (i) une température optimale pour les performances, (ii) une fenêtre thermique qui définit la gamme de températures au-delà desquelles les performances atteignent leurs limites spécifiques, et (iii) les températures maximales et minimales tolérées pour la survie à court terme de l'individu (Schulte, 2011). Chez les poissons des mers chaudes, un choc thermique froid (7 à 14°C en-dessous de la température habituelle) provoque un stress physiologique, une diminution des performances métaboliques et conduit à une réduction des capacités natatoires ("cold coma"), pouvant aller jusqu'à la mort de l'individu. Cette perturbation est d'autant plus forte que la baisse de température est rapide et importante (Szekeres et al., 2014). Chez la plupart des poissons téléostéens, les récepteurs à la température se situent au niveau de la ligne latérale, mais les poissons cartilagineux possèdent un organe spécialisé, les ampoules de Lorenzini, qui leur permettent de détecter des gradients de température, ainsi que des champs électromagnétiques.

Une sensibilité à la salinité de l'eau

Les poissons marins sont sensibles à la concentration de sels présents dans leur environnement et peuvent détecter des niveaux de salinité aussi faibles que 0,5 ppm. Ils possèdent des récepteurs à calcium qui détectent les variations de densité de cations présents dans l'eau. Ces récepteurs leur permettent de détecter des changements de concentrations en Ca^{2+} mais aussi en Mg^{2+} et Na^{+}.

La ligne latérale : le sens du toucher à distance

La ligne latérale est un organe mécano-sensoriel formé de canaux munis de récepteurs qui détectent les variations de pression, les courants, les vibrations, les mouvements et les obstacles situés à proximité du poisson. Visibles chez la plupart des espèces, deux lignes s'étendent de chaque côté du corps entre l'opercule et la nageoire caudale. L'eau pénètre dans les canaux par de multiples pores situés le long de la ligne qui débouchent sur des récepteurs sensoriels, les neuromastes du canal (Figure 9a, c), formés de cellules ciliées qui communiquent avec le cerveau par le nerf latéral. Des neuromastes superficiels existent également et sont répartis sur le corps du poisson (Figure 9a, b). Les neuromastes sont surmontés d'une cupule, structure gélatineuse qui sert d'interface biomécanique entre les cellules ciliées et l'eau du milieu environnant. L'approche d'un objet crée des mouvements d'eau qui courbent la cupule et les cils des cellules provoquant l'envoi d'un influx nerveux au cerveau via les neurones afférents qui composent les nerfs de la ligne latérale, ce qui permet au poisson une réponse motrice quasi-instantanée. C'est grâce à la ligne latérale que certaines espèces forment des bancs coordonnés de poissons qui se déplacent rapidement sans se percuter. Les cellules ciliées des neuromastes sont similaires aux cellules ciliées de l'oreille interne, ce qui indique que la ligne latérale et l'oreille interne partagent une origine et une fonction communes, même si la ligne latérale est davantage un détecteur proximal d'obstacles et de mouvements (détection à une distance inférieure à une longueur de poisson).

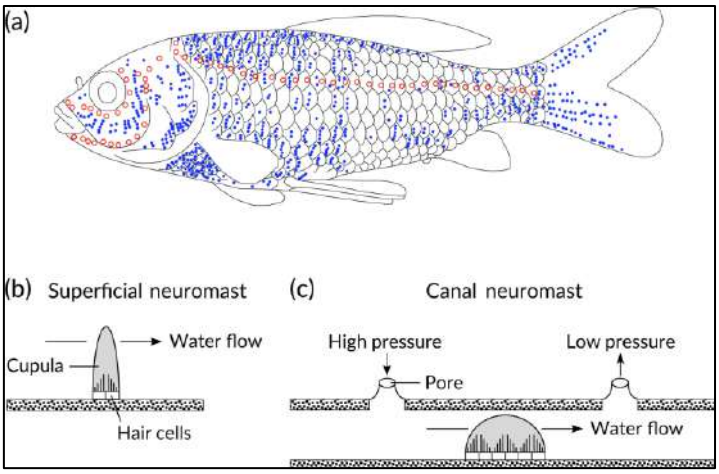


Figure 9. (a) Répartition des neuromastes chez un téléostéen, *Carassius auratus*, et représentations (b) d'un neuromaste superficiel, et (c) d'un neuromaste du canal. *Source : Mogdans, 2019 ; ●, neuromastes superficiels ; ○, pores débouchant sur les neuromastes du canal qui se prolonge le long de la ligne latérale. Les neuromastes superficiels sont stimulés directement à la surface du poisson par le flux d'eau, alors que les neuromastes du canal sont sensibles à la différence de pression générée par les flux d'eau entre les pores.*

2.1.6. Génération et perception d'un champ électrique

Tous les poissons génèrent un faible champ électrique du fait des échanges d'ions entre leur organisme et leur environnement, mais tous ne sont pas capables de les percevoir. Les poissons électriques (quelques centaines de millivolts/cm) possèdent un organe électrique qui génère des décharges commandées par le système électromoteur situé dans le tronc cérébral (Caputi et al., 2005) et qui leur permet d'émettre un faible champ électrique grâce auquel ils perçoivent la présence d'obstacles ou d'animaux qui le franchissent. Cette électro-réception dite active, et dont sont doués certains groupes de poissons (les Siluriformes, quelques Ostéoglossiformes et les Gymnotiformes, Figure 7), leur sert de source d'information pour se localiser dans l'environnement et détecter des proies. Certains sont capables d'émettre des champs électriques beaucoup plus puissants (quelques centaines de volts/cm) utilisés pour la prédation, la défense, voire la communication, et qui peuvent, dans certains cas, étourdir une proie (Caputi et al., 2005). D'autres familles de poissons (les esturgeons et les poissons cartilagineux, n'appartenant pas à la famille des Téléostéens) utilisent l'électro-réception passive qui permet à l'animal de détecter les champs électriques émis par une proie, grâce à des récepteurs comme les ampoules de Lorenzini. La perception du champ électrique semblerait se limiter à un environnement proche, i.e. moins de la longueur du corps du poisson (Montgomery & Carton, 2008).

2.2. Dimension psychologique de la sensibilité

La dimension psychologique de la sensibilité traduit la capacité d'un individu à ressentir des émotions. Une émotion est une réaction affective intense, fugace, en réponse à une situation sollicitante. Comme pour les vertébrés terrestres, l'émotion ressentie par un poisson dépend de la manière dont il évalue la situation sollicitante ; son émotion n'est pas directement mesurable, elle ne peut être qu'inférée à partir de ses réactions comportementales et physiologiques en

prenant en compte la situation à laquelle l'animal est exposé (Boissy et al., 2007). Parmi la diversité des émotions identifiées chez les mammifères (peur, anxiété, frustration, plaisir…), la peur, l'anxiété et la douleur ont été décrites chez plusieurs espèces de poissons. D'après la règlementation européenne, tous les vertébrés, y compris les poissons d'élevage, sont considérés comme des êtres vivants doués de sensibilité (Traité de Lisbonne, 2007) et cela est retranscrit en France dans le Code civil depuis 2015 par l'introduction de l'Article 515-14[18].

Les études portant sur la protection des poissons au moment de l'abattage ont commencé beaucoup plus tard que pour les animaux terrestres (Terlouw et al., 2008). Aujourd'hui on dispose d'études basées sur des preuves neuro-anatomiques et des expressions comportementales, suggèrant que, comme les mammifères et les oiseaux, les poissons ressentent la douleur et le stress (cf. 2.2.3, 2.2.4). En outre, des études neurobiologiques ont permis d'identifier dans le télencéphale des poissons des strucutres cérébrales homologues de l'amygdale et de l'hippocampe, structures impliquées dans les émotions chez les mammifères. De plus, des neurotransmetteurs associés aux émotions chez les humains, tels que la dopamine, la sérotonine ou l'isotocine (l'homologue de l'ocytocine chez les mammifères), ont également été identifiés chez les poissons (Thompson & Walton, 2004; Winberg & Nilsson, 1993). Cependant, d'autres chercheurs soutiennent que les poissons sont incapables de ressentir la douleur ou de souffrir car ils ne posséderaient pas de structures corticales cérébrales homologues à celles impliquées dans la perception et la conscience de la douleur chez les mammifères (mais voir 2.2.3 et 2.2.4) et que les résultats des études menées pour caractériser la douleur chez les poissons manquent de réplicabilité (Diggles et al., 2023; Rose, 2007).

2.2.1. Peur

La peur est une émotion fondamentale pour la survie de l'individu et entraîne des comportements adaptatifs qui protègent les animaux de menaces éventuelles. Certaines réponses comportementales suite à des stimuli menaçants (chute soudaine d'un objet, présence d'un objet nouveau, prédation) ont été décrites chez les poissons (Tableau 8). Ces réponses se manifestent également lors d'un stimulus conditionnel préalablement associé à la survenue d'une menace, indiquant qu'elles ne sont pas de simples réflexes mais que des processus cognitifs sont impliqués telle que l'anticipation ou la prévision. Par exemple, la truite arc-en-ciel et le saumon Atlantique fuient vers un autre compartiment à l'apparition d'un signal lumineux associé à une chasse à l'épuisette dans le compartiment qu'ils occupaient, exprimant ainsi une peur conditionnée (Yue et al., 2004). De plus, suite à une ablation du pallium médial et du pallium latéral situés dans le télencéphale, les poissons rouges montrent une altération des réponses de peur conditionnée (Portavella et al., 2004). Cela indique l'implication du système nerveux central dans les manifestations de peur chez les poissons pour lesquels cette émotion a été étudiée expérimentalement.

[18] « Les animaux sont des êtres vivants doués de sensibilité. Sous réserve des lois qui les protègent, les animaux sont soumis au régime des biens. »

Tableau 8. Indicateurs physiologiques et comportementaux de la peur chez les poissons *(Illustration originale du CNR BEA)*

	Espèces	Indicateurs	Références
Physiologiques	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	↑ ventilation (battements opercules)	Sneddon, 2003a
	Poisson-zèbre (*Danio rerio*)	↑ ventilation (battements opercules)	Synthétisé dans Kalueff et al., 2013
	Poisson-zèbre (*Danio rerio*)	Changement de couleur	Synthétisé dans Kalueff et al., 2013
Comportementaux			
Réponses spontanées	Bar (*Dicentrarchus labrax L.*)	↑ vitesse maximale (fuite) puis ↓ activité natatoire	Millot et al., 2009
	Poisson-zèbre (*Danio rerio*)	Immobilisation (freezing)	Synthétisé dans Kalueff et al., 2013
	Poisson-zèbre (*Danio rerio*)	↑ nage erratique (zig-zagging)	Synthétisé dans Kalueff et al., 2013
	Poisson-zèbre (Danio rerio) adulte, poisson rouge (*Carassius auratus*), guppies (*Poecilia reticulata*) et tilapia (*Oreochromis niloticus*)	Scototaxie (préférence pour zone sombre)	Maximino et al., 2010
	Poisson-zèbre (*Danio rerio*)	Thigmotaxie (préférence pour les parois du bassin)	Synthétisé dans Kalueff et al., 2013
	Poisson-zèbre (*Danio rerio*)	Géotaxie (position en bas de la colonne d'eau)	Synthétisé dans Kalueff et al., 2013
	Saumon (*Oncorhynchus tshawytscha*)	↓ activité natatoire, ↓ prise alimentaire, géotaxie	Berejikian et al., 2003
	Truite (Onchorhynchus mykiss)	↑ vitesse maximale (fuite) puis immobilisation, nage erratique, évitement d'un nouvel objet	Poisson et al., 2017
	Truite (Onchorhynchus mykiss)	↓ activité natatoire, ↓ prise alimentaire	Brown & Smith, 1997
	Tilapia (*Oreochromis niloticus*)	Inhibition de l'anticipation alimentaire	Silva et al., 2015
	Tilapia (*Oreochromis niloticus*)	Evitement d'un nouvel objet	Martins et al., 2011
	Tilapia (*Oreochromis niloticus*)	Anorexie	Martins et al., 2011
Peur conditionnée	Truite (*Onchorhynchus mykiss*) et saumon (*Salmo salar*)	Réponse de fuite conditionnée lors d'un signal lumineux associé à une chasse à l'épuisette	Yue et al., 2004
	Truite (*Onchorhynchus mykiss*) et poisson rouge (*Carassius auratus*)	Réponse d'évitement conditionné d'une zone associée à un choc électrique	Dunlop et al., 2006
	Tilapia (*Oreochromis niloticus*)	Réponse de fuite conditionnée lors d'un arrêt de la pompe associé à un confinement	Martins et al., 2011
	Tilapia (*Oreochromis niloticus*)	↑ cortisol plasmatique lors d'un signal lumineux associé à un confinement	Moreira & Volpato, 2004

2.2.2. Anxiété

Une émotion attribuée aux poissons est l'anxiété, ou état d'anxiété car il peut s'agir d'une émotion relativement durable dans le temps. L'anxiété est une émotion négative causée par la crainte d'un danger à venir (réel ou pas). Chez des poissons zèbres placés en isolement social ou exposés à une phéromone d'alarme (signifiant un risque de prédation), on observe une diminution des comportements exploratoires, ainsi que l'apparition de mouvements erratiques (nage en « zig-zag »), une augmentation du temps passé immobile (freezing) et une position en bas de la colonne d'eau. Ces manifestations comportementales s'accompagnent également d'une augmentation du cortisol plasmatique. Ces phénomènes comportementaux et physiologiques ressemblent aux réponses émotionnelles de peur mais elles peuvent se manifester sans que le danger ne soit présent. Par ailleurs, elles disparaissent lorsque l'on administre aux poissons zèbres exposés à ces situations anxiogènes des anxiolytiques (diazepam) ou des antidépresseurs (fluoxétine) (Egan et al., 2009). Les effets anxiolytiques de telles substances ont également été rapportés chez d'autres espèces de poissons modèles (*Pimephales promelas* : Margiotta-Casaluci et al., 2014 ; *Oryzias latipes* : Ansai et al., 2016 ; *Carrassius Auratus* : Simmons et al., 2017). Des effets similaires ont été observés chez le bar et le poisson-zèbre suite à une exposition à de la nicotine à certaines concentrations (Alfonso et al., 2020; Levin et al., 2007).

2.2.3. Douleur

Une récente définition décrit la douleur comme étant une « expérience sensorielle et émotionnelle désagréable associée à des lésions tissulaires réelles ou potentielles » (Raja et al., 2020). La douleur va donc au-delà de la nociception - qui se définit par le traitement non conscient des stimuli nocifs par les systèmes nerveux périphérique et central (Tracey, 2017) - puisque la douleur suppose que l'individu soit capable de ressentir des émotions. Or la capacité à ressentir des émotions (peur, anxiété) a été démontrée chez certaines espèces de poissons par des approches à la fois physiologiques et comportementales (cf. 2.2.1, 2.2.2), suggérant que la définition de la douleur s'applique également à cette classe de vertébrés. Plusieurs études ont montré que les poissons téléostéens possèdent les critères neuroanatomiques nécessaires pour ressentir la douleur. Les nocicepteurs répondant à la chaleur extrême, la pression mécanique et à des lésions d'origine chimique ont été identifiés chez la truite arc-en-ciel et sont répartis principalement autour de la bouche (Ashley et al., 2007; Sneddon, 2003a). Les principaux circuits qui acheminent l'information nociceptive du système périphérique au cerveau sont le nerf spinothalamique (corps) et le nerf trigéminal (tête), identifiés chez les Téléostéens mais aussi chez les élasmobranches et les agnathes (Sneddon, 2004). Chez la truite par exemple, deux types de nocicepteurs (les fibres A delta et C) sont présents au niveau du nerf trigéminal. Le circuit des opioïdes (récepteurs et ligands endogènes) est présent dans le système nerveux des poissons, suggérant fortement leur capacité à moduler la douleur (Gonzalez-Nunez & Rodríguez, 2009). Pendant un stimulus nociceptif, des gènes s'expriment différentiellement principalement dans le cerveau antérieur (siège de la douleur chez les mammifères), et ces différences persistent pendant 6 heures (Reilly et al., 2008b). D'un point de vue physiologique,

une injection de substances acides entraîne une augmentation de la fréquence respiratoire (battements operculaires) chez la truite et le poisson-zèbre (Sneddon, 2009) et une augmentation du niveau de cortisol plasmatique chez la truite (Ashley et al., 2009) et le tilapia (Roques et al., 2012).

Des changements comportementaux sont également observés après des stimuli potentiellement douloureux et ces changements diffèrent selon le type de stimulus nociceptif et selon les espèces de poissons étudiées (Tableau 9). Par exemple, le tilapia diminue son activité natatoire après un choc électrique par rapport à son niveau d'activité initial (Roques et al., 2012) mais l'activité augmente après une biopsie de nageoire (Roques et al., 2010). Le saumon Atlantique (Bjørge et al., 2011) et la truite arc-en-ciel (Sneddon, 2003b, 2003a) répondent à une stimulation nociceptive par une diminution de l'activité. D'autres perturbations comportementales se manifestent aussi après une injection d'acide au niveau de la bouche : frottements de la zone lésée (truite et poisson rouge), balancement du corps posé au fond du bassin (truite, carpe et carassin) (Sneddon, 2003a; Reilly et al., 2008a; Newby et al., 2009). Cependant, chez d'autres espèces exposées au même stimulus nociceptif, ces réponses comportementales n'ont pas été observées (morue (Gadus morhua) : Eckroth et al. (2014), brochet (Esox lucius) : Pullen et al. (2017)). Chez la truite, un arrêt de la prise alimentaire est également observé pendant plus de 3 heures et la néophobie habituellement observée dans cette espèce face à un objet nouveau est inhibée (Sneddon et al., 2003). Ces manifestations comportementales peuvent persister pendant plus de 6 heures indiquant qu'il ne s'agit pas de simples réflexes et elles ne sont pas observées lorsque des analgésiques (morphine) sont administrés (Sneddon et al., 2003; Mettam et al., 2011).

Des expériences montrent que des poissons téléostéens sont également capables d'éviter une zone de leur environnement dans laquelle ils ont connu une expérience douloureuse (exposition préalable à un choc électrique) et cet évitement peut perdurer jusqu'à trois jours (Dunlop et al., 2006). Après trois jours de privation alimentaire, ils se risqueront à pénétrer dans la zone pour s'alimenter (Millsopp & Laming, 2008), faisant ainsi le choix d'un compromis. Ces travaux montrent que les poissons sont capables de mémoriser des expériences de douleur et d'anticiper en évitant activement la zone associée, ce qui traduit une modification complexe et persistante des capacités de traitement de l'information suite à une stimulation nociceptive.

Tableau 9. Indicateurs physiologiques et comportementaux de la douleur chez les poissons *(Illustration originale du CNR BEA)*

	Espèces	Indicateurs	Références
Physiologiques	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	↑ ventilation (battements opercules)	Sneddon, 2003ab ; Ashley et al., 2009
	Poisson-zèbre (*Danio rerio*)	↑ ventilation (battements opercules)	Reilly et al., 2008
	Poisson rouge (*Carassius auratus*)	↑ ventilation (battements opercules)	Newby et al., 2009
	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	↑ cortisol plasmatique	Ashley et al., 2009
	Tilapia (*Oreochromis mossambicus*)	↑ cortisol et glucose plasmatique	Roque et al., 2012
Comportementaux	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	↓ activité natatoire	Sneddon, 2003ab ; Reilly et al., 2008
	Poisson-zèbre (*Danio rerio*)	↓ activité natatoire	Reilly et al., 2008 ; Correia et al., 2011 ; Maximino, 2011
	Tilapia (*Oreochromis mossambicus*)	↓ activité natatoire	Roque et al., 2012
	Saumon (*Salmo salar*)	↓ activité natatoire	Bjorge et al., 2011
	Piauçu (*Leporinus macrocephalus*)	↑ activité natatoire	Alves et al., 2013
	Tilapia (*Oreochromis niloticus*)	↑ activité natatoire	Roque at al., 2010
	Saumon (*Salmo salar*)	Anorexie jusqu'à 6,5h et nage en bas de la colonne d'eau	Bjorge et al., 2011
	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	Anorexie	Sneddon, 2003a ; Mettam et al., 2011
	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	Comportements anormaux (balancements, frottements)	Sneddon, 2003ab
	Carpe (*Cyprinus carpio*)	Comportements anormaux (balancements, frottements)	Reilly et al., 2008
	Tilapia (*Oreochromis mossambicus*)	Comportements anormaux (frottements)	Roque et al., 2012
	Poisson rouge (*Carassius auratus*)	Comportements anormaux (frottements)	Newby et al., 2009
	Poisson-zèbre (*Danio rerio*)	Comportements anormaux (battement queue)	Maximino, 2011
	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	↓ réponses anti-prédateurs	Ashley et al., 2009
	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	↓ comportements agressifs	Ashley et al., 2009
	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	↓ néophobie (nouvel objet)	Sneddon, 2003a
	Poisson rouge (*Carassius auratus*) et truite (*Onchorhynchus mykiss*)	Evitement d'une zone de choc électrique pendant 3 jours	Dunlop et al., 2006
	Carpe (*Cyprinus carpio*)	Evitement de capture par hameçon jusqu'à un an	Beukema, 1970
	Poisson rouge (*Carassius auratus*)	Choix d'un compromis (choc électrique vs aliment)	Millsopp and Laming, 2008
	Carpe (*Cyprinus carpio*)	Réponses réduites avec analgésiants (opioïdes)	Chervova and Lapshin, 2011
	Poisson rouge (*Carassius auratus*)	Réponses réduites avec analgésiant (morphine)	Newby et al., 2009
	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	Réponses réduites avec anti-inflammatoire non-stéroïdien (carprofène) et anesthésiant (lidocaïne)	Mettam et al., 2011
	Truite (*Onchorhynchus mykiss*)	Réponses réduites avec analgésiant (morphine)	Sneddon, 2003ab
	Poisson-zèbre (*Danio rerio*)	Réponses réduites avec analgésiant (morphine)	Correia et al., 2011

2.2.4. Stress

Comme les autres vertébrés, les poissons répondent aux évènements qui menacent leur intégrité par une série de réactions physiologiques adaptatives appelée "réponse au stress". Ces ajustements neuroendocriniens induisent des changements métaboliques et comportementaux réversibles qui renforcent la capacité des poissons à surmonter ou à éviter les défis, ce qui est bénéfique, du moins à court terme. En revanche, une activation prolongée de la réponse au stress est préjudiciable et conduit, à long terme, à une croissance réduite, un dysfonctionnement de la reproduction et une immunosuppression (Braithwaite & Ebbesson, 2014). Le stress est souvent associé à un état émotionnel négatif.

Les poissons possèdent globalement les mêmes stratégies neuroendocriniennes et comportementales que les vertébrés terrestres face à un stress (Wendelaar Bonga, 1997). On observe tout d'abord l'apparition d'une réponse primaire. Le système catécholaminergique et l'axe hypothalamo-hypophyso-interrénal (HPI) sont activés (Figure 10). Cela induit une libération rapide de catécholamines par le tissu chromafin situé au niveau du rein antérieur (par le système catécholaminergique), et la libération de CRH (Cortico-Releasing Hormone) au niveau du système nerveux central via l'hypothalamus (axe HPI). Le CRH est un neuropeptide qui stimule la libération d'ACTH (adrénocorticotropine) hypophysaire. Cette dernière stimule la synthèse et la sécrétion de cortisol par l'interrénale (glande homologue de la corticosurrénale des mammifères) en association avec d'autres hormones hypophysaires telle que la MSH (Melanocyte-stimulating hormone ; stimulant les mélanophores et la sécrétion de β-endorphines). L'activation de ces deux systèmes neuroendocriniens permet des réponses comportementales immédiates lorsqu'elles sont activées par les catécholamines (immobilisation, fuite, augmentation des battements operculaires et du rythme cardiaque), puis légèrement différées lorsqu'elles sont activées par le cortisol (réduction de l'appétit) (Wendelaar Bonga, 1997; Ellis et al., 2012).

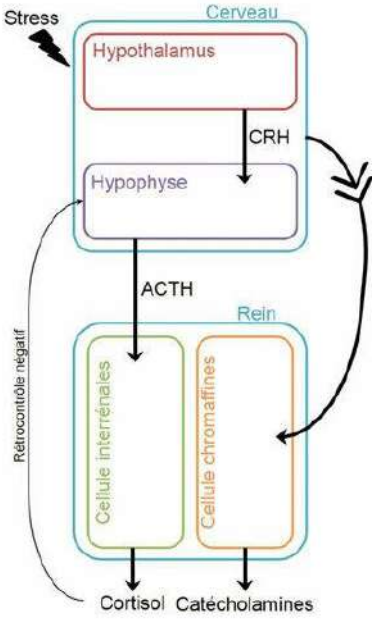


Figure 10. Fonctionnement de l'axe hypothalamo-hypophyso-interrénal chez les poissons. *Source : Delfosse (2017)*

Une augmentation de la concentration en cortisol est un indicateur couramment utilisé pour mesurer un niveau de stress aigu chez les poissons, avec un pic atteint entre 30 minutes et 4 heures après un événement inducteur de stress aigu. Cette variabilité peut dépendre du type de stress induit (pêche, confinement, transport), de sa durée et de l'espèce. Le cortisol peut être dosé dans le plasma sanguin des poissons mais aussi dans le mucus, les fèces, les écailles ou l'eau rejetée par les branchies (Sadoul & Geffroy, 2019). Suite à ces réponses primaires, des réponses secondaires apparaissent. Ces réponses secondaires peuvent ou non être causées directement par la réponse endocrinienne. Elles comprennent des changements de taux de glucose, de lactate ou d'acide lactique, et des principaux ions (par ex. chlorure, sodium, potassium, etc.) dans le sang, ainsi que des modifications des niveaux de glycogène et de protéines chaperonnes (HSP) dans les tissus. Ces réponses sont toutes liées à des ajustements physiologiques impliqués dans le métabolisme, la respiration, l'état acido-basique, l'équilibre hydrominéral, la fonction immunitaire et les réponses cellulaires (Barton, 2002). Si la situation se prolonge et que le poisson ne parvient pas à s'adapter (par ex. stress chronique : qualité d'eau dégradée, densité élevée), des réponses tertiaires liées aux performances globales de l'animal apparaissent, telles que la réduction de croissance, la baisse d'activité, le blocage de la reproduction, et la diminution de la réponse immunitaire (Barton, 2002).

Un état de stress est capable d'altérer les capacités cognitives d'évaluation qui sont à l'origine d'une émotion, on parle alors de biais de jugement (Baciadonna & McElligott, 2015; Harding et al., 2004). Ces biais de jugement sont démontrés chez plusieurs espèces animales (rongeurs : Neville et al., 2021 ; poules : Hernandez et al., 2015 ; moutons : Doyle et al., 2011 ; porcs : Murphy et al., 2013). Le principe repose sur la réponse d'un individu face à une situation ambiguë qu'il pourra percevoir de façon négative ou positive selon son état de stress. Récemment, il a été montré chez une espèce de cichlidés (*Amatitlania siquia*) utilisée en laboratoire des biais de jugement dans la prise de décision induits par un stress lié à la séparation sociale (Laubu et al., 2019). Les réactions et états émotionnels chez les poissons ne sont donc pas des réponses réflexes/automatiques mais au contraire dépendent de processus cognitifs qui déterminent la manière dont l'animal perçoit et ressent les événements survenant dans son environnement.

