



HAL
open science

L'Ikejime: état des lieux et apports de cette méthode d'abattage pour l'acceptabilité de la mise à mort des poissons

Lucas Darmancourt

► **To cite this version:**

Lucas Darmancourt. L'Ikejime: état des lieux et apports de cette méthode d'abattage pour l'acceptabilité de la mise à mort des poissons. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-03936343

HAL Id: dumas-03936343

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03936343v1>

Submitted on 12 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANNÉE 2022 - Thèse n°116

L'IKEJIME : ÉTAT DES LIEUX ET APPORTS DE CETTE MÉTHODE D'ABATTAGE POUR L'ACCEPTABILITÉ DE LA MISE À MORT DES POISSONS

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement

devant l'UFR de Médecine de l'Université de

Nantes

le 16 décembre 2022

par

Lucas, Nathan, Albert DARMANCOURT

Sous la direction de

Madame Ségolène CALVEZ

Président du jury : **Monsieur Patrick LUSTENBERGER**, Professeur à la faculté de Médecine de Nantes

Membres du jury : **Monsieur Jean-Michel CAPPELIER**, Professeur à Oniris

Madame Ségolène CALVEZ, Maître de conférences à Oniris

Membre invité : **Monsieur Romain CAUSSE**, Ingénieur ichtyologue au Muséum national d'Histoire Naturelle

ANNÉE 2022 - Thèse n°116

L'IKEJIME : ÉTAT DES LIEUX ET APPORTS DE CETTE MÉTHODE D'ABATTAGE POUR L'ACCEPTABILITÉ DE LA MISE À MORT DES POISSONS

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement

devant l'UFR de Médecine de l'Université de

Nantes

le 16 décembre 2022

par

Lucas, Nathan, Albert DARMANCOURT

Sous la direction de

Madame Ségolène CALVEZ

Président du jury : **Monsieur Patrick LUSTENBERGER**, Professeur à la faculté de Médecine de Nantes

Membres du jury : **Monsieur Jean-Michel CAPPELIER**, Professeur à Oniris

Madame Ségolène CALVEZ, Maître de conférences à Oniris

Membre invité : **Monsieur Romain CAUSSE**, Ingénieur ichtyologue au Muséum national d'Histoire Naturelle

Membres du corps enseignant



Département BPSA Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment		
Responsable : Emmanuel JAFFRES – Adjointe : Frédérique NGUYEN		
Nutrition et Endocrinologie		
Pharmacologie et Toxicologie	Jean-Claude DESFONTIS (Pr) Yassine MALLEM (Pr) Hervé POULIQUEN (Pr)	Antoine ROSTANG (MC) Meg-Anne MORICEAU (CERC) Martine KAMMERER (Pr émérite)
Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire	Jean-Marie BACH (Pr) Lionel MARTIGNAT (Pr) Julie HERVE (MC HDR) Grégoire MIGNOT (MC)	Adélie SALIN (CERC)
Histologie et anatomie pathologique	Marie-Anne COLLE (Pr) Jérôme ABADIE (MC)	Laetitia JAILLARDON (MC) Frédérique NGUYEN (MC)
Pathologie générale, microbiologie et immunologie		
Biochimie alimentaire industrielle	Carole PROST (Pr) Joëlle GRUA (MC) Florence TEXIER (MC)	Clément CATANEO (MC) Alix KHALIL (MC) Laurent LE THUAUT (MC)
Microbiotech	Hervé PREVOST (Pr) Géraldine BOUE (MC) Nabila HADDAD (MC)	Emmanuel JAFFRES (MC) Mathilde MOSSER (MC) Boris MISERY (MC) Raouf TAREB (MC)
PACENV = VET1	Éléonore BOUGUYON (Pr Ag.) Nicolas BROSSAUD (Pr Ag.)	
Département SAESP Santé des Animaux d'Élevage et Santé Publique		
Responsable : Raphaël GUATTEO – Adjoint : Jean-Michel CAPPELIER		
Élevage, nutrition et santé des animaux domestiques	Nathalie BAREILLE (Pr) François BEAUDEAU (Pr) Christine FOURICHON (Pr) Lucile MARTIN (Pr)	Juan Manuel ARIZA CHACON (MC) Ségolène CALVEZ (MC HDR) Aurélien MADOUASSE (MC) Nora NAVARRO-GONZALES (MC)
Infectiologie	Alain CHAUVIN (Pr) François MEURENS (Pr) Emmanuelle MOREAU (Pr) Nathalie RUVOEN-CLOUET (Pr)	Albert AGOULON (MC) Suzanne BASTIAN (MC) Léa LOISEL (CERC) Kenny OBERLE (MC) Nadine RAVINET (MC)
Médecine des animaux d'élevage	Catherine BELLOC (Pr) Christophe CHARTIER (Pr)	Sébastien ASSIE (MC) Isabelle BREYTON (MC)

Membres du corps enseignant

	Raphaël GUATTEO (Pr) Anne RELUN (MC)	Mily LEBLANC MARIDOR (MC) Maud ROUAULT (AERC)
Hygiène et qualité des aliments	Jean-Michel CAPPELIER (Pr) Michel FEDERIGHI (Pr) Bruno LE BIZEC (Pr) Marie-France PILET (Pr)	Fanny RENOIS-MEURENS (MC HDR) Sofia STRUBBIA (MC)
Département DSC Sciences cliniques		
Responsable : Catherine IBISCH – Adjointe : Marion FUSELLIER-TESSON		
Anatomie comparée	Eric BETTI (MC) Claude GUINTARD (MC) Margarida RIBEIRO DA SILVA NEUNLIST (MC)	
Pathologie chirurgicale et anesthésiologie	Eric AGUADO (Pr) Olivier GAUTHIER (Pr) Eric GOYENVALLE (MC HDR)	Pierre MAITRE (MC) Caroline TESSIER (MC) Gwénola TOUZOT-JOURDE (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Jacques GUILLOT (Pr) Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass)	
Médecine interne, imagerie médicale et législation professionnelle vétérinaire	Anne COUROUCE (Pr) Jack-Yves DESCHAMPS (Pr) Françoise ROUX (Pr) Juan HERNANDEZ-RODRIGUEZ (Pr Ass.) Nora BOUHSINA (MC)	Nicolas CHOUIN (MC) Amandine DRUT (MC) Marion FUSELLIER-TESSON (MC HDR) Catherine IBISCH (MC) Aurélia LEROUX (MC) Odile SENECAT (MC)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Jean-François BRUYAS (Pr) François FIENI (Pr)	Djemil BENCHARIF (MC HDR) Lamia BRIAND (MC HDR)
Département GPA Génie des procédés alimentaires		
Responsable : Sébastien CURET-PLOQUIN – Adjointe : Vanessa JURY		
Lionel BOILLEREAUX (Pr) Sébastien CURET-PLOQUIN (Pr) Marie DE LAMBALLERIE (Pr) Francine FAYOLLE (Pr) Michel HAVET (Pr)	Alain LEBAIL (Pr) Olivier ROUAUD (Pr) Kévin CROUVISIER-URION (MC) Vanessa JURY (MC HDR) Emilie KORBEL (MC)	Jean-Yves MONTEAU (MC HDR) Eve-Anne NORWOOD (MC) Raphaël PORYLES (MC) Laurence POTTIER (MC) Cyril TOUBLANC (MC)
Département MSC Management, statistiques et communication		
Responsable : Samira ROUSSELIERE – Adjointe : Véronique CARIOU		
Mathématiques, statistiques, informatique	El Mostafa QANNARI (Pr émérite) Chantal THORIN (Pr Ag.) Evelyne VIGNEAU (Pr)	Véronique CARIOU (MC HDR) Philippe COURCOUX (MC) Benjamin MAHIEU (MC) Michel SEMENOU (MC)
Économie, gestion, législation	Jean-Marc FERRANDI (Pr) Pascal BARILLOT (MC) Ibrahima BARRY (MC)	Sibylle DUCHAINE (MC) Sonia MAHJOUB (MC) Samira ROUSSELIERE (MC)

Membres du corps enseignant

	Florence BEAUGRAND (MC)	
Langues et communication	Marc BRIDOU (PLPA) David GOYLER (Ens. Cont.) Nathalie GOODENOUGH (PCEA) Patricia JOSSE (Ens. Cont.)	Shaun MEEHAN (Ens. Cont.) Linda MORRIS (PCEA) Ian NICHOLSON (Ens. Cont.)

Pr Ag. : Professeur Agrégé, Pr Ass. : Professeur associé, Pr : Professeur, MC : Maître de conférences, MCC : MC contractuel, PLPA : Professeur Lycée Professionnel Agricole, PCEA : Professeur Certifié Enseignement Agricole, HDR : Habilité à Diriger des Recherches, CERC : Chargé d'Enseignement et de Recherche Contractuel, Ens. Cont. : Enseignant Contractuel

Mentions légales

La reproduction d'extraits de cette thèse est autorisée avec mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée en incluant les éléments bibliographiques suivants :

- Nom et prénoms de l'auteur : DARMANCOURT Lucas, Nathan, Albert
- Année de soutenance : 2022
- Titre de la thèse : L'IKEJIME : État des lieux et apports de cette méthode d'abattage pour l'acceptabilité de la mise à mort des poissons
- Intitulé du diplôme : Thèse de doctorat vétérinaire
- Université de soutenance : Faculté de Médecine de Nantes
- École de soutenance : Oniris : École Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique
- Nombre de pages : 230 p.

Remerciements

À mon Jury,

Au Professeur Patrick Lustenberger, Professeur à la faculté de médecine de Nantes, pour me faire l'honneur de présider mon Jury de thèse.

Au Professeur Jean-Michel Cappelier, Professeur à Oniris pour avoir accepté de participer à ce Jury et pour ses réponses à mes questions au début de ce travail.

À Madame Ségolène Calvez, Maître de conférences à Oniris, pour son enthousiasme lorsque je lui ai proposé ce sujet et pour m'avoir encadré avec bienveillance tout au long de ce travail.

À Monsieur Romain Cause, Ingénieur ichtyologue au Muséum national d'Histoire Naturelle, pour me faire l'honneur de participer à ce Jury et pour son aide bienveillante dans la diffusion du questionnaire.

Table des matières

Membres du corps enseignant.....	2
Mentions légales.....	5
Remerciements.....	6
Table des matières.....	10
Table des annexes.....	17
Table des figures.....	18
Table des tableaux.....	21
Table des abréviations et des sigles.....	23
Introduction.....	26
Partie 1 – Étude bibliographique : L’Ikejime, une méthode d’abattage parmi d’autres.....	28
I- Prise en compte du bien-être lors de la mise à mort : une antonymie de notre temps appliquée au poisson.....	28
A- Le bien-être des poissons à l’abattage.....	28
1) Le bien-être animal : définition générale.....	28
2) Le bien-être des poissons.....	29
3) Mise à mort et abattage : définitions.....	30
4) L’abattage et le bien-être des poissons.....	31
5) La souffrance chez les poissons ?.....	31
a) Définition des souffrances : douleur, peur ou détresse.....	31
b) Les systèmes du stress et la douleur chez les poissons.....	32
c) La conscience et la douleur chez le poisson ?.....	33
B- Le bien-être des poissons : une préoccupation croissante de la société ?.....	35
1) Une société de plus en plus attentive au bien-être animal en général.....	35
a) Une préoccupation pour la société.....	35
b) Un sujet d’intérêt pour les scientifiques.....	36
c) Un regard différent sur le bien-être.....	36
2) Le sort des poissons : un cas particulier ?.....	36
a) Le sort des poissons ne préoccupe pas autant que celui des autres espèces.....	37
3) Une question qui émerge peu à peu malgré tout.....	38
a) Les associations de protection animale.....	38
b) Une préoccupation réelle pour les citoyens.....	39
i. Les premières pistes d’une étude néo-zélandaise.....	39
ii. Apports complémentaires d’un sondage européen.....	40
C- La législation sur le bien-être des poissons est-elle à la hauteur ?.....	40
1) Le code pour les animaux aquatiques de l’OIE, un texte de référence non contraignant.....	41
2) La législation européenne sur le bien-être des poissons.....	41
a) Le règlement CE n°1099/2009 : référence légale sur l’abattage du poisson applicable aujourd’hui en Europe et en France.....	42
3) Une législation nationale inexistante en France.....	42
4) Respect des standards de l’OIE en pratique.....	45
5) Les démarche volontaires, la certification.....	47
a) Le Plan aquacultures d’avenir.....	47
b) Les labels.....	47
i. Le label rouge.....	47
ii. L’agriculture biologique.....	49

Table des matières

iii. Les labels pour la pêche et le bien-être des poissons ?.....	49
c) Conclusion.....	49
D- La filière a intérêt à prendre en charge cette problématique du bien-être.....	49
E- Conclusion.....	50
II- Marqueurs scientifiques pour évaluer une méthode d'abattage.....	50
A- Les marqueurs de bien-être applicables à l'abattage des poissons.....	50
1) Souffrance et durée : nécessité d'une inconscience rapide.....	51
a) L'ECG.....	51
b) Signes comportementaux de la conscience.....	51
c) Réactions aux stimuli.....	52
d) Réflexes cliniques de la conscience.....	52
e) Méthode intégrée de mesure de la conscience du poisson.....	52
2) Les éléments comportementaux pour mettre en évidence le stress et les souffrances des poissons.....	53
3) Les marqueurs sanguins du stress.....	54
a) Le cortisol.....	55
b) Le glucose.....	56
c) La lactatémie.....	56
i. Indicateur de stress.....	56
ii. Indicateur de stress non spécifique ?.....	57
d) Le pH sanguin.....	57
e) Le Chlore.....	57
f) La pCO ₂	57
g) L'hématocrite.....	57
B- Bien-être et qualité sont intimement liés.....	58
1) L'analyse sensorielle : analyses subjectives de la fraîcheur.....	58
a) La cotation fraîcheur ou Méthode de l'indice de qualité (MIQ) : un exemple de test descriptif.....	58
b) Les tests triangulaires : un exemple de test discriminatif.....	58
c) Difficultés de l'analyse sensorielle.....	58
2) Les analyses objectives de la qualité.....	59
a) Apparition de la <i>rigor mortis conjointement à l'évolution du pH</i>	59
i. La <i>rigor mortis</i>	59
ii. Le pH et les lactates.....	61
b) Analyse texturale.....	62
c) Le pouvoir de rétention d'eau.....	62
d) Les évolutions biochimiques de la chair après la mort.....	62
e) L'ATP et ses métabolites.....	64
f) Évaluation des phénomènes oxydatifs.....	66
g) ABVT, TVB ou TVB-N.....	66
h) La bactériologie.....	67
C- Conclusion.....	69
III- Les méthodes d'abattage classiques et les défauts propres à chacune.....	69
A- Méthodes d'abattage pour la pêche et l'aquaculture en France et en Europe.....	69
1) Les techniques d'abattage et d'étourdissement du poisson en France et en Europe.....	69
B- Défauts propres à chaque méthode d'abattage classique.....	75
1) Asphyxie dans l'air.....	76

Table des matières

2) Engourdissement dans un bain de glace.....	76
3) Asphyxie avec le CO ₂	76
4) Éviscération.....	77
5) Décapitation, coup de couteau dans la nuque, fracture de la colonne vertébrale.....	77
6) Anesthésie.....	77
a) Un mauvais goût ?.....	77
b) Un moyen infallible contre la souffrance ?.....	77
c) Pas d'autorisation de mise sur le marché en France.....	78
7) Électronarcose.....	79
IV- L'Ikejime : état des lieux, bénéfices et inconvénients par rapport aux autres méthodes d'abattage.....	80
A- État des lieux : L'Ikejime, une méthode de mise à mort parmi d'autres. Quelle place dans le marché d'aujourd'hui et de demain ?.....	80
1) L'Ikejime : La technique et ses variantes.....	80
a) Définition de la méthode.....	80
b) Les outils.....	82
c) La saignée : une étape essentielle.....	83
d) Les variantes de l'Ikejime.....	84
i. Succession des étapes.....	84
ii. À bord ou à terre ?.....	85
2) Importance et perspectives économiques de l'Ikejime en France.....	85
a) Circuits existants pour la vente de produits Ikejime et volumes connus.....	86
b) Importance économique.....	86
c) Espèces concernées.....	86
d) Une filière naissante exposée aux risques.....	87
e) Perspectives de développement.....	90
3) Structuration : vers une filière Ikejime ?.....	90
4) Conclusion.....	91
B- Comparaison des techniques assimilées à l'Ikejime avec les autres méthodes d'abattage...	92
1) L'Ikejime est peu présent dans la littérature scientifique.....	92
a) Synonymie en langue anglaise.....	92
b) Méthodes dérivées de l'Ikejime pour l'euthanasie en expérimentation animale.....	92
c) De rares études sur l'Ikejime complet (décérébration + démyélinisation).....	92
2) L'Ikejime, une méthode acceptable.....	92
3) Comparaisons directes avec l'Ikejime.....	100
a) Ikejime vrai.....	100
b) Décérébration seule.....	101
i. Études sur le niveau d'inconscience induit, la souffrance.....	101
ii. Études sur la souffrance et la qualité.....	104
C- Avis officiel sur l'Ikejime de l'EFSA.....	110
1) Sur la qualité.....	110
2) Sur le bien-être.....	110
D- Conclusion.....	110
V- Conclusion.....	111
Partie 2 - Étude expérimentale.....	112
VI- Questionnaire pour un état des lieux des pratiques.....	112
A- Matériel et méthodes.....	112

Table des matières

1) Contexte et objectifs du questionnaire.....	112
a) Contexte.....	112
b) Objectifs.....	112
2) Matériel et méthodes.....	112
a) Type d'étude.....	112
b) Critères d'efficacité.....	112
c) Participants.....	113
i. Lieu de l'essai.....	113
ii. Dates de l'essai.....	113
iii. La population visée.....	113
d) Récolte des données et analyses statistiques.....	113
B- Résultats et discussion.....	113
1) Profil des répondants.....	113
a) Professionnels et particuliers.....	113
b) Zone de diffusion du questionnaire.....	114
c) Une pratique récente.....	114
d) Motivations.....	114
e) À la place de quoi ?.....	114
f) Espèces concernées.....	115
2) Une diversité de techniques.....	117
a) La technique (enchaînement décérébration + démyélinisation + saignée).....	117
b) La saignée.....	117
c) Le matériel utilisé.....	118
d) La formation.....	119
3) Les professionnels et les particuliers ?.....	119
4) Esprit d'ouverture.....	120
5) Perspectives pour l'Ikejime.....	121
6) La filière.....	121
7) Critique du questionnaire.....	121
C- Conclusion.....	122
VII- Comparaison des 3 méthodes d'abattage, l'asphyxie sur glace, la commotion et l'électroanesthésie avec l'Ikejime.....	122
A- Matériel et méthodes.....	122
1) Contexte et objectifs de l'expérimentation.....	122
a) Contexte de l'expérimentation Ikejime.....	122
b) Objectifs et hypothèses.....	123
2) Matériel et méthodes.....	123
a) Type d'étude.....	123
b) Critères d'efficacité.....	124
c) Participants.....	124
i. Lieu de l'essai : critères de sélection.....	124
ii. Dates de l'essai.....	124
iii. La sélection des individus de l'étude : taille de l'effectif et allocation.....	124
d) Validation du projet par un comité éthique.....	126
e) Une intervention : l'abattage.....	126
i. Protocole de capture.....	126
ii. Protocole de mise à mort.....	127
ii.i. Ikejime.....	127
ii.ii. Commotion cérébrale.....	128

Table des matières

ii.iii. Asphyxie sur glace.....	128
ii.iv. Électronarcose.....	129
iii. Protocole de prise de sang.....	129
iv. Protocole de saignée.....	130
v. Protocole d'éviscération.....	130
f) Récolte des données et analyses statistiques.....	131
i. Cortisolémie.....	131
ii. Glycémie et lactatémie.....	131
iii. Hémolyse.....	131
iv. Dimensionnement et organisation de l'étude <i>post mortem</i> (bactériologique, pH-métrie, texturométrie, fraîcheur).....	131
v. Suivi de la fraîcheur.....	133
vi. Collecte et analyse des données de pH.....	133
vii. Collecte et analyse des données de texturométrie.....	134
viii. Suivi bactériologique.....	135
viii.i. Préparation des solutions pour ensemencements des boîtes de Pétri.....	138
viii.ii. Comptage après culture à l'étuve.....	138
ix. Choix des variables explicatives et à expliquer et analyse statistique.....	139
ix.i. Variables.....	139
ix.ii. Le traitement des données.....	141
B- Résultats.....	144
1) Étude des marqueurs sanguins du stress.....	144
a) Le cortisol.....	144
i. Données brutes.....	144
ii. Traitement statistique.....	144
b) Le glucose.....	146
i. Données brutes.....	146
ii. Traitement statistique.....	146
c) Les lactates.....	148
i. Données brutes.....	148
ii. Traitement statistique.....	148
d) L'hémolyse.....	149
i. Données brutes.....	149
ii. Analyse statistique.....	149
2) Étude des marqueurs de qualité de la viande.....	150
a) Fraîcheur.....	150
i. Analyse tous stades confondus.....	150
i.i. Résultats bruts.....	150
i.ii. Analyse statistique.....	150
ii. Stade par stade.....	151
ii.i. Résultats bruts.....	151
ii.ii. Analyse statistique.....	152
b) Le pH.....	153
i. Analyse tous stades confondus.....	153
i.i. Résultats bruts.....	153
i.ii. Analyse statistique.....	153
ii. Stade par stade.....	154
ii.i. Résultats bruts.....	154
iii. Analyse statistique.....	154
c) La texture.....	155

Table des matières

i. La contrainte.....	155
i.i. Analyse de la contrainte tous stades confondus.....	156
i.i.i. Résultats bruts.....	156
i.i.ii. Analyse statistique.....	156
ii. La cohésion.....	157
ii.i. Analyse de la cohésion tous stades confondus.....	157
ii.i.i. Résultats bruts.....	157
ii.i.ii. Analyse statistique.....	157
ii.ii. La cohésion à chaque stade.....	158
ii.ii.i. Résultats bruts.....	158
ii.ii.ii. Analyse statistique.....	158
iii. Le collant.....	161
iii.i. Analyse du collant tous stades confondus.....	161
iii.i.i. Résultats bruts.....	161
iii.i.ii. Analyse statistique.....	161
iii.ii. Le collant à chaque stade.....	162
iii.ii.i. Résultats bruts.....	162
iii.ii.ii. Analyse statistique.....	162
iv. Bilan sur la texture.....	164
d) La bactériologie.....	164
i. Flore totale.....	164
i.i. Analyse tous stades confondus.....	164
i.i.i. Résultats bruts.....	164
i.i.ii. Analyse statistique.....	164
i.ii. Stade par stade.....	165
i.ii.i. Résultats bruts.....	165
i.ii.ii. Analyse statistique.....	165
ii. Entérobactéries.....	166
ii.i. Analyse tous stades confondus.....	166
ii.i.i. Résultats bruts.....	166
ii.i.ii. Analyse statistique.....	166
ii.ii. Analyse stade par stade.....	167
ii.ii.i. Résultats bruts.....	167
ii.ii.ii. Analyse statistique.....	168
iii. Pseudomonas spp.....	169
iii.i. Analyse tous stades confondus.....	169
iii.i.i. Résultats bruts.....	169
iii.i.ii. Analyse statistique.....	169
iii.ii. Analyse stade par stade.....	170
iii.ii.i. Résultats bruts.....	170
iii.ii.ii. Analyse statistique.....	170
C- Discussion.....	171
1) Les marqueurs sanguins.....	171
a) Le cortisol.....	171
b) Le glucose.....	174
c) Les lactates.....	175
d) L'hémolyse.....	176
e) Synthèse.....	178
2) Les marqueurs de qualité de la chair.....	180
a) La fraîcheur.....	181