2.3. Les indicateurs de stress

En condition de stress, les poissons manifestent des réponses physiologiques et comportementales pouvant être similaires à celles qui surviennent lors de situations sollicitantes qui déclenchent des émotions négatives (peur, anxiété) ou qui génèrent de la douleur. Il est donc important de connaître le contexte dans lequel apparaissent ces manifestations pour en comprendre l'origine. Au moment de l'abattage, des mesures comportementales, ou de paramètres physiologiques et métaboliques peuvent être utilisées pour apprécier le niveau de stress des poissons.

2.3.1. Les indicateurs physiologiques

Comme évoqué précédemment, le stress induit une réponse neuroendocrinienne, dont les effecteurs peuvent être des indicateurs de stress. Ainsi, lors de la réponse primaire, les activations du système catécholaminergique et de l'axe HPI peuvent être révélées par la mesure des catécholamines (adrénaline et noradrénaline) ou des corticostéroïdes, principalement le cortisol chez les poissons téléostéens (Galhardo & Oliveira, 2009). Le cortisol plasmatique est ainsi le plus souvent mesuré, mais le cortisol branchial ou dans le mucus ou encore l'eau peut également être dosé (Sadoul & Geffroy, 2019). L'activation des fonctions cardiovasculaire et respiratoire qui en résulte peut être mesurée par la fréquence cardiaque ou celle des battements operculaires. La réponse de l'axe HPI étant reliée au métabolisme énergétique et à la balance hydrominérale, on peut également quantifier des métabolites plasmatiques (glucose, lactate, …) ou d'organes périphériques comme le foie (glycogène hépatique) ou le muscle (glycogène musculaire). L'hématocrite, la numération leucocytaire, la pression partielle de dioxygène ou de dioxyde de carbone (pO_2 ou pCO_2) sont également des indicateurs régulièrement mesurés en expérimentation.

2.3.2. Les indicateurs comportementaux

Les réponses comportementales au stress recoupent celles décrites chez plusieurs espèces de poissons en situations déclenchant des émotions négatives (Tableau 8, Tableau 9). Il s'agit principalement du « freezing » (immobilisation totale souvent accompagnée d'une augmentation des battements operculaires) et de la nage erratique. Un changement de couleur lié à la contraction ou la dilatation des chromatophores et attribuable à la libération des catécholamines plasmatiques (Rotllant et al., 2003; Vissio et al., 2021) peut également être observé chez certaines espèces (Egan et al., 2009; Kalueff et al., 2013). Enfin, une étude est parue très récemment sur l'intérêt du QBA (« Qualitative Behavior Assessment ») comme indicateur sensible pour évaluer un stress chez le saumon Atlantique (Wiese et al., 2023). Le QBA est un test permettant de caractériser l'état émotionnel des individus d'un groupe d'animaux de façon qualitative à partir d'une liste d'adjectifs descriptifs à quantifier au regard du comportement des individus par plusieurs observateurs. D'après cette étude, le QBA est un indicateur de bien-être et de stress prometteur pour les poissons d'aquaculture.

2.4. Les conséquences de l'expérience émotionnelle négative sur la qualité des produits

2.4.1. Impact d'une expérience émotionnelle négative

Un stress au moment de l'abattage accélère la baisse du pH musculaire et l'entrée en *rigor mortis*. Le pH musculaire initial, mesuré juste après l'abattage, est plus bas chez les poissons stressés. Par contre le pH ultime, mesuré après 2 ou 3 jours de stockage, et qui est un indicateur des réserves en glycogène du muscle, n'est généralement pas affecté (Lefevre et al., 2008, 2016). Cette accélération des processus de dégradation musculaire post-mortem peut avoir des

conséquences sur la couleur des filets, souvent moins lumineux et moins colorés, et sur la résistance mécanique (fermeté) qui peut être diminuée (Roth, 2002; Kiessling, 2004; Lefevre et al., 2008, 2016; Erikson et al., 2018). Un effet modéré sur l'odeur ou la flaveur (combinaison de l'odeur et du goût) a également été rapporté (Sigholt et al., 1997; Concollato, 2016; Concollato et al., 2019). Des tests de préférence comparant des produits issus de différentes méthodes d'abattage révèlent une meilleure qualité avec la méthode la moins stressante (Marx et al., 1997; Terlouw et al., 2021). Un impact sur l'apparition de « gaping », présence de trous dans le filet dus au détachement des feuillets musculaires, a été rapporté (Roth, 2006) mais n'est pas systématiquement observé (Kiessling, 2004; Erikson et al., 2018). Par contre, la méthode d'abattage n'a pas d'effet sur la teneur en lipides, ni sur la composition en acides gras, et n'affecte donc pas la qualité nutritionnelle des produits (Duran, 2008; Simitzis et al., 2014). Chez les espèces terrestres, les effets du stress sur la qualité dépendent également de l'origine génétique et des conditions préalables d'élevage des animaux (Terlouw et al., 2021). Un tel lien reste à démontrer chez les poissons.

2.4.2. La qualité comme indicateur de stress ?

Les critères de qualité impactés par les conditions d'abattage ont un déterminisme complexe. Ainsi, les variations de ces paramètres de qualité peuvent avoir plusieurs origines et il est difficile d'imputer leur altération à un seul facteur comme un stress au moment de l'abattage (Terlouw et al., 2021). Par exemple, un stress au moment de l'abattage est souvent associé à une activité musculaire accrue. Or l'activité musculaire, même sans stress, conduit à la formation de lactate et à la baisse du pH musculaire. L'impact des conditions d'abattage sur le pH musculaire initial qui est un paramètre souvent mesuré et considéré comme indicateur de stress, peut être la conséquence de cette activité musculaire et non pas celle d'un stress. L'absence de relation directe entre niveau de stress physiologique (cortisol plasmatique) et pH musculaire a été observée chez des saumons avec des niveaux de cortisol plasmatique très élevés et variables mais ayant des pH musculaires peu différents (Erikson, 2016). De même des truites sélectionnées génétiquement pour répondre faiblement (élévation faible du cortisol plasmatique) ou fortement (élévation forte du cortisol plasmatique) à un stress aigu de confinement répondent de manière similaire sur les paramètres de qualité à un stress aigu de confinement juste avant l'abattage (Lefevre et al., 2016). De plus, la façon dont l'animal évalue la situation dans un contexte nouveau, comme celui des étapes de pré-abattage, dépend de son état de bien-être, et c'est la façon dont il y réagit qui peut, par la suite, impacter les critères de qualité de la chair (Terlouw et al., 2021). Certains paramètres de qualité peuvent donc alerter sur l'existence d'un stress, en particulier physiologique, subi par les poissons au moment de l'abattage, mais ne peuvent pas attester que les poissons ont subi un stress, ni permettre de mesurer le niveau de stress subi.

En conclusion :

Les poissons ont un système sensoriel particulièrement élaboré. En plus de posséder cinq sens (vue, odorat, goût, ouïe, toucher), ils sont également dotés d'une ligne latérale, qui leur permet de percevoir les vibrations et les changements de pression. Certaines espèces peuvent aussi émettre et percevoir des champs électriques. Par ailleurs, les poissons sont poïkilothermes ce qui leur confère une grande sensibilité aux changements de température. En plus de ces dimensions sensorielles, ils ont la capacité de traiter de l'information impliquant des processus cognitifs et centraux leur permettant de ressentir des émotions telles que la peur ou l'anxiété et de percevoir la douleur. En outre, les poissons sont capables de développer des états de stress, ce qui, au moment de l'abattage, peut impacter la qualité des produits.

Les dimensions sensorielle et psychologique de la sensibilité des poissons sont toutes les deux nécessaires à prendre en compte pour développer des procédures d'abattage respectueuses des poissons, reconnus comme des êtres sensibles.

3. Les méthodes d'abattage pratiquées en France au regard de la sensibilité des poissons d'élevage : facteurs de stress et de douleur, et conséquences

Le processus d'abattage des poissons d'élevage comprend plusieurs phases. La première phase, appelée dans ce rapport « phase de pré-étourdissement » regroupe l'ensemble des étapes communément réalisées en amont de l'étourdissement : la mise à jeun des animaux, le regroupement, le chargement, le transport et le déchargement. Viennent ensuite les phases d'étourdissement et de mise à mort, qui peuvent être accomplies par une seule procédure dans certains cas. Les sources de douleur et de stress potentielles de chacune de ces étapes, ainsi que leurs conséquences sur la protection des poissons, sont discutées dans les parties qui suivent.

3.1. Phase de pré-étourdissement (jeûne, regroupement des poissons, transfert et chargement, et transport)

Les parties suivantes décrivant les pratiques de pré-étourdissement ont été rédigées notamment à partir de la revue de Lines & Spence (2014).

3.1.1. Le jeûne

Une période de jeûne d'une durée variable selon l'espèce et la température de l'eau (d'un jour à parfois plus d'une semaine), est nécessaire avant l'abattage pour vider le contenu du tube digestif et ainsi maintenir une bonne qualité de l'eau lors du transport (absence de déjections), et pour garantir la qualité sanitaire ultérieure du produit. Des recommandations existent pour certaines espèces (54 °C.jours[19] pour la truite par exemple, i.e. 5,4 jours à 10°C), notamment établies par la Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals (RSPCA, 2020). En pratique, les poissons peuvent être mis à jeun plus longtemps que nécessaire, notamment pour des raisons de nécessité opérationnelle.

Si beaucoup d'études s'intéresssent aux conséquences du jeûne pré-abattage des poissons sur la qualité des produits (saumon Atlantique (Einen et al., 1998; Morkore et al., 2008), daurade (Alvarez et al., 2008; Lippe et al., 2021)), peu ont étudié les conséquences de cette pratique en termes de stress subi par les poissons.

Comme il est nécessaire de vider l'intestin des poissons avant leur abattage, plusieurs études ont tenté de déterminer les durées de jeûne optimales pour la truite arc-en-ciel. Ces études ont utilisé des indicateurs de stress physiologique pour observer les conséquences de différentes

[19] Cette notation est utilisée en pisciculture pour mesurer une durée en fonction de la température de l'eau, car les poissons sont poïkilothermes. Ainsi "100 degrés-jours" signifie que l'incubation durera 5 jours dans de l'eau à 20°C, 7 jours dans de l'eau à 15°C, 10 jours dans de l'eau à 10°C. Ceci est valable à l'intérieur de certaines limites de température : ne pas extrapoler ce calcul à des températures extrêmes *(Source : https://doris.ffessm.fr/Glossaire/Degre-jour/)*.

modalités de jeûne sur les truites. López-Luna et al. (2013) par exemple ont observé l'effet de différentes durées de jeûne (24, 48 et 72 heures à 19°C, soit 19,5, 38,8 et 58°C. jours) et de différentes heures d'abattage (le matin (08h), l'après-midi (14h) ou le soir (20h)) sur la physiologie de la truite arc-en-ciel. Le poids relatif de l'intestin étant plus faible chez tous les groupes de truites à jeun que chez les truites contrôles et similaire entre tous les groupes à jeun, les auteurs déduisent que l'intestin des truites était vidé en moins de 24h (temps minimal de jeûne commun à tous les groupes). Pour la plupart des indicateurs biochimiques de stress mesurés (concentrations en cortisol plasmatique, glucose et lactate sanguin ainsi que l'hématocrite et la numération leucocytaire), aucun effet significatif n'a été observé entre un abattage réalisé le matin, l'après-midi ou le soir dans les deux traitements (témoin et à jeun), ni entre les poissons à jeun et les poissons témoins. Seul le nombre de leucocytes a été légèrement réduit chez les poissons qui avaient jeûné pendant trois jours, ce qui suggère que le système immunitaire est déprimé au-delà de 3 jours de jeûne (58°C. jours). Une étude de Bermejo-Poza et al. (2017) apporte des résultats similaires en termes de degrés-jours pour la durée nécessaire au vidage de l'intestin. A la différence de l'étude précédente, les truites étaient élevées dans une eau à 6,15°C et les auteurs concluent que le système digestif des truites était vidé après 4 jours de jeûne (soit 22,3 °C.jours). Dans cette même étude, la couleur du foie (i.e. le pâlissement) a été observée comme indicateur potentiel de stress : le foie des truites soumises à un jeûne de plus de 5 jours (28,6 °C.jours) était significativement plus pâle que celui des truites soumises à un jeûne de 3 ou 4 jours (respectivement 17,2 et 22,3 °C.jours).

En résumé, la plupart des études réalisées sur le jeûne n'observent aucun impact physiologique majeur sur les poissons étudiés pour des durées de jeûne en dessous de 58°C.jours (Bermejo-Poza et al., 2016, 2017, 2019; López-Luna et al., 2013). Toutefois, aucun indicateur comportemental de la réactivité émotionnelle n'était utilisé dans ces études. En effet, il est difficile d'évaluer comment les poissons vivent le jeûne. En comparaison, il a été montré que le jeûne exacerbe la réactivité émotionnelle des vaches, en réponse à des évènements soudains (Bourguet et al., 2011). Des tests similaires pourraient être effectués chez les poissons pour aller au-delà des mesures physiologiques réalisées dans les études citées précédemment. En effet, de manière générale l'état physiologique des animaux nous renseigne sur leurs capacités physiologiques d'adaptation. Néanmoins, même si ces capacités d'adaptation ne sont pas dépassées, l'animal peut ressentir une expérience émotionnelle négative. Il est à noter que pour des poissons d'élevage habitués à une distribution de nourriture régulière, une période de jeûne est en opposition à leurs attentes, et peut ainsi être source d'émotions négatives (ANSES, 2018).

3.1.2. Le regroupement et le transport sur le lieu d'abattage

3.1.2.1. Le regroupement

Le regroupement (ou serrage) à l'intérieur de l'unité d'élevage vise à faciliter la capture et le transfert des poissons vers l'unité d'abattage. La technique diffère selon que les poissons sont élevés en cage ou évoluent dans un étang, un réservoir, un raceway, un bassin. Les poissons en cage sont regroupés soit en soulevant progressivement et lentement le filet de la cage, soit en insérant un deuxième filet dans la cage (Lines & Spence, 2014). Dans les autres cas, les poissons

sont encerclés à l'aide d'un filet de senne, ou repoussés dans une zone donnée à l'aide de panneaux ou de grilles ; pour ceux en réservoir, raceways ou bassins, le niveau de l'eau est préalablement abaissé (EFSA, 2009e).

Les principales atteintes au bien-être des poissons lors du regroupement proviennent de leur confinement à des densités élevées. Par exemple, la densité de bars et de daurades d'élevages commerciaux lors du regroupement a été estimé à 250 kg/m^3 en 2009. Le confinement engendre :
- une baisse de la qualité de l'eau (EFSA, 2009e). En particulier, la quantité d'oxygène disponible diminue rapidement car les poissons sont agités et stressés dans un volume d'eau réduit et en consomment davantage. La concentration en ammoniaque et autres déchets biologiques s'accroît avec la densité et la durée du regroupement.
- un stress intense à court terme chez les poissons. Une étude menée chez la daurade royale a montré que l'augmentation de la densité à des valeurs rencontrées lors du regroupement commercial, quoique de courte durée (2h), provoquait un stress intense, affectant le système immunitaire des poissons qui mettaient trois jours à recouvrer une immunocompétence normale (Ortuño et al., 2001). Chez la morue, le confinement entraîne une élévation de l'hématocrite et des concentrations plasmatiques de lactate (Brown et al., 2010). Chez la truite arc-en-ciel en élevage commercial, le confinement est à l'origine d'un stress physiologique intense, affectant la concentration de cortisol et la pCO_2 dans le sang (Merkin et al., 2010b). Le stress s'exprime également par le comportement ; il se caractérise par une accélération de la nage, des comportements de fuite, de l'agitation se manifestant par des éclaboussures voire une exposition à l'air. Chez la morue, le confinement entraîne un gonflement de la vessie natatoire du fait de l'agitation inutile des poissons, qui peut affecter leur nage et leur équilibre, parfois de manière irréversible. Pour diminuer ce risque, il est recommandé de réduire la profondeur de la cage de façon progressive, par paliers (Brown et al., 2010).

Il convient donc d'effectuer le regroupement lentement et calmement pour éviter une réaction de panique, des blessures et de la mortalité, et de réduire au minimum la durée de la période de regroupement à haute densité des poissons (EFSA, 2009e). Pour maintenir la qualité de l'eau, il est possible d'oxygéner et/ou d'utiliser un système de renouvellement de l'eau (EFSA, 2009e). Enfin, les différentes espèces réagissant de façon variable au confinement, il est recommandé de prendre en compte les spécificités de chacune d'elles (Bagni et al., 2007; Lines & Spence, 2014).

3.1.2.2. Le transfert et le chargement

Les poissons sont transférés depuis les lieux de regroupement vers l'unité d'étourdissement et/ou d'abattage ou vers le camion de transport selon plusieurs modalités qui dépendent des espèces : par exemple, les saumons sont transférés principalement par pompage (EFSA, 2009) ; les bars et les daurades sont transférés principalement au moyen d'épuisettes ou de filets manuels ou de grands filets suspendus (salabres) et beaucoup plus rarement par pompage (EFSA, 2009); les carpes sont majoritairement transférées à l'aide d'épuisettes manuelles (EFSA, 2009).

« Le pompage est réalisé en plaçant un tube de grand diamètre au milieu des poissons […]. La pompe aspire l'eau et les poissons à travers ce tube, à l'aide d'un mécanisme centrifuge ou de pompage sous vide » (Lines & Spence, 2014 et Figure 11). Le pompage est considéré comme une technique respectueuse du bien-être animal dans la mesure où les poissons ne sont pas exposés à l'air pendant le transfert. Cependant, la conception du matériel de pompage et sa manipulation doivent éviter tout risque de blessure. Ainsi, le code de santé des animaux aquatiques de l'OMSA précise qu'il convient d'éviter les blessures et le stress « inutile » liés à des « équipements (tels que filets, pompes, canalisations et appareillages) mal conçus (par exemple, très anguleux ou présentant des protubérances) ou mal utilisés (par exemple, par surcharge du système avec des poissons de taille ou en nombre inadaptés) » (Article 7.2.6. du Code sanitaire pour les animaux aquatiques de l'OMSA, 2022). Il est à noter que les saumons ont tendance à nager à contre courant, ce qui peut représenter un avantage puisqu'ils vont se diriger volontairement vers le courant (et donc vers le tube de la pompe) mais peut entraîner des problèmes de bien-être s'ils restent trop longtemps dans le tube à nager contre le courant et s'épuisent (EFSA, 2009). La distance de pompage depuis le lieu de regroupement jusqu'à l'unité d'étourdissement ou d'abattage varie considérablement, allant de quelques mètres à plus d'un kilomètre (Lines & Spence, 2014 et Figure 11). Les risques d'atteinte au bien-être augmentent avec la distance, du fait de la dégradation de la qualité de l'eau (diminution de la concentration en oxygène, augmentation de celle des déchets métaboliques excrétés) et des risques de fortes densités dus au fonctionnement de la pompe qui ne fournit pas un débit d'eau continu, au blocage des tubes, ou à l'écoulement d'eau inégal et turbulent dans les tubes.

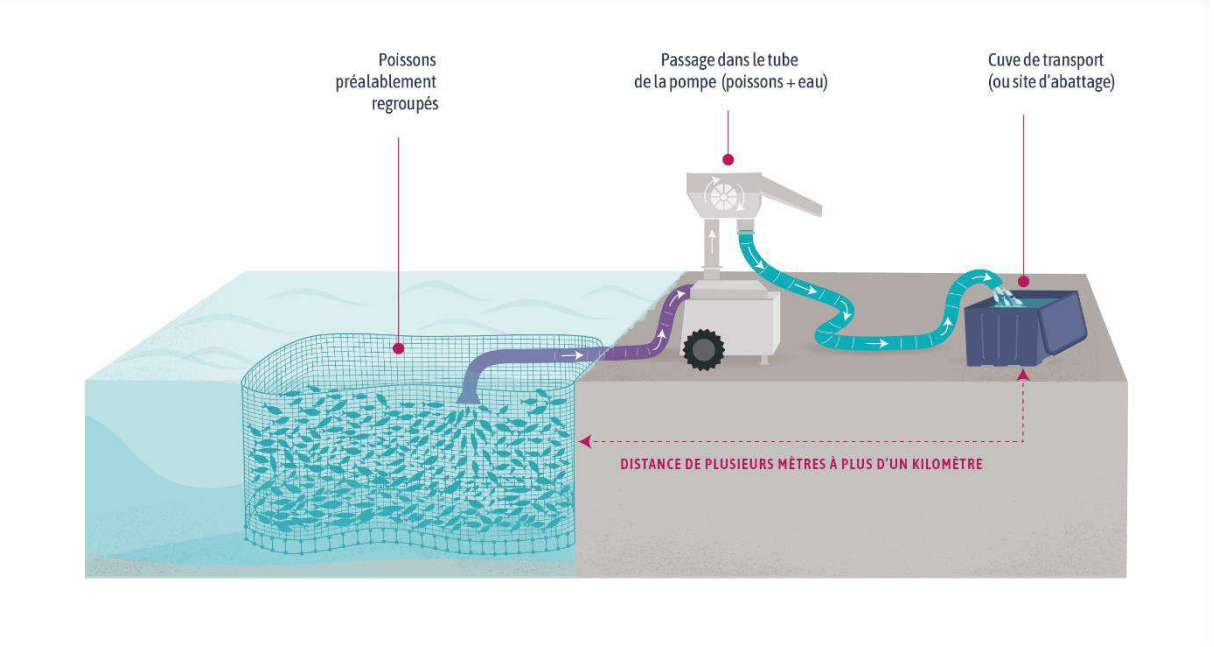
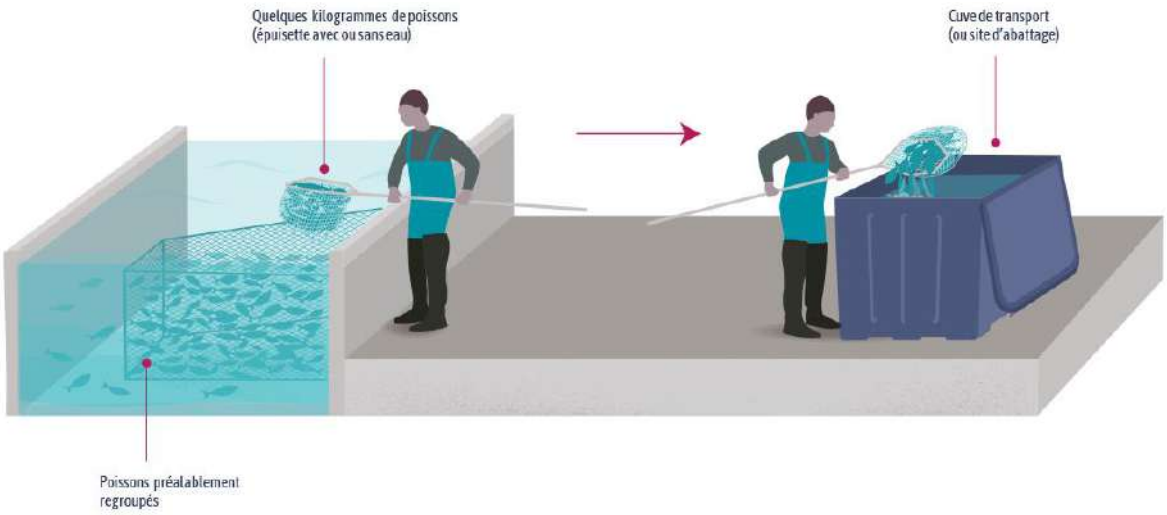


Figure 11. Transfert de poissons par pompage *(Illustration originale du CNR BEA)*

Les autres méthodes de transfert des poissons depuis le lieu de regroupement vers les cuves de transport ou d'abattage se font à l'aide d'une épuisette ou d'un filet manuel pour des quantités de poissons de l'ordre de quelques kilogrammes (Figure 12A) ; ou avec un salabre actionné par une grue pour des quantités allant jusqu'à plusieurs centaines de kilogrammes (Figure 12B) (J. A. Lines & Spence, 2014). Ces modes de transfert sont précédés de densités de regroupement

généralement plus faibles que pour le transfert par pompage. Les méthodes qui impliquent une exposition à l'air sont les plus couramment employées pour des raisons pratiques, mais elles provoquent de fortes atteintes au bien-être animal telles que l'asphyxie et créent des densités de poissons très élevées, sources potentielles de blessures et à l'origine d'un stress intense (EFSA, 2009e). Les blessures (ecchymoses, écrasement, perforations, abrasions) peuvent provenir des fortes pressions et des frottements exercés par les poissons les uns sur les autres, sur ou à travers le filet. Les méthodes de transfert par épuisette à « cul piscine » évitent l'asphyxie et réduisent les risques d'écrasement, puisque l'épuisette contient de l'eau, mais ne sont envisageables que pour des transferts sur de courtes distances (J. A. Lines & Spence, 2014). De façon générale, les transferts à l'aide d'épuisettes et filets manuels se font dans les systèmes d'élevage extensifs ou semi-intensifs (EFSA, 2009e). S'ils sont réalisés par des opérateurs habiles, ils sont moins stressants pour les poissons même s'ils prennent plus de temps que les transferts à l'aide de salabres, courants dans les élevages commerciaux (EFSA, 2009e).

A.



B.

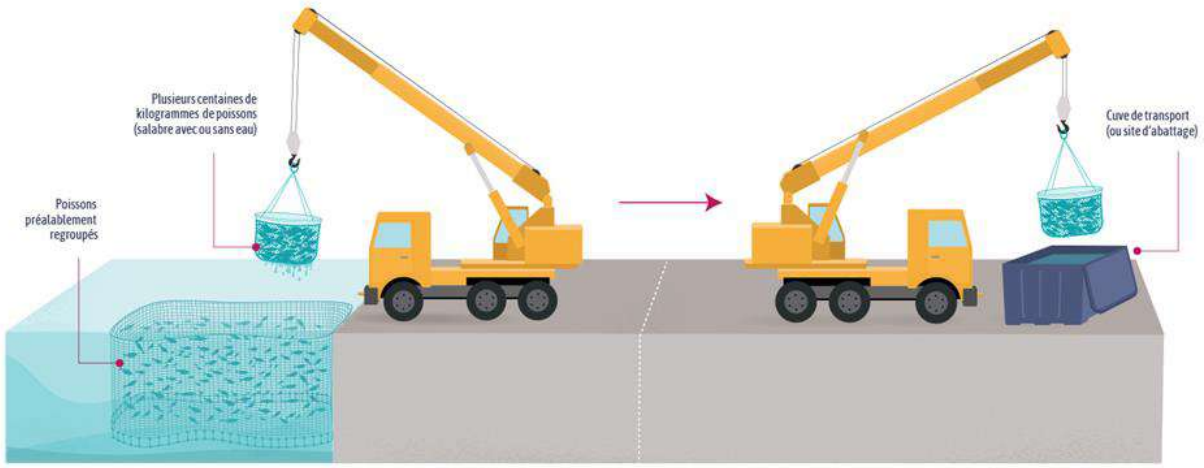


Figure 12. Transfert de poissons par épuisette (A) et salabre (B) *(Illustration originale du CNR BEA)*

Il est à noter que dans certains cas, les poissons sont acheminés pour partie du temps sur des tapis mobiles (à sec mais avec une légère pellicule d'eau) en bout de chaîne afin d'atteindre la cuve de transport, le dispositif d'étourdissement ou de mise à mort. Selon les espèces, les différentes techniques de chargement utilisées (pompe, épuisette, salabre, tapis) n'induisent pas le même niveau de stress.