Table des matières

b) Le pH.....	182
c) La bactériologie.....	183
d) La texture en bouche.....	185
i. La contrainte.....	185
ii. La cohésion.....	186
iii. Le collant.....	187
iv. Autres remarques sur la texture.....	187
3) Autres problématiques.....	189
a) La saignée.....	189
b) L'éviscération.....	190
c) Évaluation de la conscience dans notre expérience.....	190
d) La modélisation : un outil précieux mais imparfait.....	191
4) L'acceptabilité : comment classer les méthodes d'abattage ?.....	191
a) Des difficultés à obtenir des données comparables.....	191
b) Une perspective plus intégrée.....	192
D- Conclusion de l'expérimentation.....	193
Conclusion.....	194
Bibliographie.....	196
Annexes.....	225
Permis d'imprimer.....	230

Table des annexes

Annexe 1 : Méthode de Kestin, Van de Vis et Robb (2002) pour l'évaluation de l'état de conscience d'un poisson lors de l'abattage.....	225
Annexe 2 : Barème de cotation fraîcheur – CEE.....	226
Annexe 3 : Tailles d'échantillons (n) nécessaires pour obtenir des résultats significatifs en fonction des valeurs moyennes de cortisol attendues d'après la bibliographie et certaines valeurs hypothétiques déduites.....	228

Table des figures

Figure 1 : Schéma du test du réflexe vestibulo-oculaire (VOR) chez un poisson ©Kestin et al. (2002). (a) Le poisson est vivant ; (b) Il est mort.....	52
Figure 2 : Apparition des contractions de rigor mortis dans des filets de saumons atlantiques conservés sur glace, anesthésiés ou stressés ©Erikson et Misimi (2008). Moyenne ± Erreur standard (n = 7).....	60
Figure 3 : Evolution du pH dans des filets de saumons atlantiques conservés sur glace, anesthésiés ou stressés ©Erikson et Misimi (2008). Moyenne ± Erreur standard (n = 7).....	61
Figure 4 : Exemple de mobile de déformation pour réalisation d'un TPA image ©texturetechnologies.com – Le sens et la direction de la compression sont donnés par la flèche noire.....	62
Figure 5 : Dégradation de l'ATP dans le muscle du poisson <i>post mortem</i> d'après Huss (1999) et PubChem. Les enzymes sont : 1. ATP-ase ; 2. Myokinase ; 3. AMP-désaminase;4. IMP-phosphohydrolase ; 5a. Nucléoside phosphorylase ; 5b. Inosine nucléosidase ; 6. 7. Xanthine oxydase.....	65
Figure 6 : Signes de conscience chez 10 truites arc-en-ciel pendant l'induction et le réveil d'une anesthésie au MS-222® (100 mg/L) à 12 °C ©Kestin et al. (2002). Score moyen ± Erreur standard.	78
Figure 7 : Schéma de la mise à mort par Ikejime avec un tegaki droit et un fil de démyélinisation à mémoire de forme sur un bar commun (<i>Dicentrarchus labrax</i>).....	81
Figure 8 : Exemples de quatre tegaki pour la décérébration du poisson. (a) ©Hookook® ; (b) ©Page Facebook® Ikejime Fish ; (c) ©Stanley® ; (d) ©Solène Le Roux dans Le marin 24/11/2016.....	82
Figure 9 : Exemple de dispositif de décérébration à élastique ©Ikigun®.....	83
Figure 10 : Exemple de fil de démyélinisation ou Tige de démyélinisation modèle Yoshimi Shinkejime® ©Nishikidori.com.....	83
Figure 11 : Les 4 circuits de commercialisation des poissons Ikejime en France en 2018 d'après FranceAgriMer (2019).....	86
Figure 12 : Concentration en ATP dans la chair de truites immédiatement après la mise à mort selon les différentes méthodes d'abattage ©Wills et al. (2006). Valeurs moyennes ± erreurs standards de 6 poissons CO, 9 N ₂ et 7 AS.....	98
Figure 13 : Graphique des fréquences (en %) de citation de chaque espèce de poisson Ikejime par les 25 sondés de notre étude.....	116
Figure 14 : Hypothèses de travail.....	123
Figure 15 : Organisation générale de la salle.....	127
Figure 16 : Cliché radiographique <i>post mortem</i> d'une truite arc-en-ciel mettant en évidence le trajet intra-médullaire du fil de démyélinisation et le bon emplacement du point d'entrée crânien du tegaki (constantes radiographiques : 45 kV et 2 mAs).....	128
Figure 17 : Burin de maçon dont le manche a été utilisé comme outil de commotion cérébrale ©savagecars.ru.....	128
Figure 18 : Disposition des poissons dans un bac de glace recouvert d'une plaque de PMMA et de glace à nouveau de manière à la piéger au frais tout en pouvant les observer ponctuellement.....	129
Figure 19 : Point d'entrée de l'aiguille pour la prise de sang dans le sinus veineux caudal sur un truite arc-en-ciel ©smart.servier.com ; ©charlesmurgat.com.....	130
Figure 20 : Photographie de la levée d'un filet.....	132
Figure 21 : Évaluation de la couleur de la chair.....	133
Figure 22 : Évaluation du mucus branchial.....	133
Figure 23 : Sonde pH-métrique 3110 WTW® dans sa solution tampon et pH-mètre.....	134

Table des figures

Figure 24 : TPA (Profil d'Analyse de la Texture) réalisé en 3 points sur chaque filet avec un capteur TA-TX+.....	134
Figure 25 : Position approximative des 3 points de mesure avec le capteur de force sur le filet - ©Kévin Crouvisier-Urien.....	135
Figure 26 : Capteur de force 5 kg TA-XT+®.....	135
Figure 27: Les résidus du modèle sont alignés sur la première bissectrice ($y = x$). La condition de normalité est vérifiée.....	143
Figure 28 : Les résidus du modèle sont répartis de manière homogène par rapport à $y = 0$. La condition d'homogénéité est vérifiée.....	143
Figure 29 : Représentation graphique des résultats de la modélisation linéaire du cortisol en fonction de la méthode d'abattage et du temps de prélèvement dans le bac. Moyenne \pm Erreur standard ; * : différence à 92 % de confiance.....	145
Figure 30 : Diagramme des quartiles des concentrations plasmatiques en cortisol brutes dans le post mortem immédiat en fonction de la méthode d'abattage utilisée. \circ : valeur extrême.....	146
Figure 31 : Représentation graphique des résultats de la modélisation linéaire de la glycémie en fonction de la méthode et du temps de prélèvement dans le bac. Moyenne \pm Erreur standard.....	147
Figure 32 : Diagramme des quartiles des concentrations plasmatiques en glucose dans le post mortem immédiat en fonction de la méthode d'abattage utilisée. \circ : valeur extrême.....	148
Figure 33 : Diagramme des quartiles des concentrations plasmatiques en lactates dans le post mortem immédiat en fonction de la méthode d'abattage utilisée. \circ : valeur extrême.....	149
Figure 34 : Diagramme en barres empilées des effectifs associés à un niveau d'hémolyse du sang des prélèvements sanguins selon la méthode d'abattage.....	150
Figure 35 : Fraîcheur des filets sur une échelle de notation de fraîcheur croissante de 0 à 21 d'après la méthode de l'indice de qualité (cf. p. 58) en fonction de la méthode d'abattage tous stades confondus. \circ : valeur extrême.....	151
Figure 36 : Fraîcheur des filets sur une échelle de notation de fraîcheur croissante de 0 à 21 d'après la méthode de l'indice de qualité (cf. p. 58) en fonction du stade de conservation (en jours). \circ : valeur extrême.....	151
Figure 37 : Représentation graphique des résultats de la modélisation linéaire de la lactatémie en fonction de la méthode et du temps de prélèvement dans le bac. Moyenne \pm Erreur standard.....	151
Figure 38 : Graphiques de comparaison des notes de fraîcheur en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7 et J9). * : différence à 90 % de confiance.....	152
Figure 39 : Représentation graphique des résultats de la modélisation linéaire du pH des filets en fonction de la méthode, du stade de conservation et du temps de prélèvement dans le bac. Moyenne \pm Erreur standard.....	153
Figure 40 : Diagramme des quartiles du pH des filets à tous les stades de conservation étudiés confondus (J0, J3, J7, J9) en fonction de la méthode d'abattage utilisée. \circ : valeurs extrêmes.....	154
Figure 41 : Diagramme des quartiles du pH des filets toutes méthodes d'abattage confondues en fonction du stade de conservation (en jours). \circ : valeurs extrêmes.....	154
Figure 42 : Graphiques de comparaison du pH des filets en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7 et J9). * : différence à 90 % de confiance.....	155
Figure 43 : Contrainte des filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades confondus. \circ : valeurs extrêmes.....	156
Figure 44 : Contrainte des filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues. \circ : valeurs extrêmes ; * : différence à 90 % de confiance.....	156
Figure 45 : Cohésion des filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades confondus. \circ : valeurs extrêmes.....	157
Figure 46 : Contrainte des filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues. \circ : valeurs extrêmes.....	157

Table des figures

Figure 47 : Représentation graphique « allEffects » de l'effet de l'interaction Méthode d'abattage/Stade de conservation sur la cohésion. Moyenne ± Erreur standard.....	158
Figure 48 : Représentation graphique « allEffects » de l'effet du point de mesure sur la mesure de cohésion à J3. Moyenne ± Erreur standard.....	159
Figure 49 : Graphiques de comparaison de la cohésion des filets en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7, J9). ○ : valeurs extrêmes.....	160
Figure 50 : Représentation graphique « allEffects » de l'effet du point de mesure sur la mesure de cohésion à J7. Moyenne ± Erreur standard.....	160
Figure 51 : Collant des filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades confondus. ○ : valeurs extrêmes.....	161
Figure 52 : Collant des filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues. ○ : valeurs extrêmes ; * : différence à 90 % de confiance.....	161
Figure 53 : Représentation graphique « allEffects » de l'effet de l'interaction Méthode d'abattage/Stade de conservation sur le collant. Moyenne ± Erreur standard.....	162
Figure 54 : Représentation graphique « allEffects » de l'effet de la méthode d'abattage sur le collant à J0. Moyenne ± Erreur standard.....	163
Figure 55 : Graphiques de comparaison du collant des filets en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7, J9). ○ : valeurs extrêmes.....	163
Figure 56 : Flore totale des filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades de conservation confondus. ○ : valeurs extrêmes.....	165
Figure 57 : Flore totale des filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues. ○ : valeurs extrêmes ; tous les stades sont significativement différents.....	165
Figure 58 : Graphiques de comparaison de la contamination des filets par la flore totale mésophile aérobie en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7, J9). * : différence à 90 % de confiance.....	166
Figure 59 : Entérobactéries dans les filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades de conservation confondus.....	167
Figure 60 : Entérobactéries des filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues.....	167
Figure 61 : Evolution des moyennes des dénombrements d'entérobactéries dans les échantillons selon la méthode d'abattage et en fonction du stade de conservation au réfrigérateur. Moyenne ± Erreur standard (n = 4).....	168
Figure 62 : Graphiques de comparaison de la contamination des filets par les entérobactéries en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7, J9).....	169
Figure 63 : Pseudomonas spp. dans les filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades de conservation confondus.....	170
Figure 64 : Pseudomonas spp. dans les filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues.....	170
Figure 65 : Graphiques de comparaison de la contamination des filets par les Pseudomonas spp. en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7, J9).....	171
Figure 66 : Cinétique de la cortisolémie après un stress chez la truite en fonction du temps en heures ©Jentoft et al. (2005).....	173
Figure 67 : Comparaison de deux échelles de classement des méthodes d'abattage les plus bénéfiques et les moins bénéfiques. En haut : d'après Poli et al. (2004) ^[30,93,99,101,110,128,158,166] et en bas : d'après Robb et Kestin (2002). Les différences de classement sont mises en avant par des astérisques.....	192