3.1.2.3. Le transport

Si certains poissons sont abattus sur place en raison de la proximité de l'unité de conditionnement (poissons marins élevés sur des sites à terre ; truites et esturgeons élevés sur des sites comportant un atelier d'abattage et de conditionnement), d'autres poissons sont transportés jusqu'à un site d'abattage pouvant être proche du site d'élevage ou plus ou moins éloignés dans le cas d'un atelier de transformation/conditionnement collectif (poissons marins élevés en mer, truites et esturgeons élevés sur des sites ne comprenant pas d'atelier d'abattage et de conditionnement). Les durées de transport peuvent ainsi varier de quelques minutes à plusieurs heures. Le transport des poissons vivants s'opère par voie maritine en bateau-puits (saumon), en bateau comportant des cuves, ou par voie terrestre par transport routier en cuve. Quel que soit le moyen de transport, de nombreuses études montrent que le transport avant abattage constitue un stress majeur pour les poissons (M. C. Gatica et al., 2008), comme c'est le cas chez toutes les espèces terrestres (Gregory, 2008). Par exemple, des concentrations plasmatiques élevées de cortisol et de lactate et une forte augmentation de l'hématocrite et de la glycémie sont observées après un transport en bateau chez des truites arc-en-ciel élevées en mer, signe de l'activation de l'axe HPI (Merkin et al., 2010a). La plupart des études sur les atteintes au bien-être des poissons au cours du transport portent sur le saumon Atlantique (M. C. Gatica et al., 2008), néanmoins les procédures de pré-abattage pour la truite arc-en-ciel élevée en mer sont généralement les mêmes (EFSA, 2009).

Outre les procédures de chargement et de déchargement étudiées dans la section précédente, d'autres facteurs contribuent à la fatigue et au stress liés au transport : la sensibilité de l'espèce considérée, la durée du transport, la qualité d'eau et la densité (Terlouw et al., 2008b).

Une bonne gestion de la qualité de l'eau est cruciale pour assurer la protection des poissons au cours de leur transport. La concentration en oxygène dissous et la température doivent être proches de celles de l'élevage, les niveaux de dioxyde de carbone doivent être bas, et les quantités de déchets azotés doivent être maîtrisées (Terlouw et al., 2008a). Le niveau critique d'oxygène est défini comme la valeur seuil au-dessus de laquelle la consommation d'oxygène est indépendante de la concentration. En dessous du niveau critique, la consommation d'oxygène est de plus en plus limitée par la concentration, jusqu'à ce qu'elle atteigne le niveau létal. Les niveaux critique et létal d'oxygène dépendent de l'espèce de poissons, ils sont plus élevés chez les poissons d'eau froide en raison d'une courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine de forme différente (Boyd, 1982). A l'inverse, une saturation en oxygène dans l'eau du réservoir de transport se traduit par de trop fortes teneurs en oxygène (hyperoxie) et des altérations comportementales des poissons (Alfonso et al., 2020; Varga, 2014). Les poissons excrètent également de l'azote sous forme d'ammoniaque qui réagit avec l'eau pour former des ions ammonium dans une réaction d'équilibre. L'ammoniac non ionisé est toxique

pour les poissons et des niveaux élevés d'ammoniac non ionisé peuvent provoquer un stress physiologique et des réactions de fuite (Danley et al., 2005).

La maîtrise de ces constantes biochimiques nécessite d'embarquer lors du transport des systèmes de traitement et/ou de renouvellement de l'eau. Ainsi pour le transport du saumon, des investissements considérables ont été faits dans la conception et le développement de bateaux-puits. Ces navires modernes sont notamment conçus pour permettre la surveillance et le contrôle de la qualité de l'eau, et pour que les réservoirs puissent être vidés sans laisser de poisson à sec au fond. Dans certaines circonstances, les poissons sont progressivement refroidis pendant le transport afin de réduire leur métabolisme général. Cela permet de réduire les besoins en oxygène des poissons et leur taux de production d'ammoniac. Pour encadrer cette pratique, des normes de protection du saumon d'élevage lors du transport ont été produites au Royaume Uni (RSPCA, 2021). Ces normes recommandent que le refroidissement ne soit pas plus rapide que 1,5 °C par heure et que la température de l'eau ne soit pas baissée en dessous de 50% de la température ambiante. Comme le souligne Foss et al. (2012), il reste néanmoins difficile de distinguer les effets de la manipulation de ceux liés à la baisse de la température sur les poissons.

Quant à la densité des poissons durant le transport, elle est généralement élevée et constitue une procédure stressante pour les poissons, comme cela est montré chez les saumons élevés en mer (Skjervold et al., 2001). A l'heure actuelle, il n'existe pas de normes de densité pour transporter les poissons vers le site d'abattage d'autant plus que la densité maximale acceptable dépend de la qualité de l'eau (et donc des systèmes de régulation des paramètres), de la durée du transport, de la température et de l'espèce.

Outre une forte densité et une mauvaise qualité de l'eau, le transport par la route se traduit également par des vibrations du véhicule, d'éventuels chocs physiques et des changements rapides de température. Ainsi, une augmentation de la température de l'eau provoque un acroissement des concentrations de cortisol et de glucose plasmatique chez le bar et la dorade royale (Papaharisis et al., 2019b).

Comme chez les animaux terrestres, si les conditions d'attente à l'issue du transport avant l'abattage sont adaptées aux besoins des poissons, respecter une phase de repos permet aux poissons de récupérer du stress du transport (Terlouw et al., 2008b). Après avoir été transportés par bateau, les poissons sont généralement laissés dans un bassin pendant un voire plusieurs jours pour des raisons d'organisation des opérations d'abattage. Cette phase d'attente après transport s'avère bénéfique pour les poissons : chez les saumons, les concentrations plasmatiques de cortisol et de lactacte, élevées à l'issue du transport, chutent après 24 heures de maintien dans des bassins avant l'abattage (Gatica et al., 2010). Les mêmes effets récupérateurs sont relevés chez les truites arc-en-ciel élevées en mer (Barton, 2000).

En conclusion :

La phase de pré-étourdissement consiste à mettre à jeun les animaux afin de vider leur intestin, à les regrouper et les déplacer depuis le lieu d'élevage jusqu'au dispositif d'abattage. Les atteintes au bien-être des animaux sont liées à la durée de la mise à jeun, aux étapes de confinement (stress de densité, risque de lésions), de transfert (risque de lésions lors du pompage ou du prélèvement manuel par épuisette) et souvent aussi de transport sur des durées plus ou moins longues (risques de dégradation de la qualité de l'eau, confinement, stress, asphyxie, vibration…).

3.2. Phase d'étourdissement et de mise à mort

3.2.1. Définitions

3.2.1.1. Étourdissement

L'étourdissement est le processus qui consiste à rendre les animaux inconscients, avec ou sans mise à mort de l'animal, immédiatement avant de les abattre pour la consommation. Il doit être distingué de l'immobilisation (induite par un choc électrique de tension/intensité inappropriées, le froid ou certaines molécules) qui n'assure pas la perte de conscience. L'étourdissement conduisant à l'inconscience est indispensable pour éviter la souffrance de l'animal avant sa mise à mort. En effet, l'inconscience est un état dans lequel les fonctions cérébrales sont temporairement ou définitivement endommagées et où l'individu est incapable de répondre à des stimuli, y compris la douleur (Terlouw, 2020).

La méthode d'étourdissement la plus adaptée (gaz, électronarcose, percussion etc.) dépend essentiellement de l'espèce car selon leur biologie, certains poissons sont par exemple très résistants au froid ou au manque d'oxygène.

3.2.1.2. Indicateurs de conscience

Afin d'identifier un étourdissement efficace, certains indicateurs sont utilisés, la plupart étant basés sur l'animal.

Après l'application d'une méthode d'étourdissement ou de mise à mort, si un poisson conserve la capacité de retrouver rapidement son équilibre lorsqu'il est renversé (retourné sur le dos dans l'eau), s'il présente des réactions de nage coordonnées propres à l'espèce, s'il a un comportement de fuite ou s'il réagit à une stimulation douloureuse (avec une aiguille ou un pincement de nageoire), alors la méthode est inappropriée ou a été mal appliquée. L'absence de ces comportements ou réponses est considérée comme une indication d'inconscience. Il convient toutefois d'être prudent car certaines méthodes d'étourdissement (mélange eau-

glace, électronarcose) peuvent induire une immobilisation ou une paralysie, c'est-à-dire une perte de coordination musculaire et/ou d'activité physique spontanée, sans qu'il y ait inconscience (Lambooij et al., 2002; Croft, 1952). Les poissons qui sont simplement immobilisés ou paralysés ressentent de la douleur, mais sont incapables de l'exprimer par leur comportement (van de Vis et al., 2003a).

Le réflexe vestibulo-oculaire (VOR) (communément appelé roulement des yeux) et les réflexes respiratoires ont été utilisés comme indicateurs de la fonction cérébrale (Kestin et al., 2002a). Dans le cas du VOR, le mouvement de l'œil est observé lorsque le poisson est incliné d'un côté et de l'autre. Chez un poisson mort ou inconscient, l'œil reste immobile, parallèle au crâne. Chez un poisson conservant quelques fonctions cérébrales, l'œil effectue une rotation dorso-ventrale lorsqu'on le retourne (Figure 13). Lambooij et al. (2010) ont cependant suggéré qu'il fallait être prudent quant à l'interprétation du VOR, en effet des enregistrements électroencéphalogramme (EEG) ont montré que certains saumons Atlantiques recouvraient la conscience alors que le VOR était toujours absent. Des mesures neurophysiologiques, telles que l'EEG, l'enregistrement des potentiels évoqués visuels (« visual evoked response » ou VER) et l'électrocardiogramme (ECG) doivent être utilisées en compléments du VOR lors des études expérimentales préalables. De même, dans le cas de la respiration, les mouvements de l'opercule et de la mâchoire inférieure du poisson sont observés lorsque le poisson est placé dans l'eau ou maintenu à l'air. Chez un poisson mort ou inconscient, l'opercule et la mâchoire inférieure ne présentent pas de mouvements rythmiques mais des vibrations peuvent être observées. Par ailleurs, si les réflexes de roulement des yeux/VOR et la respiration sont absents, le poisson est probablement mort ou inconscient (Kestin et al., 2002a).

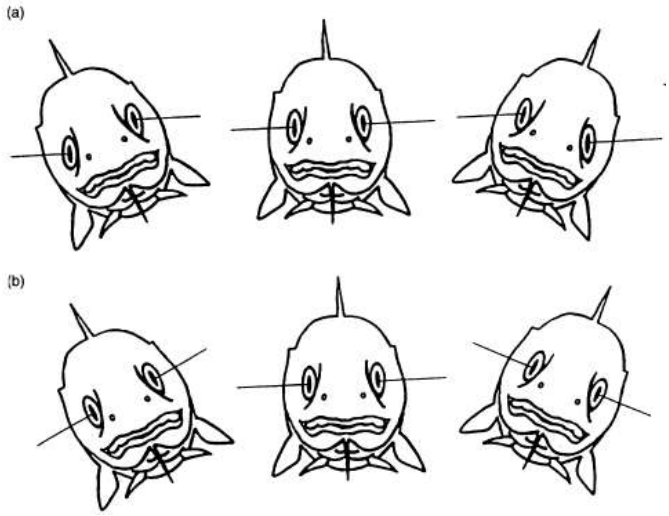


Figure 13. Diagramme illustrant le réflexe vestibulo-oculaire ("Roulement des yeux") (a) chez une morue vivante et (b) son absence chez une morue morte. *Notez le plan de l'axe oculaire dans chaque image. Source : Kestin et al. (2002)*

Pour éviter la douleur et la souffrance, il est nécessaire de supposer qu'un poisson présentant un des indicateurs de conscience cités précédemment est conscient. Afin d'aider les producteurs à utiliser ces indicateurs, plusieurs publications fournissent des tableaux d'indicateurs permettant le contrôle de la perte de conscience (Annexe 1).

L'étourdissement doit conduire à une perte de conscience et de sensibilité le plus rapidement possible (Robb & Kestin, 2002). A défaut, une méthode d'étourdissement, d'autant plus si elle n'est pas rapide, ne doit pas causer de stress avant l'inconscience du poisson. Aujourd'hui, l'abattage des poissons d'élevage est réalisé par différentes méthodes induisant des niveaux de stress variables selon l'espèce et la façon dont elles sont mises en pratique. La méthode d'étourdissement préalable choisie dépend de l'espèce, pour des raisons pratiques ou physiologiques. La réglementation pour les poissons stipule l'évitement de toute souffrance non nécessaire, sans pour autant être plus précise car le bien-être et la protection des poissons dépend au moins autant des conditions d'élevage (qualité de l'eau, oxygène, température) que des procédés d'abattage (Terlouw et al., 2008a).

3.2.1.3. Mise à mort

La mise à mort intervient dans la continuité de la phase d'étourdissement. On peut noter que certaines méthodes d'étourdissement décrites ci-dessous peuvent conduire à la mort des poissons. Il est possible de distinguer les méthodes d'étourdissement et/ou de mise à mort individuelles, pour lesquelles les poissons sont traités un par un, des méthodes en lot. Cette différenciation rejoint souvent la distinction entre les méthodes « à sec », qui sont souvent individuelles, et « dans l'eau » qui sont en général en lot, mais pas toujours. En effet l'asphyxie à l'air est une méthode en lot mais à sec, et la saignée est plus efficace dans l'eau mais résulte le plus souvent d'une opération individuelle.

L'essentiel de cette phase de mise à mort est qu'elle soit la plus rapide et la plus efficace possible pour chaque individu d'un lot, et ne pas permettre une reprise de conscience de l'animal avant la mort. La maîtrise de la mise à mort est indispensable à la réalisation d'un abattage respectueux de la protection animale et à la préservation des qualités du produit.

Pour chacune des méthodes de mise à mort, le taux d'échec (proportion de poissons recouvrant la conscience) doit être évalué pour déterminer l'efficacité de la méthode. Les indicateurs de conscience cités précédemment (cf 0) permettent de mesurer cette efficacité.

3.2.2. Les différentes méthodes d'étourdissement et/ou de mise à mort

3.2.2.1. Étourdissement au gaz

Les méthodes d'étourdissement au gaz ont été introduites et utilisées au cours des trois dernières décennies. Elles consistent à immerger les poissons dans une cuve remplie d'eau, et à saturer ensuite l'eau avec un gaz narcotique (agissant sur le système nerveux central et ayant pour effet de provoquer le sommeil et d'abolir la sensibilité à la douleur), ou anoxique (réduisant le flux d'oxygène vers les tissus (hypoxie) et pouvant conduire à l'asphyxie) (Figure 14). Les gaz narcotiques comprennent par exemple le dioxyde de carbone (CO_2) (Emmanouil & Quock, 2007), l'oxyde de diazote ou gaz hilarant (N_2O), l'éther, le chloroforme, l'halothane et le méthoxyflurane. Il existe une large gamme de gaz pouvant conduire à l'hypoxie tels que le monoxyde de carbone (CO) (Bjorlykke et al., 2013), le cyanure d'hydrogène (HCN), l'azote

(N_2) et l'argon (Ar). Les gaz les plus couramment utilisés sont le CO et le CO_2 ou une combinaison des deux.

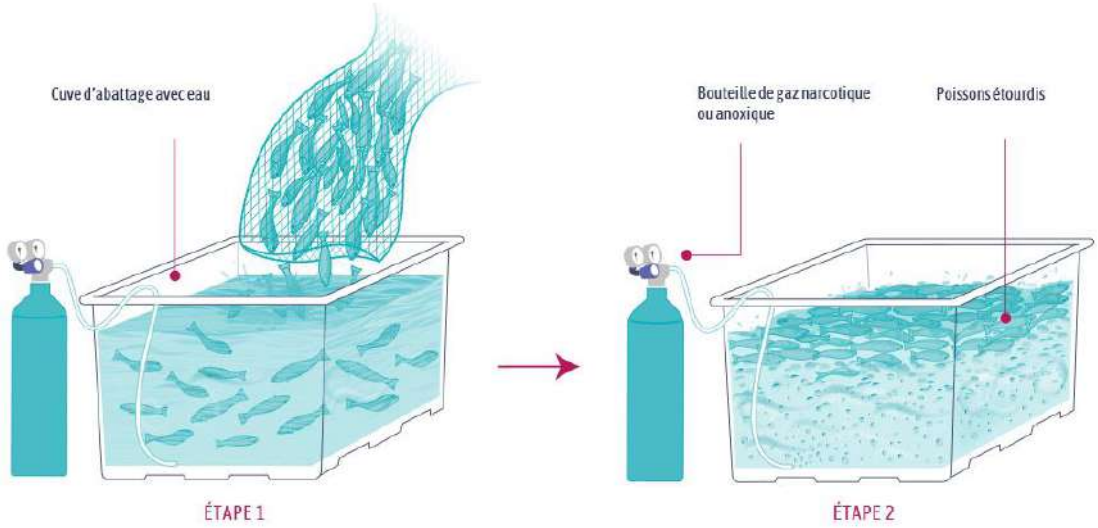


Figure 14. Principe d'un étourdissement au gaz *(Illustration originale du CNR BEA)*

Selon Bjorlykke et ses collaborateurs (2013), la sédation ou l'étourdissement des poissons au moyen de gaz présenterait plusieurs avantages, notamment l'amélioration du taux de réussite de l'étourdissement électrique ou par percussion lorsqu'il est utilisé avant ces techniques. Cependant, la tolérance des poissons à l'hypoxie diffère nettement de celle des mammifères. Par rapport aux animaux terrestres, la mort des poissons est particulièrement difficile à induire par hypoxie en raison d'une adaptation métabolique générale (Bjorlykke et al., 2013).

Utilisation de dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone (CO_2) est reconnu depuis longtemps comme un agent anesthésique puissant et est encore largement utilisé dans l'industrie aquacole de nombreux pays pour immobiliser les poissons avant l'abattage (EFSA, 2009f, 2009i; Robb et al, 2000; van de Vis et al., 2003). Le CO_2 est une alternative économiquement intéressante aux autres anesthésiants pour poissons, et un avantage pratique majeur est qu'il ne laisse aucun résidu nocif dans les poissons produits pour la consommation humaine (Sandblom et al., 2013). L'utilisation du CO_2 a cependant été remise en question du point de vue de la protection animale (EFSA, 2009a, 2009d, 2009e; van de Vis et al., 2003). Plusieurs études indiquent que l'exposition au CO_2 déclenche des réactions comportementales aversives telles que la lutte et la fuite pendant des durées assez longues, de l'ordre de plusieurs minutes (EFSA, 2009a, 2009d, 2009e; Erikson, 2011; Robb et al, 2000; Roth, 2002; van de Vis et al., 2003), et les informations disponibles indiquent que l'exposition à des niveaux anesthésiques de CO_2 provoque une réponse de stress primaire avec libération de cortisol et de catécholamines chez les poissons, ce qui laisse supposer que les poissons ressentent du stress et par conséquence une sensation de mal-être important. (Sandblom et al., 2013).

Robb et ses collaborateurs (2000) ont évalué l'efficacité de l'étourdissement du CO_2 sur des saumons. Lors de l'immersion dans de l'eau saturée en CO_2, les saumons agitaient vigoureusement la tête et la queue, pendant environ deux minutes. Les mouvements diminuaient ensuite jusqu'à immobilisation complète des poissons. Cependant, au moment de la saignée (effectuée 9 minutes après les avoir plongés dans l'eau saturée en CO_2), quelques poissons bougeaient encore. La perte relativement lente du VER lors de la narcose au CO_2 indique que certaines zones du cerveau maintiennent une fonctionnalité pendant plus de 6 minutes pendant lesquelles les poissons peuvent ressentir de la douleur et de la peur lors du processus d'abattage. Aucun poisson n'a montré une perte immédiate du VER, donc aucun n'a probablement été rendu inconscient immédiatement (Robb et al, 2000). La narcose au CO_2 est aversive pour les poissons, comme l'indique clairement une réaction rapide et violente, telle que des nages frénétiques, des tentatives pour s'échapper du bac et une activité anormale avant l'étourdissement. L'immobilité est atteinte en 2 à 4 minutes, mais il a été montré que la durée d'induction de l'inconscience varie selon l'espèce (2 minutes pour le saumon, 3 minutes pour la truite, 9 minutes pour la carpe, 109 minutes pour l'anguille, 7 à 10 minutes pour le bar) (Poli et al., 2005). Le stress provoqué par cette méthode est aussi confirmé par une augmentation du taux d'hématocrite et par une augmentation des niveaux de glucose et de cortisol plasmatique, chez plusieurs espèces (Marx et al., 1999). En général, l'exposition des poissons, comme les autres animaux, à des mélanges gazeux et à des anesthésiques par balnéation, contrairement à certaines autres méthodes d'euthanasie, ne produit pas de perte de conscience immédiate.

Utilisation de diazote

L'utilisation du diazote (N_2) a été suggérée comme une autre méthode d'étourdissement (Wills et al, 2006) et a été testé expérimentalement. Aucun signe d'activité frénétique n'a été observé chez des truites arc-en-ciel qui ont été étourdies après 6-8 minutes (Wills et al, 2006). Cependant, cette méthode d'étourdissement n'est pas recommandée pour le saumon Atlantique (Erikson, 2011).

Utilisation de monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone (CO) est utilisé depuis plus de 30 ans pour l'euthanasie des animaux (Blackmore, 1993). Aucun indicateur physiologique ou comportemental de douleur n'a été démontré avec l'utilisation du CO comme agent d'euthanasie pour les animaux (Bjorlykke et al., 2013). Si l'utilisation du CO semble répondre aux exigences de protection animale, il reste dangereux pour le manipulateur (en cas d'exposition à une concentration très importante de CO, il peut y avoir d'emblée un arrêt respiratoire chez l'homme), et n'est pour l'instant pas utilisé en France. Selon Bjorlykke et ses collaborateurs (2013), aucune réaction d'aversion ne semble être observée chez les poissons avec le CO.

Utilisation de mélanges de gaz

Lors de l'anesthésie ou de l'euthanasie de mammifères au CO_2, de l'oxygène supplémentaire est souvent ajouté au mélange gazeux (on parle d'anesthésie hyperoxique au dioxyde de carbone) pour prévenir l'hypoxémie (diminution anormale de la quantité d'oxygène contenue dans le

sang) et l'asphyxie (sensation du manque d'oxygène) afin de réduire le stress et la souffrance (Coenen et al., 1995; Kohler et al., 1999). Le mélange gazeux CO_2 + O_2 seuls n'a pas été testé chez le poisson, cependant dans une expérimentation, Roque et ses collaborateurs (2021) ont testé un mélange de gaz composé de 40 % de CO_2 + 30 % de N_2 + 30 % d'O_2 sur des daurades. Lorsqu'ils ont été exposés aux mélanges gazeux, les poissons ont perdu l'équilibre à 1 min 12 s ± 32 s. Les enregistrements électroencéphalogrammes indiquent que les poissons ont commencé à perdre conscience lorsqu'ils ont perdu l'équilibre et ont coulé au fond du bassin.

3.2.2.2. Mise à mort par bain d'eau glacée

Cette méthode vise à induire un choc thermique conduisant à la mort des poissons. Comme le soulignent Hovda & Linley (2000), une faible température de l'eau est capable de diminuer l'activité des poissons, leur taux métabolique, leur consommation d'oxygène, ce qui immobilise les poissons jusqu'à leur mort. L'immersion directe dans des bassins remplis d'une solution d'eau glacée (paillettes de glace et eau dans un rapport de 1:2 à 3:1, température <2°C) (Figure 15) est la méthode la plus couramment utilisée par les pisciculteurs pour mettre à mort les espèces méditerranéennes (bar et daurade principalement) abattues à petite échelle (i.e. par lot de quelques centaines de kilos). Cette méthode conduit à la réfrigération des poissons ce qui favorise la qualité sanitaire des produits.

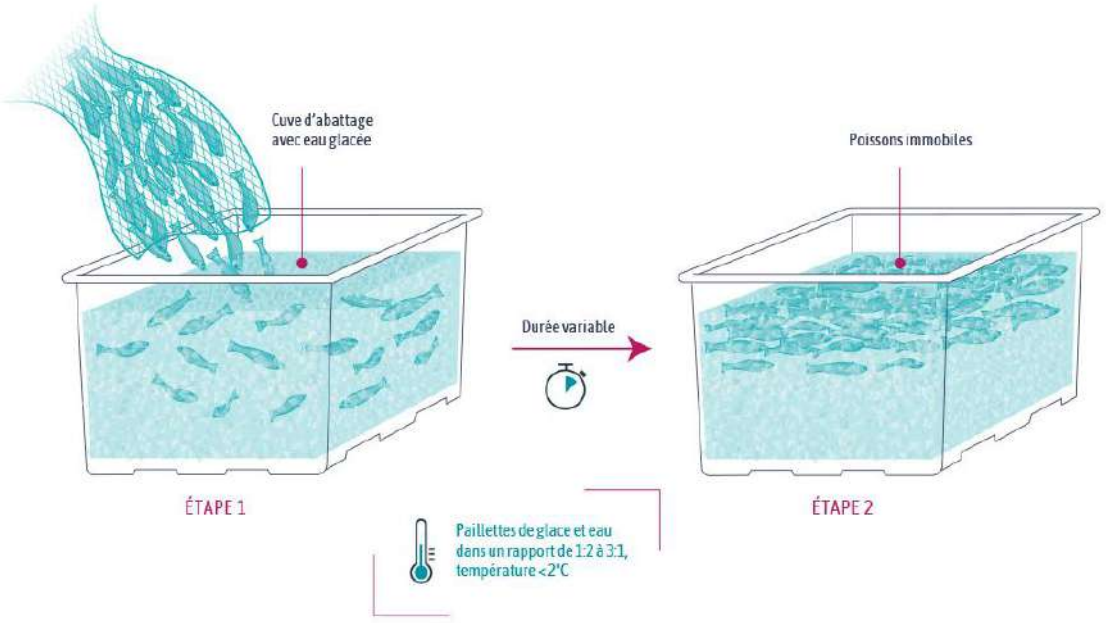


Figure 15. Principe de mise à mort par bain d'eau glacée *(Illustration originale du CNR BEA)*

Dans la pratique, la quantité de poissons placés dans les conteneurs et leur température initiale par rapport à celle du bain d'eau glacée peuvent affecter l'efficacité du refroidissement. Ces baisses rapides de température (le choc froid lié à l'immersion directe) peuvent aussi entraîner des réponses de stress primaires et secondaires chez les poissons, y compris des niveaux plasmatiques élevés de cortisol et de catécholamines (Seth et al., 2013). Le temps d'induction de la mort peut être de plusieurs minutes. Ainsi des mesures neurophysiologiques, telles que

l'EEG et l'ECG ont été utilisées chez certaines espèces pour mesurer le temps d'induction de l'inconscience des poissons après l'utilisation d'un mélange de glace et d'eau comme méthode de mise à mort. Un rythme cardiaque irrégulier a été observé chez les anguilles et les poissons-chats immergés dans de l'eau glacée (E. Lambooij et al., 2002, 2006). Chez ces deux espèces, une faible activité cérébrale (mesurée par EEG) et l'absence de réponse à des stimuli douloureux ont été observées chez les poissons immobilisés après un temps d'exposition allant de 5 à 20 minutes dans l'eau glacée (diminution de 9 °C de la température corporelle des poissons). Une étude récente sur la truite a montré que les scores aux tests de perte de conscience (respiration, équilibre, réponse au pincement de la queue, VOR) restaient supérieurs (i.e. plus de poissons conscients) après l'application d'un bain d'eau glacée, comparé à l'utilisation d'un courant électrique, même après plus de 20 minutes d'immersion dans l'eau glacée (Bermejo-Poza et al., 2021). Toutefois, pour la méthode du bain d'eau glacée, l'évaluation de l'inconscience est difficile car l'occurrence des indicateurs de conscience comme les tentatives d'échappement et la nage active sont fortement diminués par l'effet direct du refroidissement sur la mobilité des poissons.

La méthode d'immersion dans un bain d'eau glacée présente des avantages pratiques tels que sa mise en œuvre relativement simple, peu technologique et à faible coût, ainsi que la réfrigération des poissons associée favorisant la qualité sanitaire et prolongeant la durée de vie des produits. Cependant, l'aspect critique de la méthode d'immersion dans un bain d'eau glacée est la durée longue d'induction de l'inconscience et le manque d'indicateurs fiables permettant d'évaluer son efficacité. En raison de son action lente sur l'activité des poissons et l'incertitude que l'immobilité indique l'inconscience, le Comité scientifique norvégien pour la sécurité alimentaire (VKM) qualifie cette technique d'inappropriée au regard de la protection animale (Hjeltnes et al., 2010). Pour cette raison, cette méthode est considérée comme inacceptable pour les espèces d'eau froide (EFSA, 2009b ; Grigorakis, 2010), car l'induction de la mort est d'autant plus longue que la différence entre la température de l'eau des bassins d'élevage et celle du mélange glace-eau est réduite. Concernant les espèces d'eau chaude, une revue centrée sur les espèces tropicales et subtropicales conclut que cette méthode est stressante et aversive pour les espèces étudiées (Bowman & Gräns, 2019). En ce qui concerne les espèces méditerranéennes (le bar et la daurade principalement), l'EFSA (2009e) n'a pas proposé l'interdiction de cette méthode et a souligné la nécessité de nouvelles recherches de techniques alternatives efficaces et fiables pour ces espèces.

3.2.2.3. Étourdissement et mise à mort par courant électrique

L'électronarcose est une méthode d'étourdissement réalisée avant la mise à mort des poissons qui consiste à appliquer un courant électrique dans l'eau ou à sec. Pour que cette méthode soit efficace, les paramètres (durée, intensité, fréquence) doivent être adaptés à l'espèce et à la taille des poissons, à la méthode utilisée (à sec ou dans l'eau), ainsi qu'à la température, à la conductivité de l'eau et au nombre de poissons dans la cuve. En fonction de la durée du passage du courant, de son intensité et de sa fréquence, l'étourdissement électrique peut également être une méthode de mise à mort : on parle alors d'électrocution.

L'électronarcose est réalisée en faisant traverser un courant électrique dans le cerveau ; parfois associé à un courant qui traverse le cœur de l'animal. Le potentiel électrique traversant le cerveau perturbe l'activité neuronale provoquant un état semblable à la crise d'épilepsie et visible à l'ECG et conduisant à l'arrêt du fonctionnement cérébral induisant l'inconscience et l'arrêt du réflexe de respiration (Lambooij et al., 2010). Le passage du courant dans le cœur provoque une arythmie qui entraîne également une perte de conscience puis la mort de l'animal (i.e. électrocution). Plusieurs systèmes d'électronarcose sont utilisés dans le commerce. Villarroel & Lambooij (2022) citent notamment les méthodes suivantes :

- Électronarcose « head-only dry stunning » : les poissons sont étourdis en faisant passer au niveau de leur tête un courant électrique généré par 2 électrodes disposées à l'air libre. L'opérateur positionne les poissons un par un la tête entre deux électrodes.
- Électronarcose « water bath » : les poissons sont placés avec de l'eau dans un bac avec des électrodes. Un courant est généré entre les électrodes, en utilisant l'eau et les poissons comme conducteur. Cette méthode « en bac » peut également être réalisée sans eau, en utilisant uniquement le corps des poissons comme conducteur (Figure 16).

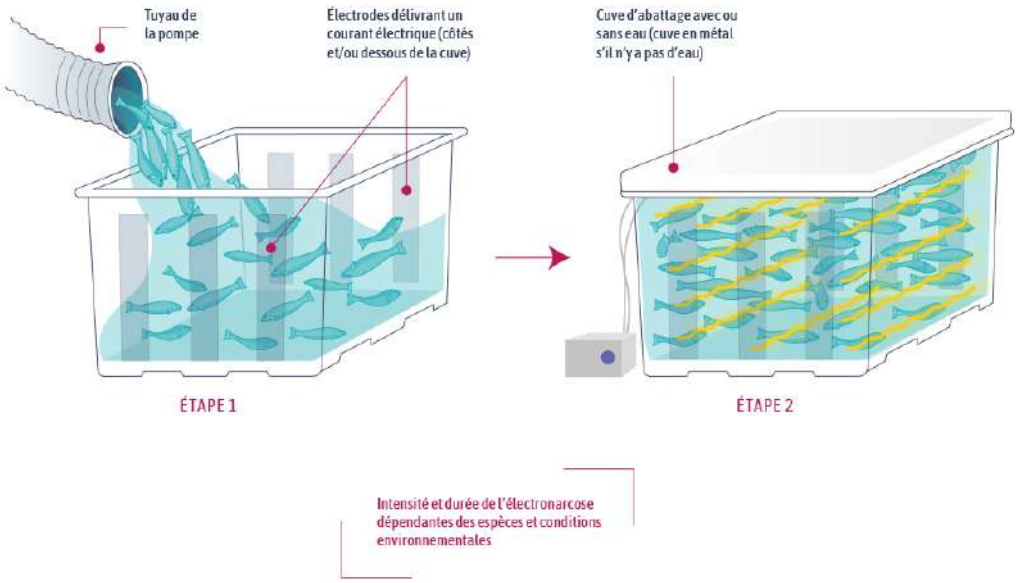


Figure 16. Principe d'un étourdissement par électronarcose « en bac » (ex : « water bath » dans le cas où la cuve est remplie d'eau) *(Illustration originale du CNR BEA)*

- Électronarcose « in-line in-water stunning » : les poissons sont étourdis en passant au travers d'un tuyau par pompage dans lequel est généré un courant électrique (Figure 17).

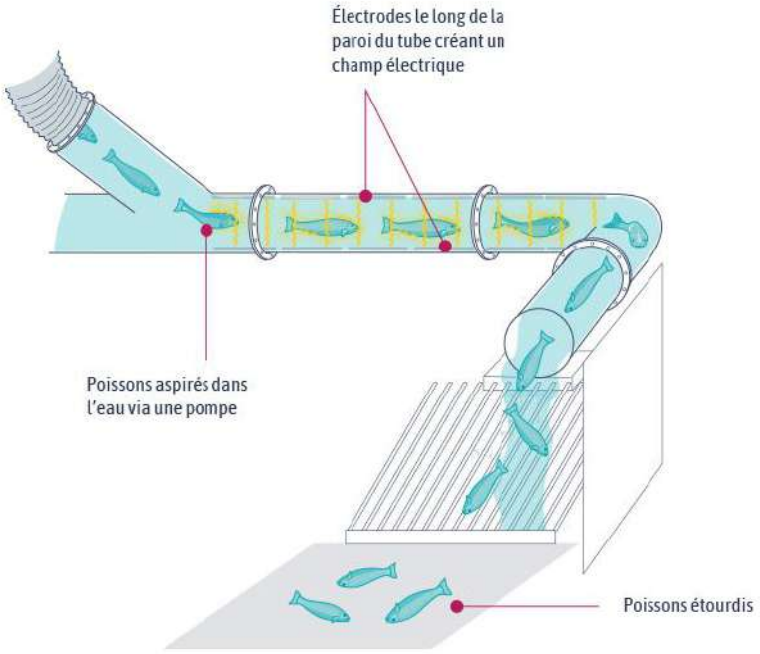


Figure 17. Principe d'un étourdissement par électronarcose « in-line in-water stunning » *(Illustration originale du CNR BEA)*

- Électronarcose « dry stunning » : les poissons sont placés sur un tapis roulant les amenant jusqu'à une rangée d'électrodes délivrant un courant électrique (Figure 18).

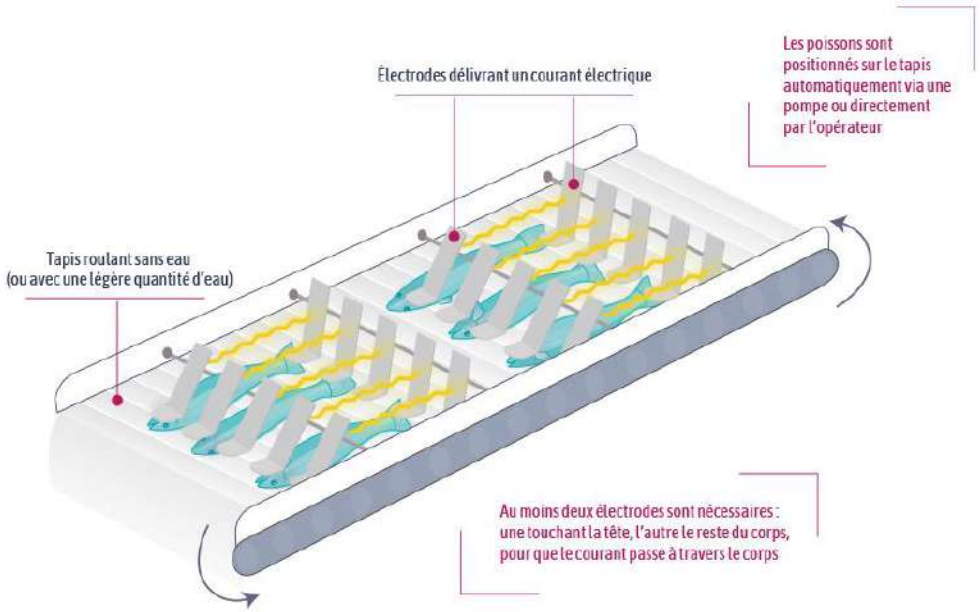


Figure 18. Principe d'un étourdissement par électronarcose « dry stunning » *(Illustration originale du CNR BEA)*

Cette liste n’est pas exhaustive (Welfarm, 2023). Chaque méthode présente des avantages et des inconvénients et elles ne peuvent pas toutes être utilisées dans les mêmes conditions pour des questions pratiques. Par exemple, la difficulté la plus courante avec l'étourdissement à sec est de s'assurer que les poissons ne soient pas exposés à des chocs préalables, par exemple, par l'entrée dans la machine ou par des spasmes du poisson qui lui font perdre le contact avec les électrodes. Dans le cas d'un étourdissement dans l'eau, il est important de s'assurer que le champ électrique dans l'eau soit homogène. La méthode dans l’eau présente l’intérêt de réduire le stress de l’exposition à l’air et à la lumière et de diminuer la probabilité de chocs mécaniques (par rapport aux méthodes sèches). Le choix de la méthode et des paramètres électriques utilisés doit être adapté à l’espèce de poisson à étourdir, à la taille des individus et à leur nombre.

Néanmoins, tous les systèmes d'électronarcose sont conçus pour que les poissons perdent conscience rapidement. Avec les conditions électriques adaptées, certaines espèces de poissons peuvent être inconscientes en moins d'une seconde (Llonch et al., 2012), mais une exposition électrique prolongée, d’une dizaine de secondes à plus d'une minute, est cependant nécessaire pour assurer une durée d’inconscience suffisamment longue de façon à ce que les poissons meurent par électrocution (Robb et al., 2002; Roth et al., 2003; Llonch et al., 2012) ou par l’application d’une autre méthode de mise à mort avant un possible retour de conscience (Retter et al., 2018). En effet, l'étourdissement électrique est en principe réversible, il est donc important que le poisson soit tué immédiatement après, soit par électrocution, soit par l’application d’une autre méthode de mise à mort.

L'étourdissement électrique, en eau ou à sec selon les études, a été expérimenté sur plusieurs espèces telles que la carpe (Retter et al., 2018), le saumon (van de Vis et al., 2003a; Roth et al., 2009; Grimsbo et al., 2014; Robb & Roth, 2003; Erikson et al., 2012), le bar (Lambooij et al., 2008; Papaharisis et al., 2019), la truite (Lines & Kestin, 2004; Lines & Kestin, 2005), la sole (Llonch et al., 2012), la perche (Llonch et al., 2012), la daurade (Papaharisis et al., 2019a; van de Vis et al., 2003a), et le turbot (Morzel et al., 2003). Une grande partie de ces études ont utilisé l'EEG pour vérifier l’état d’inconscience des poissons (B. Lambooij et al., 2008; Llonch et al., 2012; Retter et al., 2018; Robb & Roth, 2003). D'autres études ont utilisé des indicateurs physiologiques et biochimiques du stress aigu tels que les niveaux de glucose plasmatique, de cortisol sanguin, d’hématocrite, de glutathion réduit, de malondialdéhyde (MDA) et le statut énergétique (ratio ADP/ATP) (Daskalova et al., 2016; Digre et al., 2010; Erikson et al., 2012; Grans et al., 2016; Mahmoud et al., 2019; Oliveira Filho et al., 2015; Papaharisis et al., 2019a) ainsi que des indicateurs comportementaux tels que les réactions de fuite, le VOR, la reprise de la respiration et de l’équilibre (Grans et al., 2016; Grimsbo et al., 2014; B. Lambooij et al., 2008; Llonch et al., 2012; Retter et al., 2018; Robb & Roth, 2003) pour évaluer l’efficacité de l'étourdissement.

Ces études ont notamment été réalisées pour déterminer l'intensité, la magnitude, la fréquence et la durée du courant à délivrer en fonction des espèces de poissons. Le choix des paramètres électriques adéquats est essentiel pour garantir un étourdissement efficace. Par exemple, Robb et al. (2002) ont mis en évidence chez la truite arc-en-ciel que la durée de l'étourdissement suite à l'application d'un champ électrique dépendait de l'intensité du courant, de sa durée et de sa fréquence. Ils ont également montré que l'augmentation de l'intensité du courant appliqué se

traduit par une augmentation de la durée de l'inconscience. Les courants élevés (> 150 mA) entraînent la mort (inconscience irréversible). De même, l'augmentation de la durée d'application du courant a d'abord augmenté la durée de l'inconscience, puis a provoqué la mort (> 20 sec). Toutefois, l'augmentation de la fréquence du courant a entraîné une diminution de la durée de l'inconscience et il est probable qu'au-delà d'une fréquence seuil, le poisson ne soit pas étourdi. Robb et al. (2002) ont ainsi défini que pour rendre une truite inconsciente, un courant minimum de 100 mA à 50 Hz doit passer directement à travers la tête pendant 1 seconde. Si le poisson doit être étourdi dans un bain d'eau, une densité de courant d'au moins 8,3 A m^{-2} à 50 Hz doit passer pendant au moins 5 s pour rendre tous les poissons inconscients et pendant au moins 30 s pour tuer tous les poissons. Enfin, en utilisant des densités de courant comprises entre 10,2 et 10,8 A m^{-2} pendant 5 s, une fréquence de forme d'onde de 2000 Hz (ou moins) était nécessaire pour étourdir les poissons. En combinant les trois paramètres, il est possible d'étourdir ou d'étourdir/tuer des truites portions.

Villarroel & Lambooij (2022) ont récemment recensé les paramètres électriques nécessaires pour étourdir en cuve et à sec différentes espèces de poissons (parmi les espèces élevées en France : la carpe, le bar, le saumon, la sole, et le turbot). Néanmoins, avant d'utiliser une pratique d'électronarcose, il est important de tester les paramètres sur un échantillon d'animaux pour valider leurs efficacités. Pour cela, Noble et al. (2020) ont proposé une série de points de contrôle basés sur l'environnement (E), le groupe de poissons (G), ou les individus (I) :

- Les paramètres électriques doivent être conformes aux instructions du fabricant et corrigés en fonction des expériences passées (E),
- Après l'étourdissement : pas de VOR, pas de mouvement operculaire, peu de spasmes musculaires, pas de réflexe après avoir attrapé le poisson par la queue (« tail-grab reflex »), pas de mouvement de nage ou de retour à une position normale (I),
- Absence de récupération des animaux lors d'un test sur 20 poissons pendant 10 minutes post étourdissement (G).

Les auteurs précisent également qu'un système de secours de mise à mort doit être prévu en cas d'échec au contrôle.

Il est à noter que la technique d'étourdissement électrique des poissons peut altérer la qualité des produits de par la présence de points de sang au niveau du muscle notamment (Marx et al., 1999; Roth et al., 2003; Digre et al., 2010; Erikson et al., 2012).

3.2.2.4. L'étourdissement et mise à mort par percussion

Le terme « percussion » décrit le principe de frapper le crâne avec un instrument solide. L'objectif de l'étourdissement par percussion est d'induire une inconscience immédiate. Dans le guide « Humane harvesting of fish » (HSA, 2005) l'étourdissement par percussion est défini comme suit : « Lorsqu'un coup rapide et lourd est correctement appliqué sur le crâne, il produit une accélération rapide de la tête, provoquant la collision du cerveau contre l'intérieur du crâne. Cela provoque une perturbation de l'activité électrique normale résultant d'une augmentation soudaine et massive de la pression intracrânienne suivie d'une diminution tout aussi soudaine

de la pression. Les lésions des nerfs et des vaisseaux sanguins qui en résultent entraînent un dysfonctionnement et/ou une destruction du cerveau et une altération de la circulation sanguine. La durée de l'insensibilité dépend de la gravité des dommages causés aux tissus nerveux et du degré de réduction de l'apport sanguin ».

La percussion manuelle consiste à frapper l'arrière du crâne avec une matraque (Figure 19).

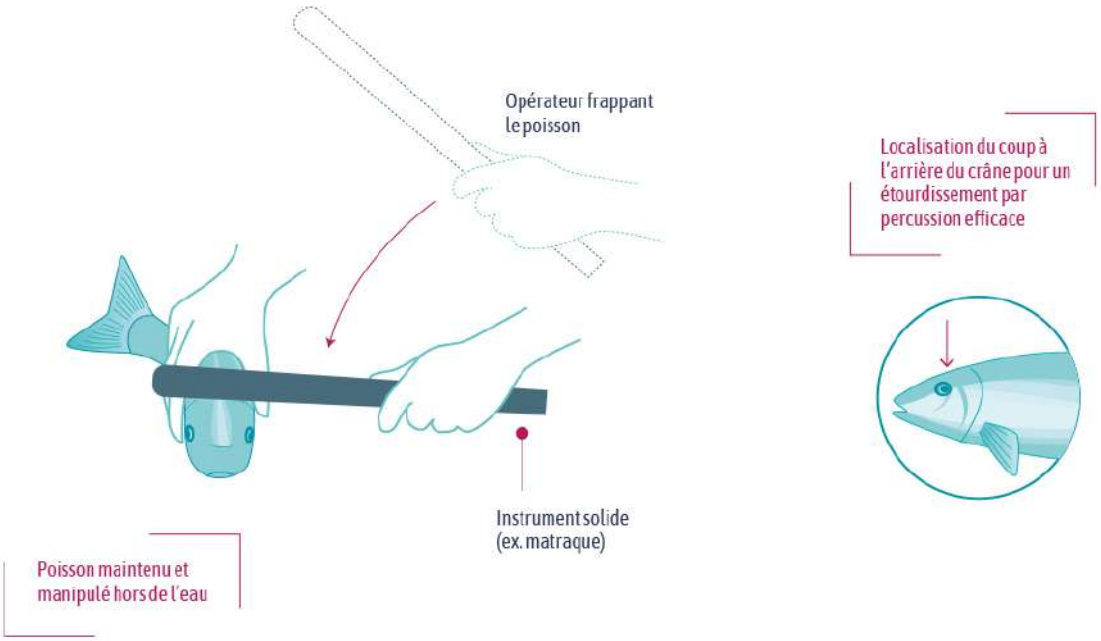


Figure 19. Principe d'un étourdissement par percussion manuelle *(Illustration originale du CNR BEA)*

La percussion peut également être automatique ou semi-automatique (Figure 20). Les appareils d'étourdissement modernes sont des machines à débit continu qui donnent un coup non perforant. Les appareils d'étourdissement automatisés les plus couramment utilisés sont alimentés par de l'air comprimé dont la pression varie entre 90 et 120 psi (6-8 bars). Les modèles récents encouragent les poissons à nager dans les canaux d'entrée de l'ouverture de la machine en s'assurant qu'ils sont en position verticale. Le poisson active le système de déclenchement, ce qui fait que le piston frappe le poisson à la tête, le rendant immédiatement inconscient (Figure 21). Les systèmes automatiques actuellement disponibles ont été développés pour les grands salmonidés tels que le saumon et la truite (plus de 1 kg).

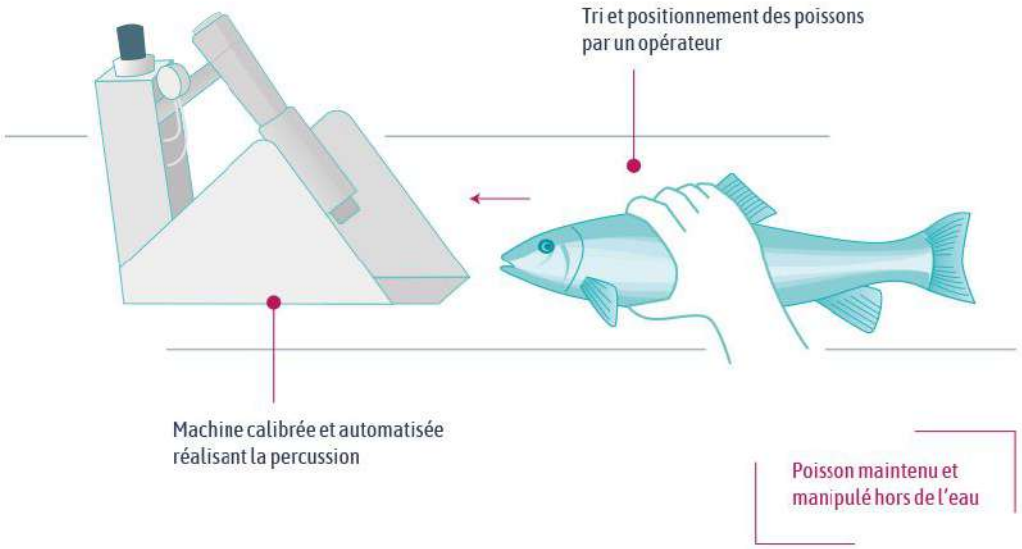


Figure 20. Principe d'un étourdissement par percussion semi-automatique *(Illustration originale du CNR BEA)*

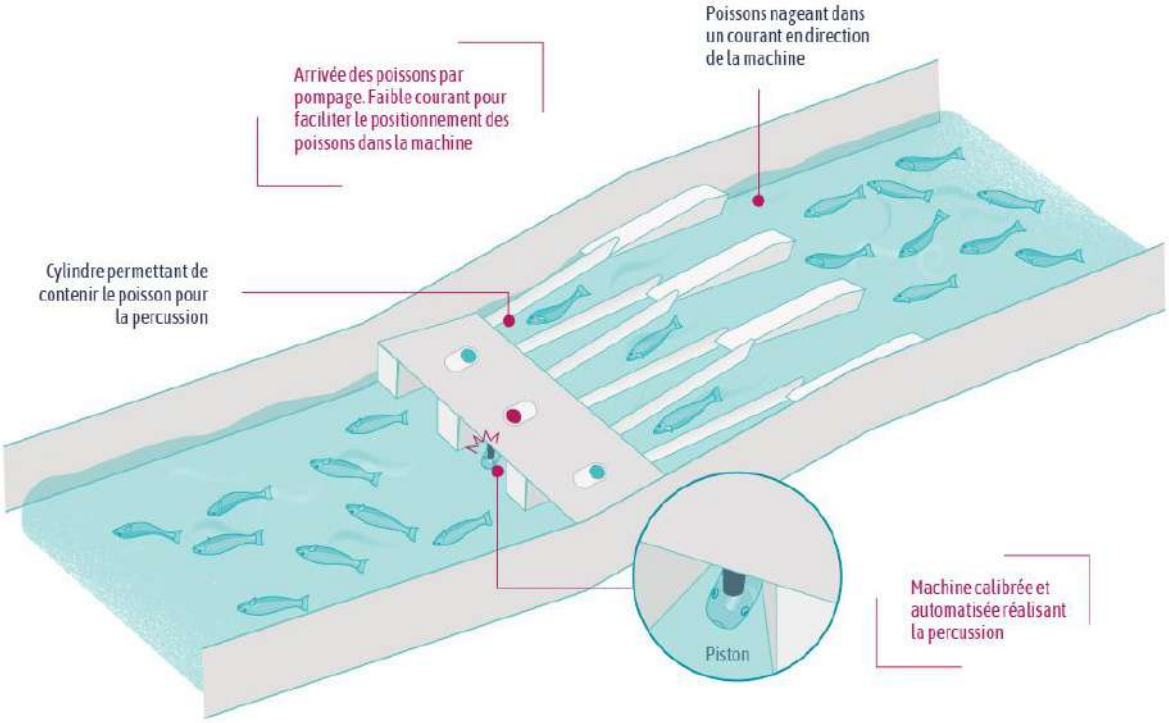


Figure 21. Principe d'un étourdissement par percussion automatique *(Illustration originale du CNR BEA)*

L'acte d'étourdissement par percussion est très fréquemment suivi d'une saignée.

Lorsqu'un poisson est frappé avec suffisamment de force et dans la bonne position, l'étourdissement est irréversible. Pour être efficace et éviter toute souffrance, le poisson doit

être maintenu et le geste doit être précis avec une force mesurée (Roth et al., 2007). Un tressaillement de l'ensemble du corps du poisson est communément interprété comme signe de la mort de l'animal. Cependant, pour certaines espèces comme la daurade, l'anguille et le maquereau africain, la morphologie du crâne empêche une commotion cérébrale suffisante pour induire une perte de conscience (van de Vis et al., 2003a). Les signes d'un étourdissement par percussion efficace sont l'absence de mouvement operculaire, l'absence de mouvement des yeux et le renflement de courte durée de la ceinture musculaire autour de la nageoire pectorale (HSA, 2005).