Table des tableaux

Tableau I : Quelle place pour le poisson dans l'échelle socio-zoologique d'Arluke et Sanders (1996) ^[58] ?	37
Tableau II : Techniques d'étourdissement et ou de mise à mort directe acceptables pour l'OIE d'après son article 7.3.7. d'après le Code de l'OIE pour la santé des animaux aquatiques (2022) ^[69] .	41
Tableau III : État des lieux de la réglementation européenne sur le bien-être des poissons en 2018 d'après <i>Report on the possibility of introducing certain requirements regarding the protection of fish at the time of killing</i> (2018) ^[68]	43
Tableau IV : Résumé pays par pays du respect des standards de l'OIE ©Report on the possibility of introducing certain requirements regarding the protection of fish at the time of killing (2018) ^[68]	45
Tableau V : Critères relatifs à l'abattage pour le cahier des charges label rouge d'après le site internet de l'INAO.....	48
Tableau VI : Tableau récapitulatif des paramètres comportementaux pertinents pour l'évaluation de la souffrance en abattoir lors de l'induction de l'inconscience ©More et al. (2018) ^[88] adapté aux poissons.....	53
Tableau VII : Tableau récapitulatif des paramètres physiologiques pertinents pour l'évaluation de la souffrance en abattoir lors de l'induction de l'inconscience ©More et al. (2018) ^[88] adapté aux poissons.....	54
Tableau VIII : Revue de la littérature réduite aux éléments de physiologie du sang pertinents pour l'évaluation d'un stress aigu(contexte d'une mise à mort) ©Seibel et al. (2021) ^[97]	55
Tableau IX : Apparition et durée de la <i>rigor mortis</i> variable selon l'espèce et le stress <i>ante mortem</i> ©Huss (1999) ^[128]	60
Tableau X : Résumé des changements autolytiques dans le poisson réfrigéré ©Huss(1999) ^[128]	63
Tableau XI : Synthèse des populations bactériennes sur un cabillaud au moment de son altération dans diverses conditions de stockage <i>post mortem</i> ©Huss (1999) ^[128]	68
Tableau XII : Synthèse des différentes méthodes d'abattage du poisson en France et en Europe.....	70
Tableau XIII : Méthodes d'étourdissement et/ou d'abattage en usage pour les poissons en Europe en 2004 d'après <i>l'Avis du groupe scientifique sur la santé et le bien-être animal (2004)</i> ^[42]	75
Tableau XIV : Méthodes lentes et méthodes rapides pour induire l'inconscience d'après Robb et Kestin (2002) ^[30]	76
Tableau XV : Durée d'une asphyxie dans l'air de truites arc-en-ciel sorties d'eau à des températures différentes d'après Kestin et al. (1991) ^[92]	76
Tableau XVI : Ventes en Ikejime en Halles à marées en 2018 ©FranceAgriMer (2019) ^[185]	87
Tableau XVII : Évaluation des risques et actions à mettre en œuvre ©FranceAgriMer 2019 ^[185]	88
Tableau XVIII : Proposition d'une matrice SWOT de la « filière » Ikejime en France d'après FranceAgriMer (2019) ^[185] , Produits de la Mer, n°202 (2020) ^[31] le SMIDAP (Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Pays de la Loire) ^[191]	89
Tableau XIX : Synthèse des comparaisons des techniques d'étourdissement et/ou de mise à mort directe d'après le Code de l'OIE pour la santé des animaux aquatiques (2022) ^[69] et le <i>Rapport sur la possibilité d'introduire certaines exigences relatives à la protection des poissons au moment de l'abattage</i> (2018) ^[68]	93
Tableau XX : Classement des qualités associées à différentes méthodes d'abattage du bar (<i>Dicentrarchus labrax</i>) pour plusieurs critères d'après Simitzis et al. (2014) ^[167]	99

Table des tableaux

Tableau XXI : Comparaison de l'évaluation comportementale et par électroencéphalogramme de l'abolition de la conscience pour différentes méthodes d'abattage ©Kestin et al., 2002 ^[93]	101
Tableau XXII : Comparaison des méthodes d'abattage entre elles chez le saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>) d'après Robb et al. (2000) ^[90]	103
Tableau XXIII : Résumé d'une comparaison de la décérébration, la commotion, l'asphyxie au CO2 et la saignée d'après Sorensen et al. (2004) ^[123] avec la méthode de Kestin, van de Vis et Robb, (2002) ^[93] chez <i>Salmo salar</i>	104
Tableau XXIV : Résumé des impacts négatifs sur le bien-être et la qualité pour différentes méthodes d'abattage du poisson d'après Robb et Kestin (2002) ^[30]	105
Tableau XXV : Comparaison de la réaction aux stimuli externes chez le bar pour différentes méthodes d'abattage ©Poli et al. (2004) ^[101]	106
Tableau XXVI : Comparaison des méthodes d'abattage du bar à l'aide des paramètres sanguins rendant notamment compte de la souffrance ©Poli et al. (2004) ^[101]	107
Tableau XXVII : Résumé des résultats analytiques des 6 expérimentations par un « score de nuisance » ©Poli et al. (2004) ^[101]	108
Tableau XXVIII : Exemples de concentrations de cortisol plasmatique après différents stress chez la truite, la perche, le saumon, le bar et le thon.....	124
Tableau XXIX : Ordre d'abattage avec ordre de passage équitablement réparti.....	125
Tableau XXX : Échantillonnage des poissons pour levée des filets aux différents temps post abattage.....	132
Tableau XXXI : Critères sanitaires microbiologiques de la FCD pour des denrées proches des poissons Ikejime (les valeurs seuils sont en UFC/g d'aliment) ^[218]	136
Tableau XXXII : Synthèse des portages bactériens de la truite arc-en-ciel d'élevage ^[149,223,224]	137
Tableau XXXIII : Nombre de dilutions et de gélosesensemencées.....	139
Tableau XXXIV : Caractérisation des variables à expliquer.....	139
Tableau XXXV : Caractérisation des variables explicatives.....	141
Tableau XXXVI : Table d'analyse de la variance du modèle du cortisol plasmatique.....	144
Tableau XXXVII : Table des effets fixes du modèle du cortisol plasmatique.....	145
Tableau XXXVIII : Table de comparaison de Tukey de la glycémie en fonction de la méthode d'abattage (différences significatives).....	147
Tableau XXXIX : Table de comparaison de Tukey de la lactatémie en fonction de la méthode d'abattage (différences significatives).....	148
Tableau XL : Table de comparaison de Tukey de la fraîcheur en fonction de la méthode d'abattage au stade J9 (différences significatives).....	152
Tableau XLI : Table de comparaison de Tukey de la contrainte toutes méthodes confondues en fonction du stade (différences significatives).....	156
Tableau XLII : Table de comparaison de Tukey de la cohésion toutes méthodes confondues en fonction du point de mesure à J0 (différences significatives).....	158
Tableau XLIII : Table de comparaison de Tukey de la cohésion toutes méthodes confondues en fonction du point de mesure à J3 (différences significatives).....	159
Tableau XLIV : Table de comparaison de Tukey de la cohésion en fonction de la méthode d'abattage à J7 (différences significatives).....	159
Tableau XLV : Table de comparaison de Tukey des méthodes au stade J0 (différences significatives).....	162
Tableau XLVI : Illustration de la variabilité des classements selon le stress d'après Poli et al. (2004) ^[101]	188

Table des abréviations et des sigles

ABVT : Acide basique volatil total (synonyme de TVB ou TVB-N de l'anglais Total volatil basic nitrogen)

AC : Courant alternatif, de l'anglais Alternative current

ACTH : Hormone adrénocorticotrope, de l'anglais Adreno-cortico-tropic hormon

AEC : Charge d'énergie adénylée, de l'anglais Adenylate energy charge

ANOVA : Analyse de la variance, de l'anglais Analysis of variance

Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

AOP : Pouvoir antioxydant, de l'anglais Antioxydant power

AS : Asphyxie

ASI : Asphyxie sur la glace (I de l'anglais ice)

ATP : Adénosine triphosphate

CFC : Céphalotine, fusidine et cétrimide

CGWI : Anesthésie au clou de girofle puis immersion dans l'eau glacée de - 3 à 0 °C

CIWF : Compassion in world farming

CN : Coup de couteau dans la nuque

CNRTL : Centre national des ressources textuelles et lexicales

CO : Commotion cérébrale

COWI : Commotion et engourdissement dans boue de glace, WI de l'anglais Water ice

DASRI : Déchets d'activités de soin à risque infectieux

DC : Courant continu, de l'anglais Direct current

DGAL : Direction générale de l'alimentation

DILA : Direction de l'information légale et administrative

DMA : Diméthylamine

ECG : Électroencéphalogramme

EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments, de l'anglais European food safety agency

EL : Électronarcose

Table des abréviations et des sigles

FCD : Fédération du commerce et de la distribution

FROM : Fonds régional organisation du marché

GC : Asphyxie/narcose au CO₂, pour Gaz carbonique

GMP : Guanosine monophosphate ou guanylate

GMS : L-glutamate monosodique

HPI : Hypothalamo-pituitaire-interénal

Hx : Hypoxanthine

IASP : Association internationale pour l'étude de la douleur, de l'anglais International association for the study of pain

IK : Ikejime

IMP : Inosine monophosphate ou inosinate

INAO : Institut national de l'origine et de la qualité

Ino : Inosine (synonyme de HxR)

JORF : Journal officiel de la République française

LMR : Limite maximale de résidus

MIQ : Méthode de l'indice de qualité

MSC : Marine stewardship council

ONG : Organisation non gouvernementale

OTMA : Oxyde de triméthylamine

PCA : Plate count agar

PCR : Réaction de polymérisation en chaîne, de l'anglais Polymerisation chain reaction

PE : Anesthésie au 2-phénoxyéthanol

PMMA : Polyméthacrylate de méthyle

PRE : Pouvoir de rétention d'eau

RAS : Rien à signaler

RIA : De l'anglais Radio-immuno assay

ROMs : Taux de radicaux libres, de l'anglais Reactive oxygen metabolites (parfois dénommés Free radical scavengers)

Table des abréviations et des sigles

SR-ATB : Substance réactive à l'acide thiobarbiturique (synonyme de TBARS, de l'anglais Thiobarbituric acid reactive substances)

SWOT : Forces, faiblesses, opportunités et menaces, de l'anglais Strengths, weaknesses, opportunities and threats

TLFi : Trésor de la langue française informatisé

TMA : Triméthylamine

TMAO-N ou TMA-N : Oxyde d'azote de triméthylamine

TPA : Profil d'analyse texturale, de l'anglais Texture profile analysis

UE : Union européenne

UFC : Unité formant colonie

VER/Ps : Réponses aux stimuli visuels, de l'anglais Visual evoked responses/potential