La percussion manuelle est facile à mettre en œuvre pour des petits lots d'animaux de taille suffisante mais n'est pas très rapide. Elle impose donc un temps d'attente en confinement pour les poissons. Cette méthode est appliquée pour les poissons de grande taille (OMSA, 2022). Le principal risque est le geste répété pour l'opérateur (troubles musculo-squelettiques ou TMS) et donc la perte de précision sur la durée. Si le geste est mal réalisé, les répercussions sur le poisson peuvent être importantes comme des lésions au niveau de la tête (OMSA, 2022) ou la nécessité de s'y prendre à plusieurs reprises (Wall, 2001).

L'automatisation a démontré son utilité pour plusieurs espèces mais peut rendre difficile l'écoulement du sang lors de la saignée (besoin du maintien de la circulation sanguine) en décalant dans le temps le geste d'étourdissement et celui de la saignée (van de Vis et al., 2003a). Il faut également être vigilant sur le calibrage de la machine et des poissons. En effet, un problème de calibration peut provoquer une activation de la détente au mauvais moment, ce qui entraîne un positionnement incorrect du choc.

3.2.2.5. Etourdissement et mise à mort par décérébration ou « spiking »

Cette méthode consiste à détruire le cerveau juste derrière la tête avec un poinçon ou un couteau (Figure 22).

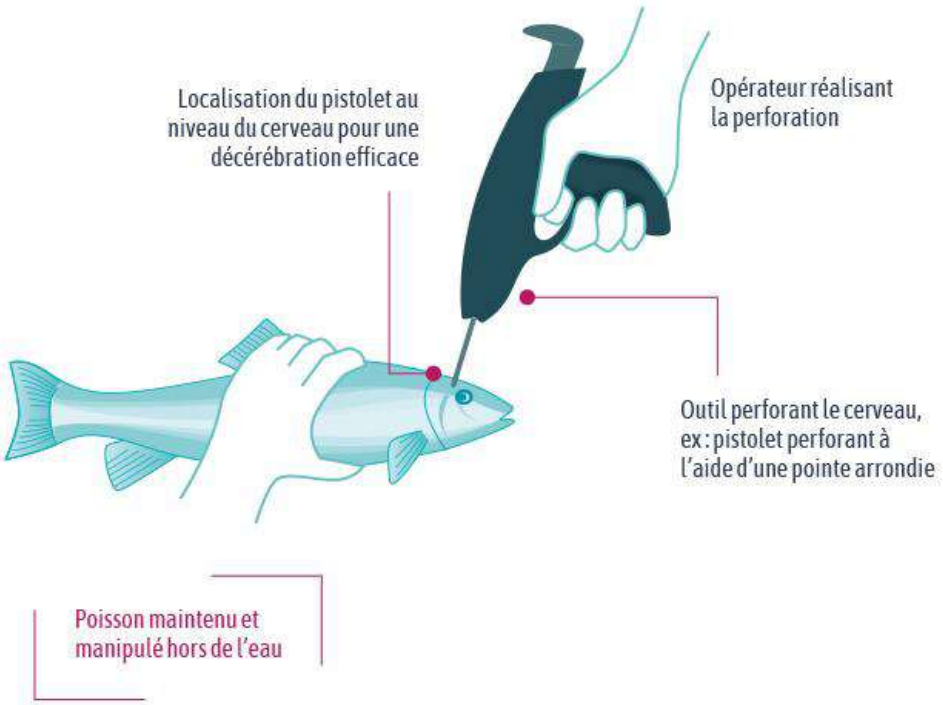


Figure 22. Principe d'un abattage par décérébration *(Illustration originale du CNR BEA)*

Le geste doit être précis pour être efficace. Si la technique est maîtrisée, elle provoque une mort très rapide chez le saumon (Robb et al, 2000) et la daurade (Nakayama et al., 1996). Par contre, si le geste est mal maîtrisé, des signes de douleur et une activité musculaire intense peuvent être observés (Robb et al, 2000). Cette méthode présente les mêmes avantages et inconvénients que ceux décrits précédemment pour la percussion. A cause de la précision requise, la méthode du « spiking » est plus adaptée aux espèces de grande taille que l'on peut maintenir individuellement (saumon, thon, esturgeon, etc.). Cette technique nécessite formation et expérience pour être bien maitrisée par l'opérateur et garantir ainsi la protection animale (mort rapide de l'animal) et la sécurité de l'opérateur (évite blessures avec les outils). Chez le bar, cette technique préserve mieux la qualité des produits que l'immersion dans un bain d'eau glacée (Tulli et al., 2015).

3.2.2.6. Ikejime

Cette méthode, cas particulier du « spiking » précédemment décrit, est une technique traditionnelle japonaise. Elle consiste, comme pour le « spiking », à détruire le cerveau avec une pointe pour provoquer l'inconscience puis la mort du poisson. Mais cette méthode va plus loin, puisque la moelle épinière est ensuite détruite avec un fil métallique passé dans le canal médullaire (Figure 23). L'ikejime comprend donc deux étapes : la décérébration puis la démédullation. Ces étapes sont souvent suivies d'une saignée.

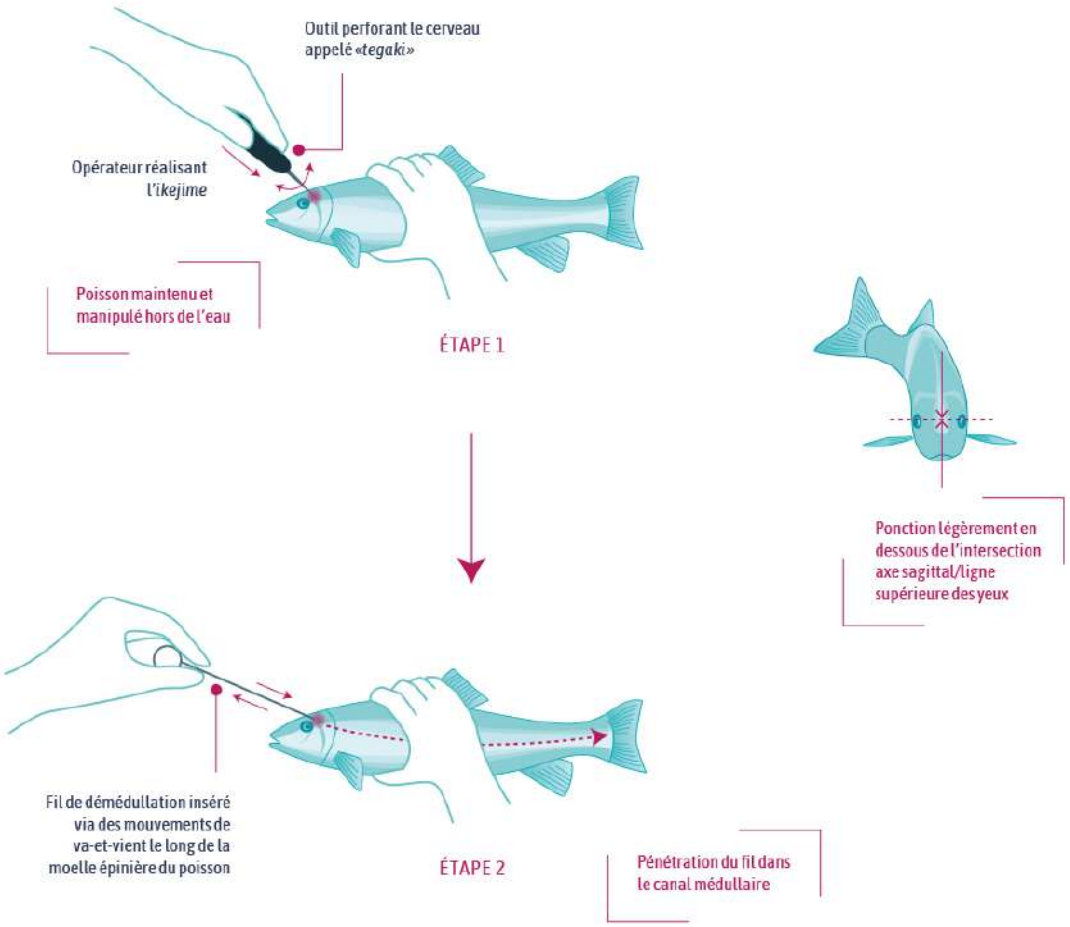


Figure 23. Principe d'un abattage par ikejime *(Illustration originale du CNR BEA)*

L'ikejime est une méthode d'abattage émergente (hors Japon) notamment pour les poissons issus de la pêche. Elle demande précision et savoir-faire de l'opérateur, et nécessite de connaitre l'anatomie du système nerveux de l'espèce concernée pour la bonne mise en œuvre de la méthode (Robb & Kestin, 2002).

La démédullation permet d'éviter les contractions musculaires réflexes et de ralentir les processus d'altération de l'aliment (Terlouw et al., 2021). Toutefois, on ne dispose pas actuellement de suffisamment d'études scientifiques permettant d'étayer l'intérêt de cette méthode par rapport au « spiking » seul, que ce soit sur l'efficacité de l'étourdissement et de la mise à mort ou sur la qualité des produits.

3.2.2.7. Mise à mort par asphyxie à l'air

La méthode de mise à mort par asphyxie à l'air est considérée comme cruelle et ne doit pas être utilisée (Villarroel & Lambooij, 2022). En effet, les poissons ont une respiration aquatique via les branchies, et ne peuvent survivre, pour la plupart, hors de l'eau. Leur maintien hors de l'eau conduit donc à la mort de l'animal après une longue agonie. La perte des fonctions cérébrales peut durer de 3 à 10 minutes en fonction de la température chez la truite, et elle peut durer de 5 à 6 minutes chez la daurade (Robb & Kestin, 2002). Cette période peut même durer plusieurs heures pour des espèces tolérantes à l'hypoxie (carpe, anguille).

3.2.2.8. Mise à mort par saignée

La saignée, indispensable pour les qualités sanitaires et sensorielles des produits, ne doit intervenir qu'après l'étourdissement du poisson. En effet, cette méthode qui consiste à sectionner une grande artère, souvent au niveau des arcs branchiaux (Figure 24), n'entraîne la mort qu'après quelques minutes (Robb & Kestin, 2002; Robb et al, 2000). Dans le cas où il n'y a pas d'étourdissement préalable, la saignée induit des réactions vigoureuses des poissons pendant environ 30 sec. Les mouvements s'atténuent ensuite mais un temps total de 7 min pour l'arrêt total des mouvements a été mesuré chez le saumon (Robb et al, 2000). De plus, des mesures d'EEG montrent que la durée de persistance des VERs est long, de l'ordre de 280 sec chez le saumon (comparé à 16 sec pour la percussion ou 27 pour le « spiking ») (Robb et al, 2000).

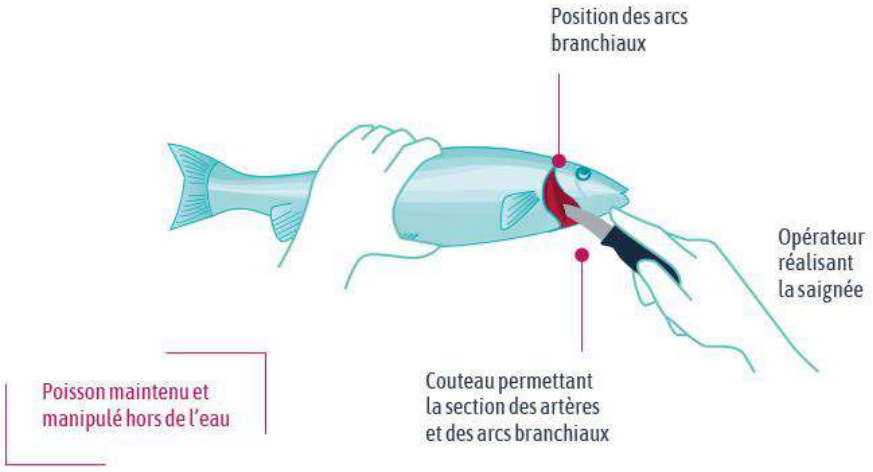


Figure 24. Principe d'une mise à mort par saignée *(Illustration originale du CNR BEA)*

3.2.2.9. Surdosage d'anesthésique

En Europe, l'utilisation d'une surdose d'anesthésique pour entraîner la mort des animaux ne peut pas être utilisée comme méthode d'abattage en vue de la consommation humaine mais peut être utilisée dans certaines conditions (tri des animaux déformés ou agonisants). En effet, avant l'abattage et la commercialisation des poissons, l'éleveur doit garantir le respect des temps d'attente si un médicament vétérinaire a été prescrit durant le temps de l'élevage. Les temps d'attente sont fixés par les autorisations de mise sur le marché (AMM) en fonction de la molécule. En absence d'AMM, ils sont fixés forfaitairement par l'administration ou le vétérinaire. Ces temps d'attente permettent de respecter les limites maximales de résidus (LMR) fixées ou non selon les molécules. Ainsi, il n'est pas possible en Europe d'utiliser des anesthésiques ou des molécules anesthésiantes pour euthanasier des animaux en vue de la consommation car les temps d'attente ne seraient pas respectés. Néanmoins, plusieurs pays comme l'Australie et la Nouvelle-Zélande acceptent l'usage de l'anesthésique AQUI-S à base d'iso-eugénol pour les poissons de consommation avec un temps d'attente nul.

En Europe, pour réduire le stress et la douleur des animaux éliminés lors de tri, en raison de déformation par exemple (par ex. déformation de la colonne vertébrale, opercule trop court, mauvaise métamorphose chez les poissons plats, etc.), cette solution serait à privilégier pour limiter les conséquences négatives sur les poissons. Des bains (d'anesthésique et d'euthanasique) peuvent être préparés et positionnés à proximité des opérateurs permettant d'inclure cette étape dans le cadre du tri des animaux. Deux molécules médicamenteuses, la tricaïne et la benzocaïne, peuvent être utilisées en France. Les molécules sont utilisées en balnéation, la molécule est mise dans un bac d'eau, dans lequel sont ensuite plongés les animaux. Une première dose est utilisée pour anesthésier les poissons. Quand ceux-ci sont profondément anesthésiés, une dose d'anesthésique est ajoutée pour atteindre la dose létale et ainsi effectuer une euthanasie (pour les poissons utilisés à des fins scientifiques : Directive-2010-63-UE). Les doses/concentrations à utiliser pour anesthésier puis euthanasier les animaux sont dépendantes de l'espèce et du stade d'élevage du poisson à euthanasier (Neiffer & Stamper, 2009). Il est important également de prendre en compte la température et la qualité de l'eau pour avoir une bonne induction de l'anesthésique. L'induction doit être inférieure à 5 minutes. Il est à noter que certaines molécules pourraient être perçues comme aversive par certaines espèces et générer du stress avant d'induire l'inconscience (Readman et al, 2013 ; Priborsky & Velisek, 2018 ; Welfarm, 2023).

3.2.3. Combinaison des différentes méthodes

En pratique, les méthodes d'étourdissement et/ou de mise à mort décrites précédemment sont souvent combinées. L'objectif est souvent de réduire le temps d'induction de l'inconscience et d'optimiser les conditions de mise à mort en associant les avantages de différentes méthodes et en limitant les possibles conséquences négatives sur la protection des poissons.

3.2.3.1. Combinaison de méthodes pour augmenter l'efficacité de l'étourdissement

Parmi les combinaisons de méthodes d'étourdissement, on peut citer l'ajout d'azote gazeux au bain d'eau glacé pour réduire plus rapidement la concentration en oxygène dissous et/ou l'ajout d'une quantité modérée de dioxyde de carbone pour son action neurotoxique qui peut être utile pour réduire la durée d'induction de l'inconscience (Zampacavallo et al., 2015). De même, il a été montré chez plusieurs espèces (notamment saumon Atlantique et bar) que l'hypothermie du bain d'eau glacée associée à une dose modérée de dioxyde de carbone réduit le niveau de stress physiologique par rapport à l'utilisation d'une de ces deux méthodes seules (Erikson et al., 2006; Merkin, 2014; Poli et al., 2005).

3.2.3.2. Combinaison de méthodes pour mettre à mort efficacement après l'étourdissement

Pour la mise à mort, certaines méthodes d'étourdissement, comme le CO_2 ou l'électronarcose, peuvent également être utilisées. La saignée, décrite comme une méthode de mise à mort

stressante, est appliquée très souvent comme méthode de mise à mort après une méthode d'étourdissement induisant une sédation profonde.

Des équipements dédiés à un abattage moins stressant pour les poissons ont été développés et sont mis en œuvre dans certaines filières. C'est le cas chez certains producteurs de grandes truites en France qui utilisent une machine à abattre qui, simultanément, assomme le poisson (percussion) et sectionne les arcs branchiaux (saignée).

3.2.4. Comparaison des différentes méthodes

3.2.4.1. Comparaison des méthodes dans la littérature scientifique

A l'issue de ce travail de descriptions des différentes méthodes, l'idéal serait de pouvoir hiérarchiser ces méthodes pour identifier les moins impactantes au regard de la protection des animaux. Nous avons recensé de nombreuses études qui comparent les conséquences de différentes méthodes sur la biologie des principales espèces de poissons élevées en France ou la qualité de leurs produits. L'essentiel de ces travaux est compilé dans le Tableau 10. Pour chaque étude, nous avons extrait l'espèce considérée, le stade (poids moyen des poissons le plus souvent), les méthodes d'étourdissement ou de mise à mort comparées, et le classement de ces méthodes, de la moins stressante à la plus stressante, pour chaque critère mesuré. On peut noter que des molécules d'anesthésique apparaissent dans ce tableau, puisque l'anesthésie est utilisée dans les études expérimentales, comme témoin. Parmi les critères mesurés dans ces études, on trouve des indicateurs de stress physiologique, comme le cortisol ou le lactate plasmatique, très souvent des indicateurs de qualité comme l'indice de *rigor* ou le pH musculaire initial (juste après abattage), et beaucoup plus rarement des critères d'activité cérébrale comme les VERs, ou de comportement.

En conclusion : Le bilan de ce travail est qu'il semble très difficile de dégager une hiérarchie des différentes méthodes testées. Chaque étude est unique en termes d'espèce, de stade physiologique des poissons, de paramètres techniques mis en œuvre pour certaines méthodes. Certaines études n'ont pas de témoins, et comparent et classent différentes méthodes toutes impactant le bien-être des animaux. On peut cependant noter que le tableau suivant souligne **l'effet délétère, comme mentionné précédemment, de méthodes comme l'asphyxie ou la saignée sans étourdissement préalable**. On remarque également que **l'étourdissement par percussion est souvent une méthode moins stressante** dans ces études comparatives. Ce tableau met également en évidence le **manque d'études sur certaines espèces, comme la daurade et le turbot**, pour lesquels les rares études existantes ne rapportent que des critères de qualité très indirects.

Tableau 10. Travaux rapportant des comparaisons entre différentes méthodes d'abattage appliquées à des espèces élevées en France / Europe. AnIE = Anesthésie IsoEugenol*, AnPE = Anesthésie Phénoxy Ethanol*, AnCO = anesthésie huile de clou de girofle*, As = Asphyxie, CO = monoxide de carbone, CO_2 = dioxyde de carbone, EN = électronarcose, IW = Ice Water, N_2 = Azote, NS = non significatif, PS = Percussion, Sa = Saignée, SP = spiking ; pHi = pH musculaire mesuré juste après la mort (<2h), pH3j = pH musculaire mesuré 3 jours après l'abattage ; TAC = Truite Arc-en-Ciel : *Oncorhynchus mykiss* , Saumon : *Salmo salar*, Bar : *Dicentrarchus labrax*, Daurade : *Sparus aurata*, Turbot : *Scophthalmus maximus*, Carpe : *Cyprinus carpio*, Tanche : *Tinca tinca. (Illustration originale du CNR BEA)*

Espèce	Stade	Méthodes / techniques comparées	Critère mesuré	Classement : - stress << + stress	Référence
Salmonidés					
Truite arc-en-ciel					
TAC	≈ 300 g	IW, EN 200mA, EN 400mA	Perte de conscience Cortisol plasmatique Entrée en *rigor*, pHi Glycogène musculaire	EN<IW EN400 < EN200, IW EN<IW EN<IW EN400<IW	(Bermejo-Poza et al., 2021)
TAC	340 g	PS, N_2, As	ATP, pHi	PS<N_2<As	(Wills et al, 2006)
TAC	≈ 350 g	PS, As	Glucose et lactate plasmatique, *rigor* index, pHi	PS<As	(Erikson et al., 2018)
TAC	90-650 g	PS, CO_2, EN	pHi	PS<EN<CO_2	(Marx et al., 1997)
TAC	≈ 700 g	CO, EN, As	pH3j	EN<As (CO intermédiaire)	(Concollato et al., 2019)
TAC	≈ 700 g	CO, EN, As	Lactate plasmatique *Rigor* index, pHi	EN<CO, As EN, CO<As	(Concollato, 2016)

Espèce	Stade	Méthodes / techniques comparées	Critère mesuré	Classement : - stress << + stress	Référence
TAC	730 g	CO, EN	ATP, Contraction des filets	CO<EN	(Concollato et al., 2020)
TAC	≈ 900 g	PS, As	pHi	PS<As	(Duran, 2008)
TAC	0,8-1 kg	As-Ice, EN, Sa	pHi	EN, Sa<As-Ice	(Giuffrida et al., 2007)
Saumon Atlantique					
Saumon	≈ 800 g	PS, CO-1h, CO-2h	*Rigor* Index, pHi	PS<CO	(Bjorlykke et al., 2013)
Saumon	≈ 1 kg	PS, CO-8min, CO-20min	*Rigor* Index, pHi	PS<CO-20min	(Concollato et al., 2014)
Saumon	≈ 2 kg	PS, IW, IW+CO_2	*Rigor* Index, pHi	PS, IW<IW+CO_2	(Erikson et al., 2006)
Saumon	2,4 kg	PS, AnIE*, N_2, CO_2low, CO_2med, CO_2high	Lactate plasmatique pHi	PS<CO_2low<CO_2high<AnIE<CO_2 med<N_2 AnIE<PS, CO_2low<CO_2med<CO_2high<N_2	(Erikson, 2011)
Saumon	2,5-6 kg	PS, CO_2-IW-PS, CO_2-IW-Sa	*Rigor* index, pHi	PS< CO_2-IW-PS<CO_2-IW-Sa	(Roth, 2006)
Saumon	3,4 kg	PS, CO	*Rigor* index pHi	PS<CO	(Bjørge et al., 2011)
Saumon	3-4 kg	7 groupes : +/-IW, +/-CO_2, +/-PS, +/-Sa	Comportement, pHi	Sans CO_2< avec CO_2 (valeurs pH≥6.7)	(Olsen, 2006)
Saumon	4,4 kg	PS, pump-PS, pump-EN	*Rigor* Index, pHi	PS<pump-PS, pump-EN	(Roth et al., 2012)
Saumon	80 cm (!)	PS, EN, CO_2	*Rigor* Index	PS, EN<CO_2	(Roth, 2002)

Espèce	Stade	Méthodes / techniques comparées	Critère mesuré	Classement : - stress << + stress	Référence
Saumon	?	Sa, CO_2-Sa, PS, SP	VERS	PS, SP<Sa, CO_2-Sa	(Robb et al, 2000)
Espèces marines					
Bar					
Bar	≈ 350 g	SP, IW	*Rigor* index	SP=IW	(Tulli et al., 2015)
Bar	350 g	As, As-Ice, CO_2	Cortisol plasmatique *Rigor* Index pHi	Ctrl<CO_2<As-Ice<As CO_2, As-Ice<As CO_2<As-Ice<As (valeurs pH < 6.35)	(Acerete et al., 2009)
Bar	400 g	IW, IW+gas (70%N_2, 30%CO_2), IW+N2(100%)	Durée mise à mort *Rigor* index pHi Lactate plasmatique (5h pm)	IW+gas, IW+N_2<IW IW+gas<IW, IW+N_2 NS IW<IW+gas<IW+N_2	(Zampacavallo et al., 2015)
Bar	≈ 250-450 g	IW, EN	pHi	IW = EN	(Lambooij et al., 2008)
Bar	≈ 500 g	AnCO*, AnPE*, PS, IW, Ice, AnCO+IW	pHi (Rque : pH>7 pour tous)	Ice, IW, AnCO+IW<PS, AnCO, AnPE	(Simitzis et al., 2014)

Espèce	Stade	Méthodes / techniques comparées	Critère mesuré	Classement : - stress << + stress	Référence
Bar	550 g	IW, IW+gas(70%N_2, 30%CO_2), EN 1 ou 2 étapes	Durée mise à mort *Rigor* index pHi Lactate plasmatique (5h pm)	IW+gas<IW IW<IW+gas<EN1, EN2 IW≤EN2≤IW+gas, EN1 IW<IW+gas, EN2, EN1	(Zampacavallo et al., 2015)
Daurade					
Daurade	≈ 300 g	IW, As, PS-IW	*Rigor* index pHi	IW, PS-IW<As PS-IW<IW<As	(Tejada & Huidobro, 2002)
Daurade	420 g	IW, CO_2, CO_2 saturé	pHi	CO_2saturé<CO_2<IW	(Giuffrida et al., 2007)
Daurade	≈ 500 g	An*, IW	pHi	An<IW	(Matos et al, 2010)
Daurade	?	IW, IW-CO_2	pHi	IW=IW-CO_2 (valeurs<6,5)	(Panebianco, 2006)
Turbot					
Turbot	350 g	Sa-IW, IW, PS-Sa-IW	*Rigor* index, pHi	PS<IW, Sa-IW	(Ruff et al., 2002)
Turbot	≈ 500 g	PS, Sa-Ice, EN	*Rigor* index, pHi	PS<Sa-Ice<EN	(Morzel et al., 2003)
Turbot	1,2-1,3 kg	PS, EN-5Hz, EN-80Hz, Sa-Ice	*Rigor* Index pHi	PS<ES-80Hz<Sa-Ice, EN-5Hz PS<<Sa-Ice<EN-5Hz, EN-80Hz	(Roth et al., 2007)
Turbot	2,8 kg	IW, EN	pHi	IW = EN	(Knowles, 2008)

Espèce	Stade	Méthodes / techniques comparées	Critère mesuré	Classement : - stress << + stress	Référence
Autres espèces (eau douce)					
Carpe	150-330 g	PS, CO_2, EN	pHi, *rigor* index	PS<EN<CO_2	(Marx et al., 1997)
Carpe	≈ 350 g	PS, As	pHi	PS<As	(Duran, 2008)
Carpe	≈ 1 kg	AnCO*, IW, CO_2, As	*Rigor* Index pHi	AnCO<IW<CO_2<As AnCO, IW<CO_2<As	(Rahmanifarah et al., 2011)
Carpe	« market size » ?	PS, IW, CO_2	Cortisol plasmatique, pHi	PS<CO_2<IW	(Varga, 2014)
Tanche	≈ 80 g	PS, IW, CO_2, EN	*Rigor* index	PS<CO_2, IW<EN	(Gasco et al., 2014)
Tanche	≈ 160 g	CO, EN, PS	*Rigor* Cortisol branchial pHi	PS<CO<EN CO<PS, EN PS<EN, CO	(Secci et al., 2018)

* : L'anesthésie, avec différentes molécules, est utilisée, dans les études expérimentales, comme témoin.
** : méthode X< méthode Y indique que la méthode X a significativement moins d'effet négatif que la méthode Y sur le critère mesuré.