VOR : Réflexe oculo-vestibulaire, de l'anglais Vestibulo-ocular reflex

VRBG : Violet red bile glucose agar

WI : Eau glacée, de l'anglais Water ice

WI-100GC : Eau glacée saturée avec 100% CO₂

WI-40GC : Eau glacée saturée avec 60% N₂ et 40% CO₂

WI-60GC : Eau glacée saturée avec 40% N₂ et 60% CO₂

WI-N₂ : Eau glacée saturée avec 100 % de N₂

Xa : Xanthine

Introduction

La France, avec ses 11,2 millions de km² de zone économique exclusive, constitue le deuxième domaine maritime mondial derrière les États-Unis d'Amérique^[1]. La ressource halieutique de cet espace, les 65 ports de pêche et 42 halles à marées^[2] que compte le pays lui permettent d'être le troisième producteur européen de produits de la pêche en 2015^[3]. La pêche pèse 1,23 milliards d'euros en 2020 dans notre économie. La même année la pisciculture française dégage 234 millions d'euros et quelques 46 324 tonnes de truites, saumons, poissons marins (bar, daurade²...) et poissons d'étang ont été produites dans le pays^[4]. Chaque Français consomme en moyenne 23,5 kg de poissons issus de la pêche et de l'aquaculture dans l'année^[5]. Si l'augmentation depuis 2008 (22,4 kg/an/hab) est faible, elle est notable par rapport à 1994 où les Français en consommaient 17,4 kg/an/hab (+35 %)^[6]. Dans l'Union européenne (UE) la consommation de produits de la pêche et de l'aquaculture connaît une augmentation régulière avec une forte dynamique des produits issus de l'aquaculture^[7]. En parallèle, l'appétit pour la viande rouge diminue depuis les années 1990. Si, selon les experts de l'Académie vétérinaire de France, l'explication résidait principalement dans les arguments nutritionnels ayant émergés dans les années 80, il faut aujourd'hui souligner l'impact des préoccupations grandissantes pour l'environnement et le bien-être animal^[7].

Ces préoccupations nouvelles préfigurent un changement de paradigme où le statut d'animal « objet » recule au profit du statut d'être sensible. Que nous parlions d'animaux domestiques ou de production, cette perception de l'animal interroge l'usage qu'il en est fait et les égards qui leur sont dus. Le sort réservé aux bêtes d'abattoirs, aux poules en cage, émeut depuis plusieurs années, mais nos pratiques à l'égard des poissons doivent aussi nous interroger. Ces derniers, qu'ils soient élevés ou pêchés, sont exposés à des sources de stress et de douleur potentielles multiples^[8,9], la plus manifeste étant sûrement la façon dont ils vont trouver la mort. Les conditions de cette mise à mort sont très présentes dans le débat public et politique quand il s'agit de bétail mais peu évoquées pour les poissons. Quel est notre regard sur la souffrance des poissons au moment de la mise à mort ? Quels sont les moyens de la diminuer ? En effet, même quand le poisson est pêché individuellement et ne meurt pas écrasé dans un chalut ou une senne, il est bien fréquent que le pêcheur à la ligne le laisse mourir d'asphyxie à l'air libre ou dans la glace^[10-13]. Est-ce une mort acceptable pour ces êtres vivants ? Ce sont autant de questions que se sont posées un jour les pêcheurs, mareyeurs et/ou poissonniers qui pratiquent maintenant l'Ikejime.

Quel est donc ce mot étrange : « Ikejime » ? Ce terme qui nous vient du japonais (活け締め) désigne la technique d'abattage du poisson par excellence dans l'empire du soleil levant. Elle consiste à détruire le cerveau avec une pointe pour provoquer l'inconscience rapidement, puis la mort en limitant la douleur. Ensuite la moelle épinière du poisson est détruite avec un fil métallique que l'opérateur passe dans l'ensemble du canal médullaire^[14]. Cette démyélinisation permettrait de couper la transmission de l'information de la mort aux tissus et de ralentir les processus de putréfaction^[14,15].

Longtemps restée confinée à son orient natal, cette méthode connaît un essor médiatique important. A peine importée en France a-t-elle rapidement gagné ses lettres de noblesse auprès de plusieurs chefs étoilés qui contribuent à sa renommée. Ils vantent l'aspect éthique d'un tel produit, fruit d'un abattage « plus respectueux », les qualités organoleptiques, de conservation,

2 L'orthographe dorade existe aussi et désigne les mêmes poissons, appartenant à la famille des Sparidés.

3 La consommation moyenne par habitant entre 2013 et 2015 est de 34 kg de produits de la pêche et d'aquaculture sachant qu'en 2015 elle est ventilée comme suit : 58 % et 11 % respectivement pour les poissons de pêche et les poissons d'élevage. Nous estimons donc la consommation moyenne de poissons à 23,46 kg/an/habitant.

Introduction

incomparables des poissons ainsi abattus^[16,17]. Aussi il semble pertinent de se demander : Pouvons-nous dresser un état des lieux de l'importance et des formes que prend l'Ikejime en France ? Et : En quoi l'Ikejime peut-il rendre la mise à mort des poissons plus acceptable ?

Nous décrirons d'abord les aspects suivants à partir des données bibliographiques disponibles.

Il nous faudra définir un abattage respectueux du poisson. S'il s'agit de traiter le poisson avec égards et considération, il semble nécessaire de considérer son bien-être. Comment le bien-être animal est-il défini de nos jours ? Comment le déclinons-nous aux poissons et au cas particulier de leur mise à mort ? La souffrance à l'abattage des poissons a-t-elle une émanation légale à la hauteur de la préoccupation sociale qu'elle suscite ? Existe-t-il d'autres cadres qui prennent en charge ces questions ?

Une fois le bien-être défini nous verrons comment il est possible de l'évaluer concrètement dans le cas particulier de la mise à mort des poissons. Même si le respect passe par l'attention portée au bien-être, il ne repose pas uniquement sur cela. Le respect c'est aussi d'éviter le gaspillage, d'utiliser au mieux la mort de l'animal. Or, nous savons qu'avec l'Ikejime il y a d'autres bénéfices attendus, sur la qualité organoleptique du poisson ou sa texture. Nous verrons donc quels outils sont à notre disposition pour évaluer ces bénéfices supposés pour le stress et la qualité de la chair.

Certes, ce qui est moralement acceptable ou inacceptable doit sûrement échapper au relativisme, mais quand nous parlons d'un « moindre mal » il semble inévitable de comparer. Aucune méthode de mise à mort n'est sans douleur, stress ou violence. Mais certaines le sont sûrement moins que d'autres^[9]. Il nous faudra donc également caractériser les autres méthodes d'abattage existantes et leurs défauts.

Puis nous présenterons l'Ikejime et ses différentes variantes. Nous étudierons son implantation dans le pays, son importance économique, ses perspectives de développement et de structuration en filière. Enfin nous tenterons de répondre à ces questions : l'Ikejime diminue-t-il réellement la souffrance ? Est-ce la seule et/ou la meilleure méthode pour atteindre cet objectif ? L'accroissement de la qualité et la meilleure durée de conservation des poissons Ikejime sont-ils des réalités ? Sont-ils bien le seul fruit de l'Ikejime ou du soin global qu'il suppose ? Pouvons-nous attendre d'autres méthodes qu'elles donnent des résultats semblables voire meilleurs ?

Dans un second temps nous verrons si nous pouvons apporter un éclairage complémentaire à ces données.

D'une part, en dressant un premier bilan des interrogations qui émergent suite à la diffusion d'un questionnaire à destination des pratiquants de l'Ikejime en France, l'objectif étant de mieux cerner la diversité de leurs pratiques et de leur conception de cette méthode. D'autre part, au travers d'une étude comparative expérimentale de l'Ikejime avec 3 autres méthodes d'abattage appliquées à la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*⁴). Nous comparerons l'Ikejime à l'électroneuroleptose, la commotion cérébrale et l'asphyxie sur glace sur la base de marqueurs physiologiques sanguins. Nous étudierons aussi certains critères de qualité pendant une conservation prolongée au réfrigérateur (9 jours).

4 Anciennement dénommée *Salmo gairdneri*.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Définitions, comparaison des techniques, approche sociétale et éthique des méthodes pour l'acceptabilité de la mise à mort des poissons

I- Prise en compte du bien-être lors de la mise à mort : une antonymie de notre temps appliquée au poisson

L'Ikejime revendique un respect accru du poisson, notamment en lui épargnant une lente agonie dans le cas fréquent où il s'asphyxie sur le pont des bateaux de pêche^[10]. Pour traiter de l'acceptation de certaines pratiques il faut aussi étudier l'importance sociologique que nous donnons au bien-être et à celui des poissons en général. Qu'est ce qui semble inacceptable pour l'opinion publique et quel regard a la société sur les poissons et leur souffrance ? Le consommateur est-il sensible au sort des poissons ? La loi apporte-t-elle les garanties nécessaires pour répondre à cette préoccupation ?

A- Le bien-être des poissons à l'abattage

1) Le bien-être animal : définition générale

Au fur et à mesure qu'elle gagne en importance dans la société, la notion de bien-être animal s'est affinée au cours du temps. Elle est encore largement inspirée de l'utilitarisme de Bentham⁵. Cette conception initialement réservée aux humains a dû attendre la fin du XX^{ème} siècle pour voir son extension admise aux animaux. Le principe consiste à dire que celui qui peut souffrir doit au maximum être épargné de cette souffrance. Mais cet impératif peut s'effacer derrière la recherche d'un plus grand bien, pour le groupe, la société^[8].

Souvent limitée par le passé à l'idée de bonne santé et d'absence de cruauté, aujourd'hui, le bien-être réside plus dans la perception par l'individu de sa situation. Nous pouvons faire le parallèle avec le préambule de la constitution de l'OMS qui définit ainsi la Santé : « La santé est un état de complet bien-être physique, mental et social et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité »^[19].

En 1997 Fraser va dans ce sens. Il définit les piliers du bien-être animal pour son étude par le monde scientifique. Il les répartit en trois piliers : Les « animaux mènent une vie naturelle fondée sur le développement et le recours à leurs adaptations et capacités naturelles. Les animaux se sentent bien, étant libres de toute souffrance **prolongée ou intense**, de tout état de mal-être, et vivant des **plaisirs normaux pour leur espèce**. Enfin, leur organisme doit bien fonctionner, grâce à une santé et une croissance satisfaisantes, des **fonctions physiologiques et un comportement normaux**. » (traduit de l'anglais)^[20]. Cette publication de Fraser et al. (1997) pointe aussi du doigt le fait d'étudier uniquement le fonctionnement biologique des animaux en supposant que son étroite corrélation avec l'expérience subjective suffit à comprendre cette dernière. Il faut étudier le

5 Jérémie Bentham est un philosophe britannique né en 1748 et mort en 1832. Il est notamment connu pour avoir théorisé le Panoptique et souvent cité comme « le père de l'Utilitarisme », une école de pensée dont l'obsession est de maximiser le bien-être collectif. L'action n'a de valeur morale qu'à l'aune de ce qu'elle produit comme résultat fut-elle à priori injuste^[18]; www.cnrtl.fr

fonctionnement biologique mais aussi l'expérience subjective du sujet pour avoir une idée de son bien-être.