4. Conclusion : bilan et recommandations

4.1. Bilan relatif aux méthodes étudiées

Seules les principales pratiques d'étourdissement et d'abattage étudiées dans la littérature sont évoquées dans ce travail de synthèse. Le Tableau 11 récapitule les pratiques étudiées dans cette synthèse et leurs avantages et inconvénients au regard de la protection des poissons. Bien que l'analyse des méthodes d'étourdissement et de mise à mort réalisée dans ce document soit centrée sur la protection des poissons, certains avantages et inconvénients techniques sont également mentionnés dans le Tableau 11, en particulier pour remettre en perspective les raisons de l'utilisation sur le terrain ou non des pratiques étudiées.

Les avantages et inconvénients relatifs à la protection des poissons sont indiqués dans le tableau lorsqu'ils ont été montrés a minima chez une espèce et qu'aucune information contradictoire n'a été démontrée chez une autre espèce.

Pour chaque méthode, il est indiqué si celle-ci est utilisée comme méthode d'étourdissement seulement ou de mise à mort uniquement ou si elle peut être utilisée pour étourdir et mettre à mort. Il est à noter que les méthodes qui permettent uniquement d'étourdir les poissons doivent impérativement être suivies par une méthode de mise à mort et que les méthodes qui permettent uniquement de mettre à mort les poissons doivent impérativement être précédées d'une méthode d'étourdissement.

Enfin, il est important de rappeler que pour toutes les pratiques listées dans le tableau ci-dessous, les facteurs contribuant à un étourdissement efficace et à la protection des poissons abattus sont notamment la formation correcte de l'équipe opératoire, l'utilisation d'un équipement adapté, correctement réglé et entretenu, la reconnaissance d'un étourdissement efficace et d'un mauvais étourdissement, et un équipement de secours à portée de main (Annexe 2).

Tableau 11. Tableau récapitulatif des méthodes d'étourdissement et de mise à mort des poissons d'aquaculture étudiées. *(Illustration originale du CNR BEA)*

Méthodes utilisées pour l'abattage								
Méthode	**Description brève**	**Principe biologique**	**Etourdissement / Mise à mort**	**Espèces concernées en France**[20]	**Avantages**		**Inconvénients**	
					Relatif à la protection des poissons	**Autres**	**Relatif à la protection des poissons**	**Autres**
Gaz (CO_2 et N_2)	Immersion des poissons dans une cuve d'eau saturée en gaz anoxique	Hypercapnie (trop de CO_2) et/ou hypoxie (manque d'O_2)	Etourdissement	Truite arc-en-ciel (tous les calibres) Truite fario Saumon de fontaine Omble chevalier	- Possibilité de maintien des poissons dans l'eau depuis l'élevage jusqu'à l'étourdissement	- Relativement peu coûteux - Mise en place simple et rapide (étourdissement par lot) - **CO_2** : Amélioration du taux de réussite d'autres méthodes d'étourdissement	- Durée d'induction de l'inconscience pouvant atteindre plusieurs minutes - Méthode douloureuse / aversive - Réversibilité rapide de l'étourdissement	- Contrôle de l'efficacité de l'étourdissement difficile (lié à la gestion par lot) - Saignée à réaliser rapidement après l'étourdissement
Glace / Bain d'eau glacée	Immersion des poissons dans une cuve remplie de glace ou d'un mélange eau-glace	Choc thermique	Mise à mort	Bar Daurade Maigre Sole	/	- Peu couteux - Mise en place simple et rapide (étourdissement par lot) - Bonne qualité sanitaire des « produits »	- Méthode douloureuse / aversive - Asphyxie des poissons si la quantité d'eau n'est pas suffisante pour immerger l'ensemble des individus - Durée d'induction de l'inconscience pouvant atteindre plusieurs minutes	- Contrôle de l'efficacité de l'étourdissement difficile (lié à l'immobilité induite des poissons et à la gestion par lot)

[20] Dires d'experts de la filière piscicole française

Courant électrique	Application d'un courant électrique au travers des poissons (dans l'eau ou à sec)	Perturbation de l'activité neuronale (électronarcose) + arythmie cardiaque (électrocution)	Etourdissement (électronarcose) + Mise à mort (électrocution)	Truite (tous les calibres) Esturgeon (mâle)	- Induction de l'inconscience immédiate ou quasi-immédiate pour tous les individus lorsque les paramètres sont adaptés - **Méthodes dans l'eau** : possibilité de maintien des poissons dans l'eau depuis l'élevage jusqu'à l'étourdissement	- **Méthodes par lot** : mise en place simple et rapide	- Efficacité de l'étourdissement dépendante de l'application des paramètres électriques adaptés à l'espèce et à la taille des poissons **Méthodes à sec :** - Asphyxie - Douleurs / blessures / stress psychologique liés aux chocs préalables éventuels - **Méthode en bac** : Douleurs / blessures / stress psychologique liées à l'entassement et aux chocs préalables éventuels	- Paramètres électriques à adapter à l'espèce et à la taille des poissons étourdis / mis à mort - Méthodes relativement coûteuses (variable selon les dispositifs) - Saignée à réaliser rapidement après l'étourdissement (si pas d'électrocution) - Altération de la qualité des produits liée à certains paramètres électriques
Percussion	Percussion du crâne du poisson avec un instrument solide	Perturbation de l'activité électrique et de la pression intracrânienne menant au dysfonctionnement et/ou à la destruction du cerveau	Etourdissement + Mise à mort	Grands salmonidés (méthodes automatique et manuelle) Esturgeon-femelle (méthode manuelle)	- Induction de l'inconscience immédiate ou quasi-immédiate pour tous les individus - Etourdissement irréversible lorsqu'il est bien réalisé - **Méthodes dans l'eau** : possibilité de maintien des poissons dans l'eau depuis l'élevage jusqu'à l'étourdissement	- Facilité de contrôle de l'efficacité de l'étourdissement - **Percussion automatique** : rapide et automatique - **Percussion manuelle** : peu coûteux	- **Méthodes à sec** : douleurs / blessures / stress psychologique liés à la sortie de l'eau - **Percussion manuelle** : douleurs / blessures / stress psychologique en cas de geste mal réalisé - **Percussion manuelle et semi-automatique** : confinement / stockage des poissons avant l'étourdissement potentiellement stressant	- Saignée à réaliser rapidement après l'étourdissement - **Percussion automatique** : coûteux **Percussion manuelle :** - Risque de mauvaise réalisation liée à la répétition du geste - Geste technique et précis - Lent

Décérébration	Destruction du cerveau juste derrière la tête avec un poinçon ou un couteau	Destruction du cerveau	Etourdissement + Mise à mort	Plus adapté aux espèces de grande taille (saumon, thon)	- Induction de l'inconscience immédiate ou quasi-immédiate lorsque le geste est bien réalisé	- Facilité de contrôle de l'efficacité de l'étourdissement - Peu coûteux	- Stress psychologique lié à la sortie de l'eau - Douleurs / blessures / stress psychologique en cas de geste mal réalisé - Confinement / stockage des poissons avant l'étourdissement potentiellement stressant	- Risque de mauvaise réalisation liée à la répétition du geste - Geste technique et précis - Lent
Ikejime	Destruction du cerveau avec une pointe suivi de la destruction de la moelle épinière avec un fil métallique passé dans le canal médullaire	Destruction du système nerveux central	Etourdissement + Mise à mort	Bar Grande truite	- Induction de l'inconscience immédiate ou quasi-immédiate lorsque le geste est bien réalisé	- Facilité de contrôle de l'efficacité de l'étourdissement - Peu coûteux	- Stress psychologique lié à la sortie de l'eau - Douleurs / blessures / stress psychologique en cas de geste mal réalisé - Confinement / stockage des poissons avant l'étourdissement potentiellement stressant	- Risque de mauvaise réalisation liée à la répétition du geste - Geste technique et précis - Lent
Asphyxie à l'air	Poissons laissés dans des bacs à l'air libre ou dans des bacs de glace sans eau	Asphyxie	Mise à mort	Toutes espèces	/	/	- Stress physique et psychologique lié à l'asphyxie hors de l'eau - Longue agonie (pouvant durer plusieurs dizaines de minutes)	/
Saignée	Section d'une ou plusieurs artères au niveau des arcs branchiaux	Exsanguination provoquant l'arrêt du cœur	Mise à mort	Espèces de grande taille	Indolore lorsque le poisson est correctement étourdi	Permet de préserver les qualités sanitaires et sensorielles des produits	Si l'étourdissement est mal réalisé : - Stress physique et psychologique - Longue agonie (pouvant durer plusieurs dizaines de minutes)	/

Méthodes utilisées uniquement en expérimentation ou pour d'autres fins que l'abattage								
Méthode	**Description brève**	**Principe biologique**	**Etourdissement / Mise à mort**	**Espèces concernées en France[21]**	**Avantages**		**Inconvénients**	
					Relatif à la protection des poissons	**Autres**	**Relatif à la protection des poissons**	**Autres**
Gaz (CO)	Immersion des poissons dans une cuve d'eau saturée en gaz anoxique	Hypoxie (manque d'O2)	Etourdissement	/	Possibilité de maintien des poissons dans l'eau depuis l'élevage jusqu'à l'étourdissement Aucune réaction aversive observée	Mise en place simple et rapide (étourdissement par lot)	/	Contrôle de l'efficacité de l'étourdissement difficile (lié à la gestion par lot) Dangereux pour le manipulateur (CO)
Surdosage d'anesthésique	Immersion des poissons dans un bain d'eau avec une dose anesthésiante de tricaïne ou benzocaine puis ajout d'une dose létale.	Asphyxie par absence de mouvement operculaire	Etourdissement + Euthanasie	/	Possibilité de maintien des poissons dans l'eau depuis l'élevage jusqu'à l'étourdissement	/	/	Utilisation interdite en Europe pour l'abattage Concentrations à utiliser doivent être adaptées à l'espèce, au stade d'élevage, à la température et à la qualité de l'eau pour une euthanasie efficace

[21] Dires d'experts de la filière piscicole française

4.2. Recommandations générales

Cette synthèse bibliographique a été réalisée à l'initiative du CNR BEA pour répondre à un besoin d'informations scientifiques sur la protection des poissons par les professionnels notamment, en lien avec des préoccupations éthiques et sociétales grandissantes sur ce sujet. Le travail réalisé s'appuie sur un corpus de 248 documents sélectionnés par un comité composé de 9 experts en pisciculture, abattage, physiologie et comportement des poissons. Il a vocation à :

- Faire état des particularités de la filière piscicole française en lien avec les procédés d'abattage et de la réglementation associée,
- Informer sur les connaissances scientifiques relatives aux sensibilités sensorielle et émotionnelle des poissons et sur les indicateurs permettant d'évaluer ces sensibilités,
- Faire état des différents procédés auxquels sont soumis les poissons en contexte d'abattage et informer sur leurs conséquences sur les poissons,
- Faire état des différentes méthodes d'étourdissement et de mise à mort étudiées dans la littérature scientifique et informer sur leurs conséquences sur les poissons.

Au regard des éléments mis en avant dans cette revue et de son expertise du sujet, le comité d'experts dresse dans cette dernière partie les conclusions et recommandations principales à considérer dans le contexte d'abattage des poissons d'élevage.

4.2.1. <u>Le manque de recherche scientifique et technique au regard de la complexité du sujet</u>

Cette synthèse bibliographique décrit les principales méthodes d'abattage des poissons recensées dans la littérature. Au regard des études réalisées sur diverses espèces de poissons, les principaux aspects critiques pour les poissons relatifs aux méthodes d'étourdissement et d'abattage évoquées sont notamment (liste non exhaustive) :

- La mise à mort sans étourdissement préalable,
- Les méthodes impliquant un entassement de poissons vivants,
- Les paramétrages (intensité, durée) d'étourdissement électrique menant à un étourdissement peu ou pas efficace,
- Une durée trop longue entre étourdissement et mise à mort dans le cas d'un étourdissement réversible.

Néanmoins, il est impossible de cibler plus précisément les aspects critiques de chaque pratique d'abattage car la réalité des pratiques sur le terrain n'a pas été étudiée.

Recommandation 1 : Les pratiques, protocoles et équipements d'étourdissement et de mise à mort utilisés en France devraient être davantage recensés et leurs impacts respectifs sur les différentes espèces de poissons concernées devraient être évalués. Ce recensement pourrait être réalisé au travers d'enquêtes et d'entretiens avec des équipementiers ou autres professionnels du secteur, couplés à des observations de terrain.

Ce recensement des pratiques et protocoles utilisés permettrait d'identifier précisément les facteurs à l'origine de douleur et de stress pour les poissons, et ainsi élaborer des guides de bonnes pratiques et des protocoles fiables et rigoureux au regard de la protection des poissons.

Recommandation 2 : Des guides et/ou protocoles techniques devraient être élaborés par les filières, en partenariat avec les instituts techniques et les organismes de recherche. Ces guides devraient être basés sur des études scientifiques et techniques se référant à des témoins non stressés pour évaluer les conséquences des différentes pratiques sur les poissons et pour identifier les paramètres d'étourdissement optimaux. Ces guides devraient être revus et validés par des experts scientifiques en physiologie et comportement des poissons.

Recommandation 3 : Parmi les nombreuses recherches à réaliser pour contribuer à une meilleure protection des poissons dans le contexte d'abattage, davantage de recherches devraient être en particulier consacrées à :

- L'étude de méthodes alternatives à l'utilisation du mélange eau/glace pour la mise à mort sans autre forme d'étourdissement préalable.
- L'étude de l'impact du jeûne sur le comportement des poissons pour compléter les études actuelles sur la protection des poissons au cours de cette étape.
- De même, les effets du stress sur les qualités des produits devraient être vérifiés.

Au-delà de la production de connaissances, la diffusion et la valorisation de celles-ci représentent également un enjeu majeur pour contribuer à la protection des poissons. A titre d'exemple, les connaissances sur les effets du stress sur les qualités des produits pourraient également être valorisées, le cas échéant, comme conséquences positives supplémentaires de la protection animale pour les aquaculteurs.

4.2.2. Le besoin important de diffusion des connaissances

Il est important que les connaissances scientifiques actuelles ou à venir sur les problématiques identifiées dans cette synthèse soient largement diffusées auprès des professionnels du secteur de l'élevage et de l'abattage des poissons d'élevage, et que le personnel soit formé sur les aspects suivants, en particulier (liste non exhaustive) :

- Sensibilité des différentes espèces de poissons,
- Distinction entre immobilité, inconscience et mort,
- Indicateurs de stress des poissons,
- Indicateurs d'inconscience des poissons,
- Indicateurs de mort des poissons.

Recommandation 4 : Des indicateurs fiables de stress et d'inconscience devraient être étudiés pour chaque espèce en contexte d'abattage pour déterminer leur faisabilité, leur répétabilité et leur reproductibilité en pratique. En particulier, des indicateurs comportementaux spécifiques devraient être davantage étudiés pour analyser encore plus finement les impacts des pratiques sur les poissons.

Les indicateurs faisables, répétables et reproductibles en pratiques pourraient alors servir de base à des outils fiables d'autocontrôle ou d'audit.

4.2.3. Le manque de réglementation applicable en contexte de transport et d'abattage des poissons

La réglementation européenne en matière de bien-être et de protection des poissons et sa transposition à l'échelle nationale sont trop peu précises et peu spécifiques pour garantir une réelle protection des poissons en contexte d'abattage. Cette règlementation correspondait à l'état des connaissances au moment de son établissement. Une évolution de la règlementation tenant compte des nouvelles connaissances et de la faisabilité de la mise en place des méthodes devrait être encouragée.

Les conditions de transport des poissons relatives à la protection animale ne sont pas non plus cadrées d'un point de vue réglementaire puisque le règlement du Conseil CE/1/2005 relatif à la protection des animaux pendant le transport n'est pas applicable dans le cas des poissons.

Au vu de ces constats, la révision de la règlementation européenne en matière de bien-être des animaux prévue à partir de 2023 représente une opportunité majeure pour mieux encadrer la prise en compte du bien-être des poissons d'élevage et garantir leur protection en contexte d'abattage.

Recommandation 5 : Le cadre légal relatif à la protection des poissons, en particulier autour de l'abattage, devrait être développé et précisé au travers de la nouvelle règlementation européenne en matière de bien-être des animaux à la lumière des connaissances scientifiques récentes.

Recommandation 6 : Pour éclairer la révision réglementaire en matière de protection des poissons, la Commission Européenne devrait saisir l'EFSA pour évaluer les risques d'atteinte au bien-être des poissons en contexte d'abattage pour l'ensemble des espèces élevées en Europe.

4.2.4. Les contraintes spécifiques de la filière piscicole

Les constats établis précédemment découlent en partie du fait que la filière piscicole est soumise à un certain nombre de contraintes spécifiques qui ne facilitent ni la production de connaissances scientifiques, ni l'appropriation et l'application de ces connaissances. Cette partie vise à expliciter ces contraintes et proposer des pistes d'action en lien avec celles-ci.

La contrainte majeure relative à l'abattage des poissons d'aquaculture est la grande diversité d'espèces élevées et de calibres des poissons. A titre indicatif, plus de dix espèces de poissons différentes sont élevées en France. Or, les pratiques de jeûne, de chargement, de transport et d'abattage sont rarement spécifiques malgré des sensibilités sensorielle et émotionnelle potentiellement très différentes d'une espèce à l'autre (liées aux niches écologiques de chaque espèce). Ce manque de prise en compte des sensibilités spécifiques de chaque espèce peut provoquer du stress et des douleurs depuis la sortie de bassin des individus jusqu'à leur mise à mort. Dans la littérature scientifique, certaines pratiques et/ou paramètres sont étudiés pour une seule espèce. Les conclusions sont difficilement transposables à d'autres espèces, ainsi on manque de connaissances et celles disponibles sont insuffisamment précises pour de nombreuses espèces élevées. De plus, au-delà de l'espèce, le stade de développement et le calibre sont des éléments importants à considérer dans la prise en compte de la sensibilité des individus.

Recommandation 7 : Les différences de sensibilité entre les espèces de poissons et les calibres devraient être davantage étudiées de façon à utiliser des pratiques adaptées aux individus commercialisés.

Malgré leurs différences de sensibilités sensorielle et émotionnelle, le milieu de vie aquatique commun à toutes les espèces de poissons implique des contraintes particulières de gestion. Ce milieu de vie conduit à de nombreuses sources de stress imposées aux poissons au moment de l'abattage (jeûne, exposition à l'air, etc.). En effet, durant la phase de pré-étourdissement, les poissons peuvent être soumis à un jeûne notamment dans le but de limiter la dégradation de la qualité de l'eau (le jeûne sert également à prolonger la durée de conservation des poissons en limitant la contamination fécale) bien que cette période de jeûne soit potentiellement une source de stress chez ces animaux. De plus, les manipulations hors de l'eau et les pratiques « à sec » associées aux phases de pré-étourdissement, d'étourdissement et de mise à mort sont également critiques pour ces animaux aquatiques qui s'asphyxient alors.

En termes de praticité pour les opérateurs, l'abattage en milieu aquatique inclut également des contraintes. Il est notamment plus compliqué d'observer les animaux dans l'eau pour évaluer l'efficacité de l'étourdissement ou le niveau de stress des individus. Il est de fait difficile d'identifier des mauvaises pratiques.

Recommandation 8 : Les manipulations des poissons hors de l'eau devraient être limitées au strict nécessaire et les pratiques « à sec » ne devraient pas être utilisées sur des poissons non étourdis. La durée du jeûne imposée aux poissons avant leur mise à mort devrait être adaptée à l'espèce et à la température de l'eau d'élevage.

Une autre contrainte commune à toutes les espèces de poissons est la gestion par lots. Cette gestion implique entre autres le regroupement des animaux, étape particulièrement à risque de provoquer du stress et d'induire des blessures chez les poissons, et incite également à l'utilisation de pratiques d'étourdissement et de mise à mort par lots pouvant causer des écrasements de poissons les uns sur les autres en cas de fortes densités ou d'entassement des poissons, surtout dans le cas des pratiques à sec. De plus, la gestion par lots des poissons induit des conséquences variables selon l'individu et ne facilite pas l'évaluation de l'inconscience ou de la mort.

Recommandation 9 : La variabilité individuelle est essentielle à considérer dans une gestion par lots d'animaux. Des contrôles devraient être réalisés sur des échantillons suffisamment importants d'individus représentatifs du lot pour s'assurer de l'efficacité des méthodes d'étourdissement.

4.2.5. Considérations économiques, pratiques et socio-culturelles

Il est à noter que le CNR BEA ne traite pas dans cette synthèse des aspects économiques, pratiques, ou socio-culturels relatifs aux différentes pratiques et contextes d'abattage car cela ne rentre pas dans son champ de compétences. Néanmoins, ces aspects devraient être également étudiés pour accompagner au mieux les professionnels vers l'utilisation de pratiques de regroupement, de transport et d'abattage plus respectueuses des poissons. Les institutions publiques (européennes ou nationales) allouant des fonds visant à soutenir des actions dans le domaine de l'aquaculture (ex : FEAMPA) seraient une opportunité intéressante pour acquérir davantage de connaissances et de retours technico-économiques, ainsi que pour le financement des pisciculteurs souhaitant s'équiper avec des postes d'abattage pour gros effectifs respectueux de la protection des poissons, ce qui reste actuellement encore un investissement onéreux.

Bibliographie

Acerete, L., Reig, L., Alvarez, D., Flos, R., & Tort, L. (2009). Comparison of two stunning/slaughtering methods on stress response and quality indicators of European sea bass (Dicentrarchus labrax). *Aquaculture*, *287*(1–2), 139–144. https://doi.org/10/bqrkw3

Agreste. (2011). *Recensements 2008 de la salmoniculture et de la pisciculture marine et des élevages d'esturgeons*.

Agreste. (2019). *Enquêtes aquaculture 2016-2017*.

Agreste. (2020). *Gaph'Agri 2020*.

Agreste. (2021). *Chiffres & Données*.

Agreste. (2022). *Primeur—Pisciculture 2020*.

Agreste. (2023). *Chiffres & Données*.

Alfonso, S., Sadoul, B., Cousin, X., & Bégout, M.-L. (2020). Spatial distribution and activity patterns as welfare indicators in response to water quality changes in European sea bass, Dicentrarchus labrax. *Applied Animal Behaviour Science*, *226*, 104974. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.104974

Alvarez, A., García García, B., Garrido, M. D., & Hernández, M. D. (2008). The influence of starvation time prior to slaughter on the quality of commercial-sized gilthead seabream (Sparus aurata) during ice storage. *Aquaculture*, *284*(1–4), Article 1–4. https://doi.org/10/dpfgvg

Ansai, S., Hosokawa, H., Maegawa, S., & Kinoshita, M. (2016). Chronic fluoxetine treatment induces anxiolytic responses and altered social behaviors in medaka, Oryzias latipes. *Behavioural Brain Research*, *303*, 126–136. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2016.01.050

ANSES. (2018). *Avis relatif au « Bien-être animal: Contexte, définition et évaluation »* (Edition Scientifique) [Expertise collective]. https://www.anses.fr/fr/content/avis-du-ces-sant%C3%A9-et-bien-%C3%AAtre-des-animaux?titre=Bien-%C3%AAtre%20animal%20%3A%20contexte%2C%20d%C3%A9finition%20et%20%C3%A9valuation

Ashley, P. J., Ringrose, S., Edwards, K. L., Wallington, E., McCrohan, C. R., & Sneddon, L. U. (2009). Effect of noxious stimulation upon antipredator responses and dominance status in rainbow trout. *Animal Behaviour*, *77*(2), 403–410. https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2008.10.015

Ashley, P. J., Sneddon, L. U., & McCrohan, C. R. (2007). Nociception in fish: Stimulus–response properties of receptors on the head of trout Oncorhynchus mykiss. *Brain Research*, *1166*, 47–54. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.07.011

Authority (EFSA). (2009a). Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed Atlantic Salmon. *EFSA Journal*, *7*(4), 1011. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1011

Authority (EFSA). (2009b). Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed Carp. *EFSA Journal*, *7*(4). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1013

Authority (EFSA). (2009c). Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed Eels (Anguilla Anguilla). *EFSA Journal*, *7*(4). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1014

Authority (EFSA). (2009d). Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed fish: Rainbow Trout. *EFSA Journal*, *7*(4). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1012

Authority (EFSA). (2009e). Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed Seabass and Seabream. *EFSA Journal*, *7*(4). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1010

Authority (EFSA). (2009f). Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed tuna. *EFSA Journal*, *EFSA Journal*. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1072

Authority (EFSA). (2009g). Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed turbot. *EFSA Journal*, *EFSA Journal*. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1073

Authority (EFSA), E. F. S. (2008a). Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed Atlantic salmon—Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. *EFSA Journal*, *6*(7), 736. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.736

Authority (EFSA), E. F. S. (2008b). Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed common carp. *EFSA Journal*, *6*(12), 843. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.843

Authority (EFSA), E. F. S. (2008c). Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed European seabass and gilthead seabream—Scientific Opinion of the Panel. *EFSA Journal*, *6*(11), 844. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.844

Authority (EFSA), E. F. S. (2008d). Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed fish—European eel—Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. *EFSA Journal*, *6*(10), 809. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.809

Authority (EFSA), E. F. S. (2008e). Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed trout—Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. *EFSA Journal*, *6*(10), 796. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.796

Baciadonna, L., & McElligott, A. (2015). The use of judgement bias to assess welfare in farm livestock. *Animal Welfare*, *24*(1), 81–91. https://doi.org/10.7120/09627286.24.1.081

Bagni, M., Civitareale, C., Priori, A., Ballerini, A., Finola, M., Brambilla, G., & Marino, G. (2007). Pre-slaughter crowding stress and killing procedures affecting quality and welfare in sea bass (Dicentrarchus labrax) and sea bream (Sparus aurata). *Aquaculture*, *263*(1–4), Article 1–4. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.049

Barlow, L. A., & Northcutt, R. G. (1997). Taste buds develop autonomously from endoderm without induction by cephalic neural crest or paraxial mesoderm. *Development*, *124*(5), 949–957. https://doi.org/10.1242/dev.124.5.949

Barton, B. A. (2000). Salmonid Fishes Differ in Their Cortisol and Glucose Responses to Handling and Transport Stress. *North American Journal of Aquaculture*, *62*(1), 12–18. https://doi.org/10.1577/1548-8454(2000)062<0012:SFDITC>2.0.CO;2

Barton, B. A. (2002). Stress in Fishes: A Diversity of Responses with Particular Reference to Changes in Circulating Corticosteroids1. *Integrative and Comparative Biology*, *42*(3), 517–525. https://doi.org/10.1093/icb/42.3.517

Bermejo-Poza, R., De la Fuente, J., Pérez, C., Gonzalez de Chavarri, E., Diaz, M. T., Torrent, F., & Villarroel, M. (2017). Determination of optimal degree days of fasting before slaughter in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss. *Aquaculture*, *473*, 272–277. https://doi.org/10/gjpvzh

Bermejo-Poza, R., De la Fuente, J., Perez, C., Lauzurica, S., Gonzalez de Chavarri, E., Diaz, M. T., & Villarroel, M. (2016). Reducing the effect of pre-slaughter fasting on the stress response of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). *Animal Welfare*, *25*(3), Article 3. https://doi.org/10/f84pqb

Bermejo-Poza, R., Fernández-Muela, M., De la Fuente, J., Pérez, C., Gonzalez de Chavarri, E., Diaz, M. T., Torrent, F., & Villarroel, M. (2019). Physio-metabolic response of rainbow trout during prolonged food deprivation before slaughter. *Fish Physiology and Biochemistry*, *45*(1), Article 1. https://doi.org/10/gjpvzm

Bermejo-Poza, R., Fernández-Muela, M., De la Fuente, J., Pérez, C., González de Chavarri, E., Díaz, M. T., Torrent, F., & Villarroel, M. (2021). Effect of ice stunning versus electronarcosis on stress response and flesh quality of rainbow trout. *Aquaculture*, *538*, 736586. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736586

Bjørge, M. H., Nordgreen, J., Janczak, A. M., Poppe, T., Ranheim, B., & Horsberg, T. E. (2011). Behavioural changes following intraperitoneal vaccination in Atlantic salmon (Salmo salar). *Applied Animal Behaviour Science*, *133*(1), 127–135. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.04.018

Bjorlykke, G. A., Kvamme, B. O., Raae, A. J., Roth, B., & Slinde, E. (2013). Slaughter of Atlantic salmon (Salmo salar L.) in the presence of carbon monoxide. *Fish Physiology and Biochemistry*, *39*(4), 871–879. https://doi.org/10.1007/s10695-012-9747-5

Blackmore, D. (1993). Euthanasia; not always Eu. *Australian Veterinary Journal*, *70*(11), 409–413. https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1993.tb06074.x

Boissy, A., Manteuffel, G., Jensen, M. B., Moe, R. O., Spruijt, B., Keeling, L. J., Winckler, C., Forkman, B., Dimitrov, I., Langbein, J., Bakken, M., Veissier, I., & Aubert, A. (2007). Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. *Physiology & Behavior*, *92*(3), 375–397. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.02.003

Bourguet, C., Deiss, V., Boissy, A., Andanson, S., & Terlouw, E. M. C. (2011). Effects of feed deprivation on behavioral reactivity and physiological status in Holstein cattle1. *Journal of Animal Science*, *89*(10), 3272–3285. https://doi.org/10.2527/jas.2010-3139

Bowman, J. & Gräns, A. (2019). *Stunning and Killing of Tropical and Subtropical Finfish in Aquaculture during Slaughter.*

Boyd, C. E. (1982). *Water quality management for pond fish culture.*

Braithwaite, V. A., & Ebbesson, L. O. E. (2014). Pain and stress responses in farmed fish. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*, *33*(1), 245–253. https://doi.org/10/gh6g2g

Brown, J. A., Watson, J., Bourhill, A., & Wall, T. (2010). Physiological welfare of commercially reared cod and effects of crowding for harvesting. *Aquaculture*, *298*(3), Article 3. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.10.028

Caputi, A. A., Carlson, B. A., & Macadar, O. (2005). Electric Organs and Their Control. In T. H. Bullock, C. D. Hopkins, A. N. Popper, & R. R. Fay (Eds.), *Electroreception* (pp. 410–451). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-28275-0_14

CIPA, Comité National de la Conchyliculture, & Régions de France. (2023). *Plan aquacultures d'avenir 2021-2027*.