Ainsi les 5 libertés définies en 1979 par le FAWC (Farm Animal Welfare Council) doivent toujours être considérées comme des conditions du bien-être mais jamais comme sa définition. Pareils à l'absence d'infirmité ou de maladie, ils sont une condition mais ne suffisent pas. Nous rappelons ici ces « 5 libertés » aussi connues sous leur dénomination anglo-saxonne de « Five freedoms » : «1) Absence de faim et de soif par la possibilité d'accéder librement à de l'eau et de la nourriture saines pour le maintien d'un bon niveau de santé et de vigueur. 2) Absence d'inconfort grâce à un environnement approprié, incluant un abri et une aire de repos confortables. 3) Absence de douleur, de blessures et de maladie par des mesures de prévention ou un diagnostic rapide, suivi du traitement approprié. 4) Liberté d'expression d'un comportement normal grâce à un espace suffisant, des installations adaptées et la compagnie d'autres congénères. 5) Absence de peur et de détresse en veillant à garantir des conditions de vie et un traitement des animaux évitant toute souffrance mentale. »^[21]

L'Anses⁶ dans son Avis relatif au Bien-être animal de 2018^[22], propose que « Le bien-être d'un animal est l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que de ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal ». Avec cette définition il n'est plus seulement question d'éviter les souffrances mais bien de se poser aussi la question du ressenti des plaisirs. C'est cette même définition qu'a choisi d'utiliser le site des Chambres d'agriculture de France^[23]. Le Centre national de référence pour le bien-être animal reprend lui aussi cette définition de L'Anses à son compte^[24]. Nous ferons donc de même et utiliserons cette définition du bien-être.

2) Le bien-être des poissons

Il existe différentes approches du bien-être des poissons : l'approche basée sur les ressentis du poisson, l'approche basée sur le fonctionnement biologique (ou « approche fonctionnelle ») et l'approche basée sur la l'état de nature (ce qui est naturel ou ne l'est pas)^[25-28]. Cette dernière pose un problème assez rapidement identifiable : l'animal ressent naturellement de la peur dans son environnement. Un stress de prédation par l'homme serait alors inacceptable quand un même stress de prédation par une loutre le serait totalement ? Dans la perspective du poisson il n'y a aucune raison de valider cette hypothèse et de penser que son état mental soit plus négativement affecté par l'une des menaces plutôt que par l'autre. Pour l'approche « naturelle », si nous ôtons la prédation naturellement subie par le poisson, rien ne permet de dire que cela créera un quelconque stress. L'approche basée sur les fonctions biologiques peut donner des informations intéressantes mais une mauvaise santé, nous l'avons dit, ne signifie pas forcément du mal-être induit par l'homme et une bonne santé n'interdit pas de connaître des états de peur ou de stress importants. Cette définition appartient au registre des définitions trop restrictives que dénonce Fraser en 1997. Il pointe du doigt le fait d'étudier uniquement le fonctionnement biologique des animaux en supposant que son étroite corrélation avec l'expérience subjective suffit à comprendre cette dernière. Il faut étudier le fonctionnement biologique mais aussi l'expérience subjective du sujet pour avoir une idée de son bien-être. Le bien-être de l'animal ne peut pas être réduit à de bonnes performances de production, en supposant que si elles sont bonnes alors, il satisfait ses besoins biologiques, il a une expérience subjective du monde et de sa propre existence qui lui assure un état de bien-être^[20].

C'est ce que fait Huntingford, fidèle à la définition de L'Anses, en choisissant l'approche basée sur le ressenti en considérant que le mal être est « **l'expérience prolongée d'état mentaux**

⁶ Anses : c'est le sigle de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

déplaisants ». Il faut évacuer une controverse qui existe entre certains auteurs^[25,28]. La science doit s'intéresser à ce que **ressent l'animal** puisque la problématique pour le public comme pour la législation c'est l'absence de souffrance^[27]. Au point de vue scientifique, le **ressenti fait explicitement partie de la définition du bien-être**^[22] (cf. p. 29). Pour autant, contrairement à ce que craignent Arlinghaus et al. (2007)^[25], l'étude avec une approche basée sur les ressentis ne repose pas sur l'anthropomorphisme. Il s'agit juste de dire que nous allons parler des probables ressentis de l'animal, mais à l'aune de constatations scientifiques mesurables supposées traduire ce ressenti (cf. p. 50).

Les facteurs de stress et de mal-être potentiels que les poissons issus de l'aquaculture peuvent subir tout au long de leur vie sont connus^[8]. Mais les poissons ne sont pas des animaux d'élevage comme les autres, *a fortiori* dans la mesure où une partie de ceux que nous mangeons est issue de la pêche. Les stress rencontrés par le poisson ne sont pas les mêmes selon que le poisson est élevé (aquaculture) ou pêché (halieutique).

3) Mise à mort et abattage : définitions

La mise à mort est définie par l'UE^[29] comme : « tout procédé appliqué intentionnellement qui cause la mort d'un animal ». Metclafe (2009)^[9] souligne que, dans le cas de la pêche de poissons sauvages, cette dimension intentionnelle est souvent absente. Les poissons trouvent parfois la mort du fait de la technique de pêche employée plus que par un acte délibéré du pêcheur visant à le tuer. Soit les poissons meurent de l'écrasement, de l'asphyxie par raréfaction du dioxygène dissous dans l'eau d'un chalut ou d'une senne surpeuplée, d'épuisement dans les filets ou sur certaines palangres, soit ils s'asphyxient sur le pont, dans les caisses ou la glace. Nous ne nous intéresserons pas à la mort quand elle est un dommage collatéral de la méthode de capture. Notre étude se concentrera sur les techniques dont la volonté est de causer la mort une fois le poisson capturé ou élevé, nous y incluons l'asphyxie qui est entre les deux. Des méthodes de mise à mort comme la pêche à la dynamite, qui provoque la mort par choc hydraulique^[30], ne seront donc pas étudiées. Nous confondrons régulièrement « mise à mort » avec « abattage » défini comme la mise à mort d'animaux (destinés à la consommation humaine) car ici ils peuvent être synonymes.

Parler d'abattage c'est aussi nécessairement parler de certaines actions associées : les « opérations annexes ». Ce vocable regroupe « [la] manipulation, l'hébergement, l'immobilisation, l'étourdissement et la saignée des animaux, effectués dans le contexte et sur le lieu de la mise à mort ». Notre étude ne se portera pas en détail sur l'hébergement ou certains systèmes de manipulation lors d'opérations de tri des poissons. Pour éviter de nous éloigner du cœur de notre sujet, ces questions ne seront qu'effleurées. Pour autant, il faut souligner que la question du bien-être doit être évaluée avec une vision d'ensemble, du début de la pêche ou de l'élevage jusqu'à la mort. Toute évaluation du bien-être des poissons ne saurait se limiter aux aspects sur lesquels nous avons choisi de nous focaliser en parlant d'abattage, lui-même restreint à la mise à mort, la saignée et la contention des animaux.

Aborder la question de l'abattage conduit à distinguer les méthodes qui tuent de celles qui causent simplement une perte de conscience. L'inconscience est définie par l'Anses dans son Avis relatif au Bien-être animal^[22] comme : « l'incapacité d'un animal à ressentir de la douleur et des émotions négatives ». L'étourdissement permet d'engendrer l'inconscience éventuellement assortie de la mort immédiate. Il est ainsi défini par l'UE comme « tout procédé appliqué intentionnellement qui provoque une perte de conscience et de sensibilité sans douleur, y compris tout procédé entraînant une mort immédiate »^[29].

4) L'abattage et le bien-être des poissons

De la même façon que les facteurs de stress diffèrent d'une vie de poisson d'élevage à celle d'un poisson sauvage, la question de l'abattage n'est pas gérée de la même façon non plus. Pour la pêche la méthode d'abattage va être intimement liée à l'engin de pêche utilisé, aux volumes de poisson et à la cadence que cet engin impose aux pêcheurs^[14,31]. Les méthodes en usage dans l'aquaculture européenne (marine ou continentale) sont notamment : la commotion cérébrale (ou percussion), la narcose au CO₂ et l'électronarcose. L'exsanguination et la décapitation sans étourdissement préalable sont toujours pratiqués (cf. p. 69).

En matière de bien-être des poissons, Metcalfe envisage 3 lectures. Premièrement, il y aurait le bien-être à l'échelle individuelle, qui dans le cas du poisson réside dans le **ressenti de la douleur, la souffrance ou le stress**. Deuxièmement, il y aurait le bien-être à l'échelle de la population en considérant sa durabilité, son intégrité et son bon fonctionnement global et enfin le bien-être qui pourrait s'apprécier à l'échelle de la biodiversité et de la population parmi les autres populations^[9].

En réalité, cette vision est une vision très « large » du bien-être. Or, quand nous parlons de bien-être animal, il faut le traiter à l'échelle individuelle. C'est donc davantage cette première échelle que nous allons utiliser ici. La frustration et le plaisir n'ont pas cours dans cette définition de Metcalfe. Nous sommes conscients qu'alors la définition de bien-être de l'animal comme défini plus tôt par l'Avis de l'Anses^[22] est alors largement amputée. Cependant, l'abattage est par essence une action violente, qui répond à une nécessité humaine, sans aucun rapport avec la satisfaction des besoins de l'animal et la poursuite d'une satisfaction consciente qu'il aurait de son état. Il ne s'agit plus des 5 libertés mais simplement de limiter à la portion la plus stricte possible les atteintes au bien-être que sont le ressenti du **stress**, de la **douleur**, de la **peur** et de la **souffrance** qu'ils peuvent engendrer.

Nous résumons le stress à l'état de l'organisme soumis à une action brusque de son environnement, menaçant, ou perçue comme menaçant son fonctionnement normal voire sa survie et qui l'oblige à réagir^[32,33]. Contrairement à l'angoisse, il ne nécessite pas d'émotion. Il n'exclut pas une composante émotionnelle, mais au sens le plus strict un organisme non doué de conscience peut ressentir un stress, un **stress physiologique** par exemple. C'est souvent celui-ci qui était étudié dans les premières recherches scientifiques sur le bien-être dans les années 1980^[22].

La douleur, la souffrance ou la détresse font intervenir la sensibilité et la capacité du poisson à ressentir les émotions^[22]. Ici l'**émotion**, « réaction fugace ou éphémère face à un événement particulier »^[24], sera **forcément négative**. Ce qui va changer c'est l'**intensité** de la réaction du « système ». Le respect du bien-être à l'abattage consiste sûrement en ceci : **Rendre la plus faible possible l'émotion négative engendrée par la technique de mise à mort employée**. Avec cette définition la conscience du poisson n'est pas mise de côté, simplement comme il s'agit d'abattage le champ des possibles est restreint.

5) La souffrance chez les poissons ?

a) Définition des souffrances : douleur, peur ou détresse.

La douleur, la peur ou la détresse sont toutes des souffrances^[22]. En effet, la souffrance c'est le fait d'éprouver une douleur physique ou morale d'après le dictionnaire en ligne Trésor de la langue française informatisé (TLFi)^[34] édité par le CNRS. La douleur est définie par l'Association internationale pour l'étude de la douleur (IASP⁷) comme « une expérience **sensorielle et émotionnelle** désagréable associée, ou ressemblant, à celle liée à une **lésion tissulaire réelle ou potentielle** »^[35]. La peur, elle, est définie dans le TLFi comme un « état affectif plus ou moins

7 IASP : sigle issu de l'anglais International Association for the Study of Pain.

durable, pouvant débiter par un choc [émotionnel] qui accompagne la prise de conscience ou la représentation d'une menace ou d'un danger réel ou imaginaire ». Nous définirons la détresse comme l'état mental liée à un stress majeur qui compromet le fonctionnement de l'organisme^[33,34].

Nous constatons que pour parler de bien être à l'abattage il est indispensable de parler de **souffrances**. Or, sans **émotions** et sans **conscience**, ces notions n'ont pas d'existence. Nous nous sommes donc demandés si nous pouvions bien attribuer cette capacité émotionnelle aux poissons.

b) Les systèmes du stress et la douleur chez les poissons

En premier lieu c'est le ressenti de la douleur comme intégration corticale de messages nociceptifs donnant lieu à une réaction de soustraction qui fait peu de doute. Elle n'est peut être pas associée à un très haut niveau de conscience mais semble suffisamment manifeste pour que nous nous en préoccupions. Des études sont parvenues à identifier 2 types de nocicepteurs (fibres A-delta et C) grâce à l'étude électrophysiologique et anatomique du nerf trijumeau (qui sert au transit des stimuli de la douleur sur la face chez les vertébrés terrestres) chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). De plus, les messagers de modulation de la nociception sont les mêmes que chez les mammifères (Substance P, encéphalines et endorphines)^[36,37].

Comme chez les autres mammifères, le cortisol joue un rôle de premier plan dans la réponse au stress aigu. Elle est médiée par l'axe Hypotalamo-pituitaire-interrénal (HPI) des poissons. Celui-ci semble identique à celui des mammifères (au détail près que le tissu interrénal remplace la cortico-surrénale des mammifères). Lors d'une stimulation stressante, le tissu chromaffine stimulé par des neurones libère des catécholamines (adrénaline et noradrénaline). En parallèle, de la corticotropin releasing hormone est libérée et provoque la libération d'hormone adrénocorticotrope (ACTH⁸) qui induit la libération de cortisol. La réponse au stress implique une élévation de la cortisolémie qui revient à ses valeurs d'avant le stress en l'espace de quelques heures. Huntingford et al. (2006) et Øverli et al. (2005) nous apprennent aussi que, chez les poissons comme chez les autres vertébrés, les réponses physiologiques et comportementales au stress sont le fait de mécanismes de contrôle cérébraux par des neurotransmetteurs, la sérotonine, la dopamine et la noradrénaline^[28,38]. Pour le stress chronique, il y a une prolongation de la mise en jeu de ces mécanismes. Cette prolongation s'accompagne non pas d'une réponse adaptative⁹ (souvent bénéfique) à l'élément qui stimule le système, mais d'effets secondaires négatifs comme la perte d'appétit. La prise énergétique est diminuée et la consommation d'énergie est, quant à elle, largement accrue. Nous devons tout de même rappeler que le stress n'est cependant pas forcément synonyme de mal-être (surtout lorsqu'il est de courte durée)^[28,38].

Malgré tout, il existe un désaccord sur la capacité des poissons à ressentir la douleur et la souffrance, ceci du fait d'un questionnement quant à leur « niveau » de « conscience ». Néanmoins, Arlinghaus et Huntingford sont d'accord pour dire que des recherches supplémentaires sont bienvenues^[25,28]. En tout état de cause, ces derniers^[25,27] s'accordent à dire que la lutte et la sortie de l'eau peuvent créer et parfois créent un stress physiologique et un épuisement physique. De même, ils avancent que la manipulation des poissons peut créer et parfois crée des dommages, un stress physiologique et une altération des fonctions. La rétention dans des filets/viviers peut causer et parfois cause du stress. Enfin les poissons peuvent être et parfois sont désorientés après leur libération suite à de la pêche récréative^[25,28].

8 De l'anglais Adrenocorticotropic hormon.

9 Réponse adaptative : c'est la réponse comportementale ou physiologique qui permet à un organisme de s'adapter, de gérer la situation de stress qui lui est imposée d'après Koolhaas et al. (1999)^[39].

c) *La conscience et la douleur chez le poisson ?*

La perception de telles émotions (douleur, peur, détresse) nécessite un niveau minimum de conscience de la part des poissons. Cette dernière est nécessaire pour éprouver des souffrances comme la douleur et *a fortiori* la détresse ou la peur.

En l'état actuel de la recherche nous savons que les poissons n'ont pas certains éléments corticaux (comme le néocortex) que nous retrouvons chez les humains^[28,40]. Or, l'étude des « corrélats neuronaux »¹⁰ nous apprend que les mammifères utilisent ces parties corticales de leur télencéphale pour faire fonctionner leur conscience^[40] et nous savons que le néocortex est pour partie responsable des expériences négatives et de la souffrance chez l'homme. De plus, les poissons n'ont pas une partie du télencéphale et du prosencéphale (ou cerveau antérieur)^[28]. Mais Neindre et al. (2017)^[40] nous invitent à la prudence quant à la tentation d'exclure la capacité de conscience du champ des possibles pour les poissons sur cette base. Certes, le cerveau du poisson ne ressemble pas beaucoup au cerveau de l'homme et il est difficile de concevoir que ses émotions face à la douleur et la souffrance soient similaires aux nôtres^[41] mais il existe tout de même un degré d'homologie anatomique cérébrale important avec le cerveau d'autres mammifères reconnus comme pouvant, eux aussi, expérimenter la douleur alors qu'ils sont différents de l'homme^[28]. En outre, nous savons qu'une homologie structurale ne signifie pas forcément une homologie fonctionnelle et réciproquement^[28]. Dans son expertise scientifique sur la conscience animale, Neindre va plus loin estimant qu'il existe dans le système neuronal des poissons des structures présentant une forte probabilité d'homologie fonctionnelle avec la partie corticale du télencéphale des mammifères. Il s'agit du *pallium* télencéphalique et du *tectum* mésencéphalique que certains soupçonnent d'autoriser des « expériences conscientes ». L'innervation dopaminergique du télencéphale a été associée à l'expression d'une forme d'état de motivation et certains comportements que nous retrouvons chez les mammifères^[42].

Selon Huntingford la réponse des rats (*Rattus norvegicus*) et des poissons rouges à l'utilisation d'analgésiques est la même^[28]. D'autres auteurs ont pu conclure par exemple que des truites exposées à des stimulations négatives avec de l'acide acétique ou du venin d'abeilles montrent des signes d'inconfort et des manifestations très semblables à celles que nous retrouvons chez les mammifères expérimentant la douleur et la souffrance. Elles se reposent au fond, elle se balancent d'un côté et de l'autre. Les sujets expérimentant ces stimulations négatives arrêtent de manger. Les truites dont le museau a été agressé avec de l'acide se frottent la bouche contre les parois. De plus, ces réactions ont pu être atténuées par l'administration de morphine^[43]. Avec ces éléments nous comprenons pourquoi les spécialistes à l'origine du rapport sur la conscience animale de 2017^[40] attribuent à **tous les vertébrés, poissons compris**, la possession de tous les **systèmes nerveux** en mesure d'engendrer des **processus conscients** nécessaires à la manipulation des informations complexes et spécifiquement à **l'intégration des stimuli nociceptifs** permettant de ressentir des émotions négatives. Les poissons adultes sont capables d'éprouver des états négatifs que nous humains associons à la douleur et à la souffrance. La souffrance nécessite d'avoir une conscience de soi dont, selon certains, rien ne prouve que le poisson soit doté au sens où nous l'entendons pour l'homme.

Mais ces perceptions faisant appel à un niveau de conscience que nous pourrions percevoir comme rudimentaire sont associées à des manifestations encore plus convaincantes quant à la capacité émotionnelle des poissons. Les poissons peuvent éprouver des états de stress semblables à la peur de sorte qu'ils éviteront à l'avenir certaines situations qui leur ont fait expérimenter quelque désagrément^[28]. Ainsi les salmonidés développent des réponses comportementales et physiologiques d'adaptation au stress très semblables à celles des mammifères^[39,44,45]. Selon Øverli

10 C'est la recherche d'une association entre conscience et structure ou zone dans le schéma neuronal d'une espèce.

et al. (2005) la réaction physiologique au stress est déterminante du comportement. Les différences individuelles dans la réponse physiologique au stress sont associées à ce dernier^[38]. Le poisson expérimente les sensations et probablement la peur que nous associons à la douleur. Pour Huntingford et al. (2006) nous pouvons parler de souffrance. Ces observations répondent pleinement à la définition des émotions selon le rapport de 2017 : « [elles sont] des modulateurs des capacités cognitives impliquant des changements attentionnels, d'apprentissage, du jugement, ou de la mémoire »^[40]. Dans la même veine, un article du journal *Scientific Reports* avance que la daurade royale (*Sparus aurata*) montre des états semblables à ceux induits par le ressenti des émotions face à certains stimuli^[46]. Des variations génétiques ont été constatées et sont déterminées par des différences génétiques dans le codage génétique qui régit le fonctionnement des neurotransmetteurs qui médient l'activation de l'axe HPI au niveau du cerveau. Les récepteurs à la sérotonine (5-HT) peuvent être influencés par le taux de cortisol circulant. Ils modifient alors la neurotransmission chez le poisson lors d'un stress. Les propriétés génétiques de la réception de la sérotonine (5-HT) sont associées à l'activité de l'axe HPI, de la personnalité et des **altérations de l'humeur** chez d'autres animaux dont l'être humain ^[38]. Nous avons ici un argument de plus pour dire que les poissons possèdent des systèmes complexes d'intégration des stress physiologiques qui, chez l'homme, permettent la construction d'états émotionnels en réaction.

De surcroît, à plusieurs occasions des preuves des capacités intellectuelles des poissons ont été fournies. Le poisson labre (*Labroides dimidiatus*) a réussi le test du miroir attestant potentiellement de sa conscience de lui. Mais cette lecture nuancée et interrogée par son auteur est encore contestée par certains relecteurs et nécessite sûrement de plus amples recherches. Nous devons notamment relever l'écart taxonomique majeur entre les primates pour lesquels ce test a été conçu et les poissons sur lesquels nous voudrions tirer des conclusions similaires^[47]. Nous savons pour autant que les capacités intellectuelles des poissons leur permettent de concevoir des cartes mentales de leur environnement, d'intégrer des informations dans des aires cérébrales distinctes suite à un stimulus négatif. Selon Huntingford nous pouvons en déduire que les poissons ne se contentent pas d'un apprentissage associatif simple qui leur permettraient d'éviter les stimuli négatifs, mais qu'ils mettent en jeu des mécanismes complexes proches de ceux qui permettent la **souffrance consciente** chez l'homme^[28]. Pour Neindre et al. ^[40] la capacité des poissons à avoir des émotions fait peu de doute dans la mesure où il est prouvé qu'ils « sont capables des mêmes processus d'évaluation que ceux qui déclenchent les émotions conscientes chez les humains ». Aussi l'expérience de la souffrance est une possibilité très vraisemblable chez les espèces de poissons ayant montré connaître des processus comportementaux et cognitifs poussés^[28]. Il apparaît donc selon Huntingford et al. (2006) ^[28] et les études qu'ils convoquent, que les poissons ont les structures sensibles qui permettent de percevoir les stimuli négatifs. Il semble que leur système nerveux central permette de connaître au moins une partie des états mentaux associés à la douleur chez les mammifères.

Dans la mesure où d'une part, les poissons possèdent les structures anatomiques (nocicepteurs, nerfs, structure d'intégration cérébrale) qui permettent le perçu des signaux générant la douleur et son intégration, et où d'autre part, tous les actes potentiellement douloureux qui leur sont imposés provoquent des réponses comportementales et changements physiologiques qui sont estompés voire évités par l'administration d'antidouleurs, il semble indéniable que les poissons ressentent la douleur^[48].