Coenen, A. M. L., Drinkenburg, W. H. I. M., Hoenderken, R., & van Luijtelaar, E. L. J. M. (1995). Carbon dioxide euthanasia in rats: Oxygen supplementation minimizes signs of agitation and asphyxia. *Laboratory Animals*, *29*(3), 262–268. https://doi.org/10.1258/002367795781088289

Commission européenne. (2017). *Welfare of farmed fish: Common practices during transport and at slaughter : executive summary.* [Website]. Publications Office of the European Union. http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/59cfd558-cda5-11e7-a5d5-01aa75ed71a1/language-en

Commission Européenne. (2018). *RAPPORT DE LA COMMISSION AU PARLEMENT EUROPÉEN ET AU CONSEIL sur la possibilité d'introduire certaines prescriptions relatives à la protection des poissons au moment de leur mise à mort*.

Commission européenne. (2018). *RAPPORT DE LA COMMISSION AU PARLEMENT EUROPÉEN ET AU CONSEIL sur la possibilité d'introduire certaines prescriptions relatives à la protection des poissons au moment de leur mise à mort* (p. 16).

Commission Européenne. (2021a). *Orientations stratégiques pour une aquaculture plus durable et compétitive dans l'Union européenne pour la période 2021-2030*.

Commission Européenne. (2021b). *Roadmap of future mandates to EFSA in the field of Animal Welfare*.

Commission Européenne. (2022). *Fitness Check of the EU Animal Welfare legislation*.

Concollato, A. (2016). Carbon monoxide stunning of Atlantic salmon (Salmo salar L.) modifies rigor mortis and sensory traits as revealed by NIRS and other instruments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *96*(10), 3524–3535. https://doi.org/10/f8t7gh

Concollato, A., Parisi, G., Olsen, R. E., Kvamme, B. O., Slinde, E., & Zotte, A. D. (2014). Effect of carbon monoxide for Atlantic salmon (Salmo salar L.) slaughtering on stress response and fillet shelf life. *Aquaculture*, *433*, 13–18. https://doi.org/10/f6j5zr

Concollato, A., Secci, G., Dalle Zotte, A., Vargas, S. C., Olsen, R. E., Lira de Medeiros, A. C., & Parisi, G. (2020). Effects of stunning methods on pre rigor changes in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) reared at two different temperatures. *Italian Journal of Animal Science*, *19*(1), 477–486. https://doi.org/10/gg4jtd

Concollato, A., Zotte, A. D., Vargas, S. C., Cullere, M., Secci, G., & Parisi, G. (2019). Effects of three different stunning/slaughtering methods on physical, chemical, and sensory changes in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(2), 613–619. https://doi.org/10/ghtzxm

Conseil consultatif de l'aquaculture (CCA). (2019). *Bien-être des poissons lors de l'abattage*.

Conseil consultatif de l'aquaculture (CCA). (2022a). *Recommandation sur la création d'un centre de référence en matière de bien-être des poissons*.

Conseil consultatif de l'aquaculture (CCA). (2022b). *Recommandation sur le bien-être des poissons durant leur transport*.

Conseil de l'Union européenne. (1998). *DIRECTIVE 98/58/CE DU CONSEIL du 20 juillet 1998 concernant la protection des animaux dans les élevages*.

Conseil de l'Union européenne. (2004). *Règlement (CE) No 1/2005 DU CONSEIL du 22 décembre 2004 relatif à la protection des animaux pendant le transport et les opérations annexes et modifiant les directives 64/432/CEE et 93/119/CE et le règlement (CE) no 1255/97*.

Conseil de l'Union européenne. (2007). *Traité de Lisbonne modifiant le traité sur l'Union européenne et le traité instituant la Communauté européenne, signé à Lisbonne le 13 décembre 2007*.

Conseil de l'Union européenne. (2009a). *Règlement (CE) no 710/2009 de la Commission du 5 août 2009 modifiant le règlement (CE) no 889/2008 portant modalités d'application du règlement (CE) no 834/2007 du Conseil en ce qui concerne la production biologique d'animaux d'aquaculture et d'algues marines*.

Conseil de l'Union européenne. (2009b). *Règlement (CE) no 1099/2009 du Conseil du 24 septembre 2009 sur la protection des animaux au moment de leur mise à mortTexte présentant de l'intérêt pour l'EEE*.

Croft, P. G. (1952). The Effect of Electrical Stimulation of the Brain on the Perception of Pain. *Journal of Mental Science*, *98*(412), 421–426. https://doi.org/10.1192/bjp.98.412.421

Danley, M. L., Kenney, P. B., Mazik, P. M., Kiser, R., & Hankins, J. A. (2005). Effects of Carbon Dioxide Exposure on Intensively Cultured Rainbow Trout Oncorhynchus mykiss: Physiological Responses and Fillet Attributes. *Journal of the World Aquaculture Society*, *36*(3), 249–261. https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2005.tb00329.x

Daskalova, A., Pavlov, A., Kyuchukova, R., & Daskalov, H. (2016). Humane Slaughter of Carp—A Comparison between Three Stunning Procedures. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *16*(4), 753–758. https://doi.org/10/ggvs6q

Delfosse, C. (2017). *METHODES D'EVALUATION ET DE CONTROLE DU STRESS CHEZ LES SALMONIDES D'ELEVAGE: IMPLICATIONS SANITAIRES, ZOOTECHNIQUES ET ENVIRONNEMENTALES*.

Diggles, B. K., Arlinghaus, R., Browman, H. I., Cooke, S. J., Cooper, R. L., Cowx, I. G., Derby, C. D., Derbyshire, S. W., Hart, P. J., Jones, B., Kasumyan, A. O., Key, B., Pepperell, J. G., Rogers, D. C., Rose, J. D., Schwab, A., Skiftesvik, A. B., Stevens, D., Shields, J. D., & Watson, C. (2023). Reasons to Be Skeptical about Sentience and Pain in Fishes and Aquatic

Invertebrates. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 1–24. https://doi.org/10.1080/23308249.2023.2257802

Digre, H., Erikson, U., Misimi, E., Lambooij, B., & vans de Vis, H. (2010). Electrical stunning of farmed Atlantic cod Gadus morhua L.: A comparison of an industrial and experimental method. *Aquaculture Research*, *41*, 1190–1202. https://doi.org/10/bkr87h

Doyle, R. E., Lee, C., Deiss, V., Fisher, A. D., Hinch, G. N., & Boissy, A. (2011). Measuring judgement bias and emotional reactivity in sheep following long-term exposure to unpredictable and aversive events. *Physiology & Behavior*, *102*(5), 503–510. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.01.001

Dunlop, R., Millsopp, S., & Laming, P. (2006). Avoidance learning in goldfish (Carassius auratus) and trout (Oncorhynchus mykiss) and implications for pain perception. *Applied Animal Behaviour Science*, *97*(2), 255–271. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.06.018

Duran, A. (2008). Effects of slaughter methods on physical, biochemical and microbiological quality of rainbow trout Oncorhynchus mykiss and mirror carp Cyprinus carpio filleted in pre-, in- or post-rigor periods. *Fisheries Science*, *74*(5), 1146–1156. https://doi.org/10/cfhxp2

Eckroth, J. R., Aas-Hansen, Ø., Sneddon, L. U., Bichão, H., & Døving, K. B. (2014). Physiological and Behavioural Responses to Noxious Stimuli in the Atlantic Cod (Gadus morhua). *PLOS ONE*, *9*(6), e100150. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100150

Egan, R. J., Bergner, C. L., Hart, P. C., Cachat, J. M., Canavello, P. R., Elegante, M. F., Elkhayat, S. I., Bartels, B. K., Tien, A. K., Tien, D. H., Mohnot, S., Beeson, E., Glasgow, E., Amri, H., Zukowska, Z., & Kalueff, A. V. (2009). Understanding behavioral and physiological phenotypes of stress and anxiety in zebrafish. *Behavioural Brain Research*, *205*(1), 38–44. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.06.022

Einen, O., Thomassen, M. S., & Waagan, B. (1998). Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (Salmo salar) I. Effects on weight loss, body shape, slaughter- and fillet-yield, proximate and fatty acid composition. *Aquaculture*, *166*(1–2), Article 1–2. https://doi.org/10/fq5bc3

Ellis, T., Yildiz, H. Y., López-Olmeda, J., Spedicato, M. T., Tort, L., Øverli, Ø., & Martins, C. I. M. (2012). Cortisol and finfish welfare. *Fish Physiology and Biochemistry*, *38*(1), 163–188. https://doi.org/10.1007/s10695-011-9568-y

Emmanouil, D. E., & Quock, R. M. (2007). Advances in Understanding the Actions of Nitrous Oxide. *Anesthesia Progress*, *54*(1), 9–18. https://doi.org/10.2344/0003-3006(2007)54[9:AIUTAO]2.0.CO;2

Erikson, U. (2011). Assessment of different stunning methods and recovery of farmed Atlantic salmon (Salmo salar): Isoeugenol, nitrogen and three levels of carbon dioxide. *Animal Welfare*, *20*(3), 365–375.

Erikson, U. (2016). Crowding of Atlantic salmon in net-pen before slaughter. *Aquaculture*, *465*, 395–400. https://doi.org/10/f87v5j

Erikson, U., Hultmann, L., & Steen, J. E. (2006). Live chilling of Atlantic salmon (Salmo salar) combined with mild carbon dioxide anaesthesiaI. Establishing a method for large-scale

processing of farmed fish. *Aquaculture*, *252*, 183–198. https://doi.org/doi:10.1016/j.aquaculture.2005.05.013

Erikson, U., Lambooij, B., Digre, H., Reimert, H. G. M., Bondo, M., & van der Vis, H. (2012). Conditions for instant electrical stunning of farmed Atlantic cod after de-watering, maintenance of unconsciousness, effects of stress, and fillet quality—A comparison with AQUI-S (TM). *Aquaculture*, *324*, 135–144. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.10.011

Erikson, U., Shabani, F., Beli, E., Muji, S., & Rexhepi, A. (2018). The impacts of perimortem stress and gutting on quality index and colour of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) during ice storage: A commercial case study. *European Food Research and Technology*, *244*(2), 197–206. https://doi.org/10/gcwvt3

Federation of European Aquaculture Producers (FEAP). (2023). *European Aquaculture Production Report 2015-2021*.

Foss, A., Grimsbø, E., Vikingstad, E., Nortvedt, R., Slinde, E., & Roth, B. (2012). Live chilling of Atlantic salmon: Physiological response to handling and temperature decrease on welfare. *Fish Physiology and Biochemistry*, *38*(2), 565–571. https://doi.org/10.1007/s10695-011-9536-6

FranceAgriMer. (2013). *Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture 2012*.

FranceAgriMer. (2014). *Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture 2013*.

FranceAgriMer. (2015). *Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture 2014*.

FranceAgriMer. (2016). *Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture 2015*.

FranceAgriMer. (2017a). *Baromètre d'image des produits aquatiques*.

FranceAgriMer. (2017b). *Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture 2016*.

FranceAgriMer. (2018). *Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture 2017*.

FranceAgriMer. (2019a). *Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture 2018*.

FranceAgriMer. (2019b). *Étude sur la pisciculture en circuit « recirculé »*.

FranceAgriMer. (2020). *Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture 2019*.

FranceAgriMer. (2021). *Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture 2020*.

FranceAgriMer. (2022a). *Chiffres-clés des filières pêche et aquaculture en France en 2022*.

FranceAgriMer. (2022b). *Commerce extérieur des produits de la pêche et de l'aquaculture—Données 2021*.

FranceAgriMer. (2022c). *Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture 2021*.

Galhardo, L., & Oliveira, R. (2009). Psychological Stress and Welfare in Fish. *Annual Review of Biomedical Sciences*, *11*, 1–20. https://doi.org/10.5016/1806-8774.2009v11p1

Gasco, L., Gai, F., Rotolo, L., & Parisi, G. (2014). Effects of different slaughtering methods on rigor mortis development and flesh quality of tench (Tinca tinca). *Journal of Applied Ichthyology*, *30*, 58–63. https://doi.org/10.1111/jai.12426

Gatica, M. C., Monti, G., Gallo, C., Knowles, T. G., & Warriss, P. D. (2008). Effects of well-boat transportation on the muscle pH and onset of rigor mortis in Atlantic salmon. *The Veterinary Record*, *163*(4), 111–116. https://doi.org/10.1136/vr.163.4.111

Gatica, M., Monti, G., Knowles, T., Warrissc, P., & Gallo, C. (2010). Effects of commercial live transportation and preslaughter handling of Atlantic salmon on blood constituents. *Archivos de Medicina Veterinaria*, *42*, 73–78. https://doi.org/10.4067/S0301-732X2010000100010

Gautret, M., Messori, S., Jestin, A., Bagni, M., & Boissy, A. (2017). Development of a semi-automatic bibliometric system for publications on animal health and welfare: A methodological study. *Scientometrics*, *113*(2), 803–823. https://doi.org/10.1007/s11192-017-2494-8

Giuffrida, A., Pennisi, L., Ziino, G., Fortino, L., Valvo, G., Marino, S., & Panebianco, A. (2007). Influence of Slaughtering Method on Some Aspects of Quality of Gilthead Seabream and Smoked Rainbow Trout. *Veterinary Research Communications*, *31*(4), 437–446. https://doi.org/10.1007/s11259-007-3431-8

Gonzalez-Nunez, V., & Rodríguez, R. E. (2009). The Zebrafish: A Model to Study the Endogenous Mechanisms of Pain. *ILAR Journal*, *50*(4), 373–386. https://doi.org/10.1093/ilar.50.4.373

Grans, A., Niklasson, L., Sandblom, E., Sundell, K., Algers, B., Berg, C., Lundh, T., Axelsson, M., Sundh, H., & Kiessling, A. (2016). Stunning fish with CO2 or electricity: Contradictory results on behavioural and physiological stress responses. *Animal*, *10*(2), 294–301. https://doi.org/10.1017/S1751731115000750

Gregory, N. G. (2008). Animal welfare at markets and during transport and slaughter. *Meat Science*, *80*(1), 2–11. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.019

Grigorakis, K. (2010). Ethical Issues in Aquaculture Production. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, *23*, 345–370. https://doi.org/10.1007/s10806-009-9210-5

Grimsbo, E., Nortvedt, R., Hammer, E., & Roth, B. (2014). Preventing injuries and recovery for electrically stunned Atlantic salmon (Salmo salar) using high frequency spectrum combined with a thermal shock. *Aquaculture*, *434*, 277–281. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.07.018

Guyennet, F. (2000). *Des progrès techniques dans la gestion des élevages salmonicoles*.

Hara, T. J. (1994). The diversity of chemical stimulation in fish olfaction and gustation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, *4*(1), 1–35. https://doi.org/10.1007/BF00043259

Harding, E. J., Paul, E. S., & Mendl, M. (2004). Cognitive bias and affective state. *Nature*, *427*(6972), Article 6972. https://doi.org/10.1038/427312a

Hernandez, C. E., Hinch, G., Lea, J., Ferguson, D., & Lee, C. (2015). Acute stress enhances sensitivity to a highly attractive food reward without affecting judgement bias in laying hens. *Applied Animal Behaviour Science*, *163*, 135. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.12.002

Hjeltnes, B., Erikson, U., Mejdell, C., Olsen, R. E., Slinde, E., & Waagbø, R. (2010). *Risikovurdering knyttet til bruk av gass, slag mot hode og strøm til bedøving av fisk*.

Hovda, J., & Linley, T. J. (2000). The Potential Application of Hypothermia for Anesthesia in Adult Pacific Salmon. *North American Journal of Aquaculture*, *62*(1), 67–72. https://doi.org/10.1577/1548-8454(2000)062<0067:TPAOHF>2.0.CO;2

Humane Slaughter Association (HSA). (2005). *Humane Harvesting of Fish*.

Kalueff, A. V., Gebhardt, M., Stewart, A. M., Cachat, J. M., Brimmer, M., Chawla, J. S., Craddock, C., Kyzar, E. J., Roth, A., Landsman, S., Gaikwad, S., Robinson, K., Baatrup, E., Tierney, K., Shamchuk, A., Norton, W., Miller, N., Nicolson, T., Braubach, O., … Schneider, and the Z. N. R. C. (ZNRC), Henning. (2013). Towards a Comprehensive Catalog of Zebrafish Behavior 1.0 and Beyond. *Zebrafish*, *10*(1), 70–86. https://doi.org/10.1089/zeb.2012.0861

Kestin, S. C., van de Vis, J. W., & Robb, D. H. F. (2002a). Protocol for assessing brain function in fish and the effectiveness of methods used to stun and kill them. *Veterinary Record*, *150*(10), 302-+. https://doi.org/10.1136/vr.150.10.302

Kestin, S. C., van de Vis, J. W., & Robb, D. H. F. (2002b). Protocol for assessing brain function in fish and the effectiveness of methods used to stun and kill them. *Veterinary Record*, *150*(10), Article 10. https://doi.org/10.1136/vr.150.10.302

Kiessling, A. (2004). Texture, gaping and colour of fresh and frozen Atlantic salmon flesh as affected by pre-slaughter iso-eugenol or CO2 anaesthesia. *Aquaculture*, *236*(1–4), 645–657. https://doi.org/10/ffcb95

Knowles, T. G. (2008). Effect of electrical stunning at slaughter on the quality of farmed turbot (Psetta maxima. *Aquaculture Research*, *39*(16), 1731–1738. https://doi.org/10/b4cgcd

Kohler, I., Meier, R., Busato, A., Neiger-Aeschbacher, G., & Schatzmann, U. (1999). Is carbon dioxide (CO2) a useful short acting anaesthetic for small laboratory animals? *Laboratory Animals*, *33*(2), 155–161. https://doi.org/10.1258/002367799780578390

Laberge, F., & Hara, T. J. (2001). Neurobiology of fish olfaction: A review. *Brain Research Reviews*, *36*(1), 46–59. https://doi.org/10.1016/S0165-0173(01)00064-9

Lambooij, B., Gerritzen, M. A., Reimert, H., Burggraaf, D., Andre, G., & van de Vis, H. (2008). Evaluation of electrical stunning of sea bass (Dicentrarchus labrax) in seawater and killing by chilling: Welfare aspects, product quality and possibilities for implementation. *Aquaculture Research*, *39*(1), 50–58. https://doi.org/10/cnpk3g

Lambooij, E., Grimsbo, E., van de Vis, J. W., Reimert, H. G. M., Nortvedt, R., & Roth, B. (2010). Percussion and electrical stunning of Atlantic salmon (Salmo salar) after dewatering and subsequent effect on brain and heart activities. *Aquaculture*, *300*(1–4), 107–112. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.12.022

Lambooij, E., Kloosterboer, R. J., Gerritzen, M. A., & van de Vis, J. W. (2006). Assessment of electrical stunning in fresh water of African Catfish (Clarias gariepinus) and chilling in ice water for loss of consciousness and sensibility. *Aquaculture*, *254*(1–4), 388–395. https://doi.org/10/cwmp2k

Lambooij, E., van de vis, H., Kloosterboer, R. J., & Pieterse, C. (2002). Welfare aspects of live chilling and freezing of farmed eel (Anguilla anguilla L.): Neurological and behavioural assessment. *Aquaculture*, *210*, 159–169. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00050-9

Lapert, C. (2010). Du rififi chez les poissons. *Evolution*.

Laubu, C., Louâpre, P., & Dechaume-Moncharmont, F.-X. (2019). Pair-bonding influences affective state in a monogamous fish species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *286*(1904), 20190760. https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0760

Lefevre, F., Bugeon, J., Auperin, B., & Aubin, J. (2008). Rearing oxygen level and slaughter stress effects on rainbow trout flesh quality. *Aquaculture*, *284*(1–4), 81–89. https://doi.org/10/fvvz7t

Lefevre, F., Cos, I., Pottinger, T. G., & Bugeon, J. (2016). Selection for stress responsiveness and slaughter stress affect flesh quality in pan-size rainbow trout, Oncorhynchus mykiss. *Aquaculture*, *464*, 654–664. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.07.039

Levin, E. D., Bencan, Z., & Cerutti, D. T. (2007). Anxiolytic effects of nicotine in zebrafish. *Physiology & Behavior*, *90*(1), 54–58. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.08.026

Lines and Kestin. (2004). Electrical stunning of fish: The relationship between the electric field strength and water conductivity. *Aquaculture*, *241*, 219–234. https://doi.org/10/dj8qt5

Lines, J. A., & Spence, J. (2014). Humane harvesting and slaughter of farmed fish. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*, *33*(1), Article 1. https://doi.org/10/ghtzx3

Lines, J., & Kestin, S. (2005). Electric stunning of trout: Power reduction using a two-stage stun. *Aquacultural Engineering*, *32*(3–4), Article 3–4. https://doi.org/10/d9qs47

Lippe, G., Prandi, B., Bongiorno, T., Mancuso, F., Tibaldi, E., Faccini, A., Sforza, S., & Stecchini, M. L. (2021). The effect of pre-slaughter starvation on muscle protein degradation in sea bream (Sparus aurata): Formation of ACE inhibitory peptides and increased digestibility of fillet. *European Food Research and Technology*, *247*(1), Article 1. https://doi.org/10/gjpvz4

Llonch, P., Lambooij, E., Reimert, H. G. M., & van de Vis, J. W. (2012). Assessing effectiveness of electrical stunning and chilling in ice water of farmed yellowtail kingfish, common sole and pike-perch. *Aquaculture*, *364*, 143–149. https://doi.org/10/ghtzxx

López-Luna, J., Vasquez, L., Torrent, F., & Villarroel, M. (2013). Short-term fasting and welfare prior to slaughter in rainbow trout, Oncorhynchus mykiss. *Aquaculture*, *400*, 142–147. https://doi.org/10/gbc5sq

Mahmoud, M. A., Mansour, H. A., Abdelsalam, M., AbuBakr, H. O., Aljuaydi, S. H., & Afify, M. (2019). Evaluation of electrofishing adopted by Egyptian fish farmers. *Aquaculture*, *498*, 380–387. https://doi.org/10/ghtzx4

Margiotta-Casaluci, L., Owen, S. F., Cumming, R. I., Polo, A. de, Winter, M. J., Panter, G. H., Rand-Weaver, M., & Sumpter, J. P. (2014). Quantitative Cross-Species Extrapolation between Humans and Fish: The Case of the Anti-Depressant Fluoxetine. *PLOS ONE*, *9*(10), e110467. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110467

Marx, H., Brunner, B., Weinzierl, W., Hoffmann, R., & Stolle, A. (1997). Methods of stunning freshwater fish: Impact on meat quality and aspects of animal welfare. *Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung Und-Forschung a-Food Research and Technology*, *204*(4), 282–286. https://doi.org/10.1007/s002170050078

Marx, H., Sengmuller-Sieber, T., Hoffmann, R., & Stolle, A. (1999). Stress and product quality of trout, catfish and flounder at stunning and slaughtering. *Archiv Fur Lebensmittelhygiene*, *50*(2), 37–40.

Matos et al. (2010). Effect of harvesting stress and slaughter conditions on selected flesh quality criteria of gilthead seabream (Sparus aurata). *Aquaculture*, *305*, 66–72. https://doi.org/10/frbrnw

Merkin, G. V. (2014). The Effect of Stunning Methods and Season on Muscle Texture Hardness in Atlantic Salmon (Salmo salar L. *Journal of Food Science*, *79*(6), 1137–1141. https://doi.org/10/f57b6w

Merkin, G. V., Roth, B., Gjerstad, C., Dahl-Paulsen, E., & Nortvedt, R. (2010a). Effect of pre-slaughter procedures on stress responses and some quality parameters in sea-farmed rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). *Aquaculture*, *309*(1–4), 231–235. https://doi.org/10/c6qvht

Merkin, G. V., Roth, B., Gjerstad, C., Dahl-Paulsen, E., & Nortvedt, R. (2010b). Effect of pre-slaughter procedures on stress responses and some quality parameters in sea-farmed rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). *Aquaculture*, *309*(1–4), Article 1–4. https://doi.org/10/c6qvht

Mettam, J. J., Oulton, L. J., McCrohan, C. R., & Sneddon, L. U. (2011). The efficacy of three types of analgesic drugs in reducing pain in the rainbow trout, Oncorhynchus mykiss. *Applied Animal Behaviour Science*, *133*(3), 265–274. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.06.009

Millsopp, S., & Laming, P. (2008). Trade-offs between feeding and shock avoidance in goldfish (Carassius auratus). *Applied Animal Behaviour Science*, *113*(1), 247–254. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.11.004

Mogdans, J. (2019). Sensory ecology of the fish lateral-line system: Morphological and physiological adaptations for the perception of hydrodynamic stimuli. *Journal of Fish Biology*, *95*(1), 53–72. https://doi.org/10.1111/jfb.13966

Montgomery, J. C., & Carton, A. G. (2008). The senses of fish: Chemosensory, visual and octavolateralis. In *Fish Behaviour*. CRC Press.

Montgomery, J. C., & Macdonald, J. A. (1998). Evolution of Sensory Systems: A Comparison of Antarctic and Deep-Sea Ichthyofauna. In G. Di Prisco, E. Pisano, & A. Clarke (Eds.), *Fishes of Antarctica: A biological overview* (pp. 329–338). Springer Milan. https://doi.org/10.1007/978-88-470-2157-0_28

Morkore, T., Mazo T., P. I., Tahirovic, V., & Einen, O. (2008). Impact of starvation and handling stress on rigor development and quality of Atlantic salmon (Salmo salar L. *Aquaculture*, *277*(3–4), Article 3–4. https://doi.org/10/dhsx7b

Morzel, M., Sohier, D., & Van de Vis, H. (2003). Evaluation of slaughtering methods for turbot with respect to animal welfare and flesh quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *83*(1), 19–28. https://doi.org/10/fk9c4j

Murphy, E., Nordquist, R. E., & van der Staay, F. J. (2013). Responses of conventional pigs and Göttingen miniature pigs in an active choice judgement bias task. *Applied Animal Behaviour Science*, *148*(1–2), 64–76. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.07.011

Musilova, Z., Salzburger, W., & Cortesi, F. (2021). The Visual Opsin Gene Repertoires of Teleost Fishes: Evolution, Ecology, and Function. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, *37*(1), 441–468. https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-120219-024915

Nakayama, T., Toyoda, T., & Ooi, A. (1996). Delay in Rigor Mortis of Red Sea-bream by Spinal Cord Destruction. *Fisheries Science*, *62*(3), 478–482. https://doi.org/10.2331/fishsci.62.478

Neiffer, D. L., & Stamper, M. A. (2009). Fish sedation, analgesia, anesthesia, and euthanasia: Considerations, methods, and types of drugs. *ILAR Journal*, *50*(4), 343–360. https://doi.org/10.1093/ilar.50.4.343

Neville, V., King, J., Gilchrist, I. D., Dayan, P., Paul, E. S., & Mendl, M. (2021). Author Correction: Reward and punisher experience alter rodent decision-making in a judgement bias task. *Scientific Reports*, *11*(1), Article 1. https://doi.org/10.1038/s41598-021-00035-w

Newby, N. C., Wilkie, M. P., & Stevens, E. D. (2009). Morphine uptake, disposition, and analgesic efficacy in the common goldfish (Carassius auratus). *Canadian Journal of Zoology*, *87*(5), 388–399. https://doi.org/10.1139/Z09-023

Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M. H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L. H., Turnbull, J. F., Fund, T. N. S. R., AS, N., Institute, N. V., University, N., AS, N., Research, N. I. of M., Institute, N. V., Aquaculture, I. of, & 0000-0003-0741-9747. (2020). *Welfare Indicators for farmed rainbow trout: Tools for assessing fish welfare*. Nofima. http://dspace.stir.ac.uk/handle/1893/31242

Oliveira Filho, P. R. C., Oliveira, C. a. F., Sobral, P. J. A., Balieiro, J. C. C., Natori, M. M., & Viegas, E. M. M. (2015). How stunning methods affect the quality of Nile tilapia meat. *Cyta-Journal of Food*, *13*(1), 56–62. https://doi.org/10/ghtzx9

Olsen, S. H. (2006). Effect of slaughter methods on blood spotting and residual blood in fillets of Atlantic salmon (Salmo salar. *Aquaculture*, *258*(1–4), 462–469. https://doi.org/10/bccjjx

OMSA. (2022). *Code sanitaire pour les animaux aquatiques*.

Ortuño, J., Esteban, M. A., & Meseguer, J. (2001). Effects of short-term crowding stress on the gilthead seabream (Sparus aurata L.) innate immune response. *Fish & Shellfish Immunology*, *11*(2), 187–197. https://doi.org/10.1006/fsim.2000.0304

Panebianco, A. (2006). The influence of capture method on the quality of reared Gilthead seabream. *Veterinary Research Communications*, *30*, 361–364. https://doi.org/10/d4qndj

Papaharisis, L., Tsironi, T., Dimitroglou, A., Taoukis, P., & Pavlidis, M. (2019a). Stress assessment, quality indicators and shelf life of three aquaculture important marine fish, in relation to harvest practices, water temperature and slaughter method. *Aquaculture Research*, *50*(9), 2608–2620. https://doi.org/10.1111/are.14217

Papaharisis, L., Tsironi, T., Dimitroglou, A., Taoukis, P., & Pavlidis, M. (2019b). Stress assessment, quality indicators and shelf life of three aquaculture important marine fish, in relation to harvest practices, water temperature and slaughter method. *Aquaculture Research*, *50*(9), Article 9. https://doi.org/10.1111/are.14217

Poli, B. M., Parisi, G., Scappini, F., & Zampacavallo, G. (2005). Fish welfare and quality as affected by pre-slaughter and slaughter management. *Aquaculture International*, *13*(1–2), 29–49. https://doi.org/10/brbs4m

Portavella, M., Torres, B., & Salas, C. (2004). Avoidance Response in Goldfish: Emotional and Temporal Involvement of Medial and Lateral Telencephalic Pallium. *Journal of Neuroscience*, *24*(9), 2335–2342. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4930-03.2004

Priborsky, J., & Velisek, J. (2018). A Review of Three Commonly Used Fish Anesthetics. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, *26*(4), 417-442. http://doi.org/10.1080/23308249.2018.1442812

Pullen, C. E., Hayes, K., O'Connor, C. M., Arlinghaus, R., Suski, C. D., Midwood, J. D., & Cooke, S. J. (2017). Consequences of oral lure retention on the physiology and behaviour of adult northern pike (Esox lucius L.). *Fisheries Research*, *186*, 601–611. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.03.026

Quigley, J. T., & Hinch, S. G. (2006). Effects of rapid experimental temperature increases on acute physiological stress and behaviour of stream dwelling juvenile chinook salmon. *Journal of Thermal Biology*, *31*(5), 429–441. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2006.02.003

Rahmanifarah, K., Shabanpour, B., & Sattari, A. (2011). Effects of Clove Oil on Behavior and Flesh Quality of Common Carp (Cyprinus carpio L.) in Comparison with Pre-slaughter CO2 Stunning, Chilling and Asphyxia. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *11*(1), 135–143. https://doi.org/10/dwpfvq

Raja, S. N., Carr, D. B., Cohen, M., Finnerup, N. B., Flor, H., Gibson, S., Keefe, F. J., Mogil, J. S., Ringkamp, M., Sluka, K. A., Song, X.-J., Stevens, B., Sullivan, M. D., Tutelman, P. R., Ushida, T., & Vader, K. (2020). The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: Concepts, challenges, and compromises. *PAIN*, *161*(9), 1976. https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001939

Rasmussen, R. S., & Morrissey, M. T. (2007). Biotechnology in Aquaculture: Transgenics and Polyploidy. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *6*(1), 2–16. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00013.x

Readman, G. D., Owen, S. F., Murrell, J. C., & Knowles, T. G. (2013). Do fish perceive anaesthetics as aversive?. *PLoS One*, *8*(9), e73773.

Reilly, S. C., Quinn, J. P., Cossins, A. R., & Sneddon, L. U. (2008a). Behavioural analysis of a nociceptive event in fish: Comparisons between three species demonstrate specific responses. *Applied Animal Behaviour Science*, *114*(1), 248–259. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.01.016

Reilly, S. C., Quinn, J. P., Cossins, A. R., & Sneddon, L. U. (2008b). Novel candidate genes identified in the brain during nociception in common carp (Cyprinus carpio) and rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). *Neuroscience Letters*, *437*(2), 135–138. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.03.075

Retter, K., Esser, K.-H., Lupke, M., Hellmann, J., Steinhagen, D., & Jung-Schroers, V. (2018). Stunning of common carp: Results from a field and a laboratory study. *Bmc Veterinary Research*, *14*, 205. https://doi.org/10.1186/s12917-018-1530-0

Robb & Roth. (2003). Brain activity of Atlantic salmon (Salmo salar) following electrical stunning using various field strengths and pulse durations. *Aquaculture*, *216*, 363–369. https://doi.org/10/fkt8pp

Robb, D. H. F., & Kestin, S. C. (2002). Methods Used to Kill Fish: Field Observations and Literature Reviewed. *Animal Welfare*, *11*(3), 269–282. https://doi.org/10.1017/S0962728600024854

Robb, D. H. F., O'Callaghan, M., Lines, J. A., & Kestin, S. C. (2002). Electrical stunning of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss): Factors that affect stun duration. *Aquaculture*, *205*(3–4), 359–371. https://doi.org/10/bz3d4x

Robb et al. (2000). Commercialslaughter methods used on Atlantic salmon: Determination of the onset of brain failure by electroencephalography. *Veterinary Record*, *147*, 298–303. https://doi.org/10/bv39t5

Rolen, S. H., Sorensen, P. W., Mattson, D., & Caprio, J. (2003). Polyamines as olfactory stimuli in the goldfish Carassius auratus. *Journal of Experimental Biology*, *206*(10), 1683–1696. https://doi.org/10.1242/jeb.00338

Roque, A., Gras, N., Rey-Planellas, S., Fatsini, E., Pallisera, J., Duncan, N., Muñoz, I., Velarde, A., & Hernandez, M. D. (2021). The feasibility of using gas mixture to stun seabream (Sparus aurata) before slaughtering in aquaculture production. *Aquaculture*, *545*, 737168. https://doi.org/10/gk7tq6

Roques, J. A. C., Abbink, W., Chereau, G., Fourneyron, A., Spanings, T., Burggraaf, D., van de Bos, R., van de Vis, H., & Flik, G. (2012). Physiological and behavioral responses to an electrical stimulus in Mozambique tilapia (Oreochromis mossambicus). *Fish Physiology and Biochemistry*, *38*(4), 1019–1028. https://doi.org/10.1007/s10695-011-9586-9

Roques, J. A. C., Abbink, W., Geurds, F., van de Vis, H., & Flik, G. (2010). Tailfin clipping, a painful procedure: Studies on Nile tilapia and common carp. *Physiology & Behavior*, *101*(4), 533–540. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.08.001

Rose, J. (2007). Anthropomorphism and "Mental Welfare" of Fishes. *Diseases of Aquatic Organisms*, *75*, 139–154. https://doi.org/10.3354/dao075139

Roth, B. (2002). The effect of stunning methods on rigor mortis and texture properties of Atlantic salmon (Salmo salar. *Journal of Food Science*, *67*(4), 1462–1466. https://doi.org/10/ddgdpc

Roth, B. (2006). Pre or post mortem muscle activity in Atlantic salmon (Salmo salar). The effect on rigor mortis and the physical properties of flesh. *Aquaculture*, *257*(1–4), 504–510. https://doi.org/10/b7m66n

Roth, B., Birkeland, S., & Oyarzun, F. (2009). Stunning, pre slaughter and filleting conditions of Atlantic salmon and subsequent effect on flesh quality on fresh and smoked fillets. *Aquaculture*, *289*(3), 350–356. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.01.013

Roth, B., Grimsbo, E., Slinde, E., Foss, A., Stien, L. H., & Nortvedt, R. (2012). Crowding, pumping and stunning of Atlantic salmon, the subsequent effect on pH and rigor mortis. *Aquaculture*, *326*, 178–180. https://doi.org/10/bgkvg4

Roth, B., Imsland, A., Gunnarsson, S., Foss, A., & Schelvis-Smit, R. (2007). Slaughter quality and rigor contraction in fanned turbot (Scophthalmus maximus); a comparison between different stunning methods. *Aquaculture*, *272*(1–4), 754–761. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.012

Roth, B., Imsland, A., Moeller, D., & Slinde, E. (2003). Effect of electric field strength and current duration on stunning and injuries in market-sized Atlantic salmon held in seawater. *North American Journal of Aquaculture*, *65*(1), 8–13. https://doi.org/10/bfpgjk

Rotllant, J., Tort, L., Montero, D., Pavlidis, M., Martinez, M., Wendelaar Bonga, S. E., & Balm, P. H. M. (2003). Background colour influence on the stress response in cultured red porgy Pagrus pagrus. *Aquaculture*, *223*(1–4), 129–139. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00157-1

Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals (RSPCA). (2020). *RSPCA welfare standards for Farmed rainbow trout*.

Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals (RSPCA). (2021). *RSPCA welfare standards for Farmed Atlantic salmon*.

Ruff, N., FitzGerald, R. D., Cross, T. F., Teurtrie, G., & Kerry, J. P. (2002). Slaughtering method and dietary alpha-tocopheryl acetate supplementation affect rigor mortis and fillet shelf-life of turbot Scophthalmus maximus L. *Aquaculture Research*, *33*(9), Article 9.

Sadoul, B., & Geffroy, B. (2019). Measuring cortisol, the major stress hormone in fishes. *Journal of Fish Biology*, *94*(4), 540–555. https://doi.org/10.1111/jfb.13904

Sandblom, E., Seth, H., Sundh, H., Sundell, K., Axelsson, M., & Kiessling, A. (2013). Stress responses in Arctic char (Salvelinus alpinus L.) during hyperoxic carbon dioxide immobilization relevant to aquaculture. *Aquaculture*, *414*, 254–259. https://doi.org/10/f22cvh

Schulte, P. M. (2011). TEMPERATURE | Effects of Temperature: An Introduction. In *Encyclopedia of Fish Physiology* (pp. 1688–1694). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374553-8.00159-3

Secci, G., Parisi, G., Meneguz, M., Iaconisi, V., Cornale, P., Macchi, E., Gasco, L., & Gai, F. (2018). Effects of a carbon monoxide stunning method on rigor mortis development, fillet quality and oxidative stability of tench (Tinca tinca). *Aquaculture*, *493*, 233–239. https://doi.org/10/ghtzx7

Seth, H., Axelsson, M., Sundh, H., Sundell, K., Kiessling, A., & Sandblom, E. (2013). Physiological responses and welfare implications of rapid hypothermia and immobilisation with high levels of CO2 at two temperatures in Arctic char (Salvelinus alpinus). *Aquaculture*, *402*, 146–151. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.04.004

Sigholt, T., Erikson, U., Rustad, T., Johansen, S., Nordtvedt, T. S., & Seland, A. (1997). Handling Stress and Storage Temperature Affect Meat Quality of Farmed-raised Atlantic Salmon (Salmo Salar). *Journal of Food Science*, *62*(4), Article 4. https://doi.org/10/fvskvz

Simitzis et al. (2014). Comparison of the effects of six stunning/killing procedures on flesh quality of sea bass (Dicentrarchus labrax, Linnaeus 1758) and evaluation of clove oil

anaesthesia followed by chilling on ice/water slurry for potential implementation in aquaculture. *Aquaculture Research*, *45*(1759–1770).

Simmons, D. B. D., McCallum, E. S., Balshine, S., Chandramouli, B., Cosgrove, J., & Sherry, J. P. (2017). Reduced anxiety is associated with the accumulation of six serotonin reuptake inhibitors in wastewater treatment effluent exposed goldfish Carassius auratus. *Scientific Reports*, *7*(1), Article 1. https://doi.org/10.1038/s41598-017-15989-z

Skjervold, P. O., Fjæra, S. O., Østby, P. B., & Einen, O. (2001). Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (Salmo salar). *Aquaculture*, *2–4*(192), 265–280.

Sneddon, L. U. (2003a). The evidence for pain in fish: The use of morphine as an analgesic. *Applied Animal Behaviour Science*, *83*(2), 153–162. https://doi.org/10.1016/S0168-1591(03)00113-8

Sneddon, L. U. (2003b). Trigeminal somatosensory innervation of the head of a teleost fish with particular reference to nociception. *Brain Research*, *972*(1–2), 44–52. https://doi.org/10.1016/S0006-8993(03)02483-1

Sneddon, L. U. (2004). Evolution of nociception in vertebrates: Comparative analysis of lower vertebrates. *Brain Research Reviews*, *46*(2), 123–130. https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2004.07.007

Sneddon, L. U. (2009). Pain Perception in Fish: Indicators and Endpoints. *ILAR Journal*, *50*(4), 338–342. https://doi.org/10.1093/ilar.50.4.338

Sneddon, L. U., Braithwaite, V. A., & Gentle, M. J. (2003). Novel object test: Examining nociception and fear in the rainbow trout. *The Journal of Pain*, *4*(8), 431–440. https://doi.org/10.1067/S1526-5900(03)00717-X

Szekeres, P., Brownscombe, J. W., Cull, F., Danylchuk, A. J., Shultz, A. D., Suski, C. D., Murchie, K. J., & Cooke, S. J. (2014). Physiological and behavioural consequences of cold shock on bonefish (Albula vulpes) in The Bahamas. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *459*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2014.05.003

Tejada, M., & Huidobro, A. (2002). Quality of farmed gilthead seabream (Sparus aurata) during ice storage related to the slaughter method and gutting. *European Food Research and Technology*, *215*(1), 1–7. https://doi.org/10/bq742p

Teletchea, F., & Fontaine, P. (2012). Levels of domestication in fish: Implications for the sustainable future of aquaculture. *Fish and Fisheries*, *15*(2), 181–195. https://doi.org/10.1111/faf.12006

Terlouw, E. M. C. (2020). The physiology of the brain and determining insensibility and unconsciousness. *The Slaughter of Farmed Animals: Practical Ways of Enhancing Animal Welfare*, 202–228. https://doi.org/10.1079/9781789240573.0202

Terlouw, E. M. C., Arnould, C., Auperin, B., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Deiss, V., Lefevre, F., Lensink, B. J., & Mounier, L. (2008a). Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: Current status and possible future research. *Animal*, *2*(10), 1501–1517. https://doi.org/10/crcz3k

Terlouw, E. M. C., Arnould, C., Auperin, B., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Deiss, V., Lefevre, F., Lensink, B. J., & Mounier, L. (2008b). Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: Current status and possible future research. *Animal*, *2*(10), Article 10. https://doi.org/10/crcz3k

Terlouw, E. M. C., Picard, B., Deiss, V., Berri, C., Hocquette, J.-F., Lebret, B., Lefèvre, F., Hamill, R., & Gagaoua, M. (2021). Understanding the Determination of Meat Quality Using Biochemical Characteristics of the Muscle: Stress at Slaughter and Other Missing Keys. *Foods*, *10*(1), 84. https://doi.org/10.3390/foods10010084

Thompson, R. R., & Walton, J. C. (2004). Peptide Effects on Social Behavior: Effects of Vasotocin and Isotocin on Social Approach Behavior in Male Goldfish (Carassius auratus). *Behavioral Neuroscience*, *118*, 620–626. https://doi.org/10.1037/0735-7044.118.3.620

Tracey, W. D. (2017). Nociception. *Current Biology*, *27*(4), R129–R133. https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.01.037

Tulli, F., Fabbro, A., D'Agaro, E., Messina, M., Bongiorno, T., Venir, E., Lippe, G., Tibaldi, E., & Stecchini, M. L. (2015). The effect of slaughtering methods on actin degradation and on muscle quality attributes of farmed European sea bass (Dicentrarchus labrax). *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, *52*(11), 7182–7190. https://doi.org/10/ghtzx2

Union européenne. (2018). *Règlement (UE) 2018/ du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques, et abrogeant le règlement (CE) no 834/2007 du Conseil*.

van de Vis, H., Kestin, S., Robb, D., Oehlenschlager, J., Lambooij, B., Munkner, W., Kuhlmann, H., Kloosterboer, K., Tejada, M., Huidobro, A., Ottera, H., Roth, B., Sorensen, N. K., Akse, L., Byrne, H., & Nesvadba, P. (2003a). Is humane slaughter of fish possible for industry? *Aquaculture Research*, *34*(3), 211–220. https://doi.org/10/cg56sg

van de Vis, H., Kestin, S., Robb, D., Oehlenschlager, J., Lambooij, B., Munkner, W., Kuhlmann, H., Kloosterboer, K., Tejada, M., Huidobro, A., Ottera, H., Roth, B., Sorensen, N. K., Akse, L., Byrne, H., & Nesvadba, P. (2003b). Is humane slaughter of fish possible for industry? *Aquaculture Research*, *34*(3), Article 3. https://doi.org/10/cg56sg

Varga, D. (2014). Impact of Handling and Pre-Mortal Stress on the Flesh Quality of Common Carp (Cyprinus carpio L. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, *66*, 1–6.

Villarroel, M., & Lambooij, E. (2022). Chapter 3: Fish. In L. Faucitano (Ed.), *Preslaughter handling and slaughter of meat animals* (pp. 119–149). Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-924-4_3

Vissio, P. G., Darias, M. J., Di Yorio, M. P., Pérez Sirkin, D. I., & Delgadin, T. H. (2021). Fish skin pigmentation in aquaculture: The influence of rearing conditions and its neuroendocrine regulation. *General and Comparative Endocrinology*, *301*, 113662. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113662

Wall, A. J. (2001). Ethical Considerations in the Handling and Slaughter of Farmed Fish. In *Farmed Fish Quality* (pp. 108–115).

Welfarm (2023). *FARMED FISH SLAUGHTER METHODS REPORT Recommendations for Rainbow trout, Atlantic salmon, European sea bass and Gilthead sea bream.*

Wendelaar Bonga, S. E. (1997). The stress response in fish. *Physiological Reviews*, *77*(3), 591–625. https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591

Wiese, T. R., Rey Planellas, S., Betancor, M., Haskell, M., Jarvis, S., Davie, A., Wemelsfelder, F., & Turnbull, J. F. (2023). Qualitative Behavioural Assessment as a welfare indicator for farmed Atlantic salmon (Salmo salar) in response to a stressful challenge. *Frontiers in Veterinary Science*, *10*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2023.1260090

Wills et al. (2006). Nitrogen stunning of rainbow trout. *International Journal of Food Science and Technology*, *41*, 395–398. https://doi.org/10/df9vdp

Winberg, S., & Nilsson, G. E. (1993). Roles of brain monoamine neurotransmitters in agonistic behaviour and stress reactions, with particular reference to fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, *106*(3), Article 3. https://doi.org/10.1016/0742-8413(93)90216-8

Yue, S., Moccia, R. D., & Duncan, I. J. H. (2004). Investigating fear in domestic rainbow trout, Oncorhynchus mykiss, using an avoidance learning task. *Applied Animal Behaviour Science*, *87*(3), 343–354. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.01.004

Zampacavallo, G., Parisi, G., Mecatti, M., Lupi, P., Giorgi, G., & Poli, B. M. (2015). Evaluation of different methods of stunning/killing sea bass (Dicentrarchus labrax) by tissue stress/quality indicators. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, *52*(5), 2585–2597. https://doi.org/10/f69mqh

Annexe 1. Extrait d'un guide pour les industriels pour distinguer les phases d'étourdissement. *Les séquences d'observation correspondent à (0) = étourdissement/inconscience, (1) étourdissement partiel, (2) absence d'étourdissement. Source : (Kestin et al., 2002b)*

	Comportement spontané		Réponse à un stimulus			Reflexes cliniques	
	Nage	Equilibre	Prise en main (contention)	Piqure d'épingle	Choc électrique de 6 V	Mouvement oculaire	Mouvement operculaire
Comportement / reflexe	Nage	Stabilisation	Réponse à la manipulation	Réponse à une piqure à la mâchoire	Réponse à un choc de 6 V sur la mâchoire	Réflexe vestibulo-oculaire (RVO)	Rythmique
Séquence d'observation (0)	Pas de nage	Pas d'équilibre	Aucune réponse			Yeux fixes par rapport au corps quand le poisson est tourné	Pas de mouvement
Séquence d'observation (1)	Lente ou anormale (ventre en haut)	Lent à s'établir	Réponse lente ou faible après un pincement à la queue	Réponse lente ou réduite	Réponse lente ou réduite	RVO partiel ou sur un seul œil	Mouvement rapide ou irrégulier
Séquence d'observation (2)	Nage normale	Rapide à s'établir	Réponse vigoureuse et immédiate au premier contact et pincement	Mouvement de la tête ou réponse de fuite	Mouvement de la tête ou réponse de fuite	Roulement des yeux par rapport au corps quand le poisson est tourné	Mouvement operculaire régulier

Annexe 2. Aperçu des indicateurs de bientraitance adaptés à l'usage prévu pour la mise à mort des poissons. *Source : (Noble et al., 2020)*

Indicateurs fondés sur l'environnement	Indicateurs fondés sur le groupe d'animaux	Indicateurs fondés sur l'individu
Paramètres adaptés à un bon fonctionnement de la machine à étourdir (voltage/ampérage, force percussive etc.).	Etat de santé	Observation du réflexe vestibulo-oculaire, de réponse à la manipulation/pincement de la queue, de mouvement operculaire, de mouvement de la queue → contrôle de l'état d'inconscience.
Niveau d'eau, densité de poisson, dose et durée de l'exposition lorsqu'un surdosage d'anesthésique est utilisé	Comportement des poissons (doivent être calmes et non épuisés)	Observation de blessures des nageoires, du museau, d'hémorragies cutanées ou musculaires, de pertes d'écailles, de signes d'écrasement.
Conditions hydrologiques adaptées (T°C, oxygène)	Les poissons entrent correctement dans la machine à étourdir (tête en premier)	Temps de pre rigor, pH musculaire ou sanguin, autres indicateurs physiologiques (acide lactique, lactate, glucose, cortisol etc.)
Durée des périodes hors de l'eau	Observation de présence de sang ou d'écailles dans l'eau indiquant des blessures des animaux	

Les indicateurs fondés sur l'environnement traitent des machines d'étourdissement ou du bain avec un surdosage d'anesthésique ; les indicateurs fondés sur le groupe sont ceux qui peuvent être observés et vérifiés pendant le processus de mise à mort, tandis que les indicateurs individuels sont fondés sur l'échantillonnage d'individus pour vérifier l'absence de réflexes et la bonne application de la percussion ou de la saignée le cas échéant (d'après Noble et al., 2020, p 227).