Nous avons constaté qu'il existe encore un débat quant à la capacité des poissons à ressentir les émotions pour certains auteurs. Même s'il faut rester prudent et convenir que la « preuve que des réponses émotionnelles se produisent chez les animaux n'implique pas qu'elles soient systématiquement associées à la conscience »^[40], cette notion fait de moins en moins débat et

semble si vraisemblable qu'il est impératif de la prendre en compte^[28]. Le rapport du comité d'experts de l'EFSA¹¹ intitulé *Avis du groupe scientifique sur la santé et le bien-être animal sur une demande de la Commission européenne quant à la question du bien-être avec les principaux systèmes d'étourdissement et de mise à mort des principales espèces commerciales d'animaux (2004)*, conclut en disant que les « interprétations les plus récentes des résultats de nombreuses études conduisent à penser que les poissons possèdent les structures nécessaires et la capacité de connaître la peur et la douleur, c'est à dire des états de souffrance » qui nous obligent à considérer la question de leur bien-être^[42].

B- Le bien-être des poissons : une préoccupation croissante de la société ?

1) Une société de plus en plus attentive au bien-être animal en général.

Le sujet du bien-être animal, souvent cristallisé autour des animaux de ferme, prend une importance grandissante, à mesure que les gouvernements tentent de mieux encadrer l'élevage industriel^[49].

a) Une préoccupation pour la société

En effet, selon le site institutionnel *Vie publique*¹², l'opinion publique est de plus en plus attentive à la question du bien-être animal. Il souligne que l'attention générale a notamment été catalysée par des scandales autour de la **maltraitance en abattoir**, dans certains élevages industriels ou encore lors du transport des animaux. Ceux-ci, entre-autres révélés dans des vidéos chocs par l'association L214 en 2016, ont accru la pression sur les politiques publiques et la création d'une commission d'enquête sur les **conditions d'abattage dans les abattoirs français** a été entérinée par l'Assemblée nationale.

Le sujet du **bien-être en abattoir** est revenu en force dans le débat avec l'instauration d'essais volontaires de vidéo-surveillance en abattoir dans la **loi dite « EGalim »** du 30 octobre 2018. Il faut aussi noter que le mouvement antispéciste connaît un essor certain en France (au moins au plan médiatique) depuis 2016^[50]. Si ces militants souvent jugés extrémistes ne font pas l'unanimité, leur communication coup-de-poing et les réactions ou les peurs qu'elle suscite attisent le débat public^[51]. L'importance prise par la considération du bien-être des animaux et de leur sensibilité se reflète également dans la récente promulgation par une assemblée de juristes d'une déclaration des droits juridiques des animaux. Cette démarche, sans valeur légale, appelle solennellement à une modification du droit, pour obtenir la reconnaissance de la personnalité juridique de l'animal. Cette personnalité juridique de l'animal est aujourd'hui encore niée par la plupart des systèmes de droits de par le monde^[52].

La loi du 30 novembre 2021 sur la cession des animaux, le renforcement des sanctions sur la maltraitance animale, l'interdiction des delphinariums pour le spectacle, la détention et les spectacles d'animaux sauvages dans les cirques itinérants est une des dernières émanations législatives de cette préoccupation croissante pour le respect des animaux.

Comme le souligne *Vie publique*, sur le thème du bien-être animal, la société est marquée par une préoccupation croissante qui se manifeste aussi dans la façon dont nous rendons la justice. Ainsi, en France, entre 2016 et 2018 les mises en cause pour « maltraitance ou abandon d'un animal domestique » ont augmenté de 29 %. Sur la période 2007-2017 la Justice française a

11 EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments, de l'anglais European food safety authority <https://www.efsa.europa.eu/en>.

12 Vie publique (www.vie-publique.fr) est un site internet du gouvernement français consacré aux politiques publiques. Lancé en 2002 son ambition est d'informer gratuitement l'utilisateur et de « [lui donner] les clés pour comprendre les politiques publiques et les grands débats qui animent la société ». Sa gestion est du ressort de la Direction de l'information légale et administrative (DILA).

prononcé 57 % de condamnations en plus pour actes de cruauté envers un animal domestique (pour un total de 858 condamnations). Nous notons tout de même le faible nombre de ces condamnations dans l'absolu (86 par an environ)^[50].

Nous constatons que le bien-être animal est devenu un sujet de préoccupation majeur pour notre société qui se cristallise souvent autour des pratiques de **mise à mort**. Les politiques publiques en la matière en sont une des émanations, mais les politiciens ne sont pas les seuls à se saisir de ces questions. Nous allons voir que la communauté scientifique a aussi fait sienne ces sujets.

b) Un sujet d'intérêt pour les scientifiques

Cela fait seulement une trentaine d'années que le bien-être des animaux de ferme fait l'objet de discussions et d'actions. C'est dans cet esprit que les scientifiques et les professionnels de l'animal ont développé des indicateurs et des grands principes d'évaluation du bien-être. Les « 5 libertés » de Brambell (1965) et les 12 critères du bien-être animal du projet de l'Union européenne « Welfare Quality® » en sont deux illustrations^[53]. L'étude de Botreau et al. (2017)^[54] proposent et organisent les critères d'évaluation du bien-être pour le projet WelfareQuality® de l'Union européenne en rappelant ses 12 critères regroupés en 4 catégories (alimentation, logement, santé, état émotionnel optimisé). Dans ce projet l'évaluation du bien-être repose sur l'interdisciplinarité entre scientifiques biologistes, vétérinaires, etc. (compétents sur l'animal), et chercheurs en sciences sociales (compétents sur le ressenti individuel et sociétal de l'homme) ainsi que sur l'échange avec le public au sens large^[55]. C'est la preuve d'une prise de conscience des scientifiques : le bien-être, de par sa dimension éthique, est aussi une affaire de société. Il n'est pas qu'un sujet d'étude, c'est un véritable objet politique et social.

c) Un regard différent sur le bien-être

Forts d'une analyse riche avec des points de vue variés Miele et al. (2011) pointent du doigt la différence qui existe entre la perception du bien-être par les scientifiques et par la population générale. Pour le public, le bien-être c'est que l'animal puisse vivre des expériences positives. Pour le scientifique, c'est avant tout l'absence de nuisance. La manière de l'évaluer distingue aussi les deux catégories. L'évaluation scientifique du bien-être c'est une évaluation sur le résultat, ce que nous observons chez les animaux. « Le système peut-il importer sa nature procure-t-il du bien-être à l'animal ? ». Pour le public, le bien-être est normatif avec un à priori sur le « bon système »^[55]. C'est probablement la marque d'une tendance naturelle à l'anthropomorphisme de celles et ceux qui ne sont pas sensibilisés à une approche rationnelle de ces questions (par exemple : « un animal est forcément mieux à l'intérieur au chaud que dehors »).

Nous pourrions multiplier presque à l'infini les exemples pour attester de l'accroissement de cette préoccupation dans l'esprit collectif et de la façon dont elle renforce la préoccupation scientifique en la matière. Nous devons néanmoins souligner qu'il n'est pas manifeste que les poissons soient au cœur du débat sur la question. À quel point la question du bien-être des poissons est-elle posée aujourd'hui ?

2) Le sort des poissons : un cas particulier ?

Depuis les années 1970 les productions animales, la chasse commerciale des mammifères marins ou encore la chasse récréative ont fait l'objet de débats éthiques quant à l'usage des animaux^[53]. Même les usages les plus étonnants des êtres sensibles questionnent aujourd'hui et pas seulement ceux liés à leur consommation. Ainsi l'utilisation des poissons (*Garra rufa*) dans les spas au Royaume-Uni depuis 2010 suscite les interrogations des associations d'aquariophiles, des associations de protection des animaux. Les scientifiques s'en préoccupent aussi et se saisissent de

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

cette question^[56]. Pour autant, il serait exagéré de dire qu'elle cristallise autant les passions. Pourquoi le sort des poissons peinerait-il à émouvoir les masses ?

a) *Le sort des poissons ne préoccupe pas autant que celui des autres espèces.*

Selon Sandøe et al. (2009)^[53] le bien-être des poissons préoccupe moins que celui des autres espèces d'animaux que nous utilisons pour nous nourrir, vivre, travailler ou notre agrément. Cela est dû à la plus faible considération que nous avons pour eux. Mais d'où cela vient-il que les poissons nous émeuvent si peu ?

Pour Arluke et Sanders, les sociétés occidentales pensent leur rapport aux autres être vivants en fonction de **l'échelle socio-zoologique** qui prévaut dans leur culture. L'échelle socio-zoologique est le système arbitraire de classification des animaux en fonction de leur rôle dans nos vies. Cette échelle qui évolue au cours de la vie est conditionnée par notre vécu en tant qu'individu, notre culture, nos normes sociales^[57].

Dans une perspective **occidentale anthropocentrée** de classement des êtres vivants par rapport à un optimum humain tirant son droit d'aliéner les autres formes de vie de sa prétendue supériorité, Arluke et Sanders décrivent les fondements de l'échelle socio-zoologique qui prévaut dans nos sociétés comme suit : d'un côté, il y aurait les « Good animals » (bons animaux) et de l'autre les « Bad animals » (mauvais animaux). Ces deux catégories qui répondent à l'organisation **dualiste** de nos modes de pensée sont respectivement scindées en animaux domestiques « Pets » et animaux utiles « Tools » et en « Freaks » (bêtes curieuses ou erreurs de la nature), « Vermins » (nuisibles) et « Demons » (démons). Un même animal peut avoir différentes places dans l'échelle socio-zoologique des personnes selon ses caractéristiques individuelles, son usage envisagé et le regard de celui ou celle qui sera amené à le considérer/interagir avec lui/l'utiliser. Pour les poissons, il nous a semblé que leur place était peu élevée dans cette échelle et oscille probablement aujourd'hui entre ces deux catégories du tableau I d'après les définitions d'Arluke et Sanders en 1996^[58].

Tableau I : Quelle place pour le poisson dans l'échelle socio-zoologique d'Arluke et Sanders (1996)^[58] ?

	Bêtes curieuses « Freaks » (« Bad animals »)	Outils « Tools » (« Good animals »)
Caractéristiques des poissons	- Place pas claire dans l'ordre social - Animaux bizarres ce qui cause de la répulsion	- Animaux profitables aux hommes (ici en fournissant des denrées nécessaires aux sociétés humaines). Il faut évacuer tout anthropomorphisme à leur endroit, leur attribuer peu de pensées et exclure une propension à expérimenter la douleur comme nous. - Nous parlons « du poisson » et nous percevons les poissons comme un tout, un grand banc impersonnel qui tourne en rond sans but. Pas d'identité individuelle. - Intérêt pour leur expérience subjective est dépassé par leur utilité

NB : Si le poisson rouge peut être perçu comme un animal de compagnie par certains il ne répond que très mal aux caractéristiques qu'Arluke attribue à ce groupe (absence d'exercice clair de domination possible sur un poisson dans l'imaginaire collectif, pas d'affection manifestée par le poisson pour son détenteur, impossible d'avoir l'impression d'intégrer l'animal dans le monde civilisé etc.).

Chaque **société possède une échelle socio-zoologique qui peut différer** selon ses **mythes et croyances** communes, **l'histoire** de ses interactions avec une espèce donnée etc... Casanova et Costa (2020) parlent de « **contexte culturel** ». La faible considération de l'homme pour les poissons s'avère au moins véridique en occident et nous ne saurions étendre les conclusions des études américaines ou européennes sur le sujet à n'importe quelle région du monde sans prendre un risque^[59].

Il semble, quels que soient les progrès dans les esprits à l'égard du bien être des poissons, que nous pouvons nous accorder à dire comme l'envisagent Sandøe et al. (2009), que pour l'instant le débat sur le bien-être des poissons est moins sensible que celui sur les autres espèces d'animaux que nous utilisons pour nous nourrir, vivre, travailler ou notre agrément. Et effectivement il y a fort à parier qu'ils doivent cette malchance à leur place peu enviable sur l'échelle socio-zoologique des personnes^[53].

3) Une question qui émerge peu à peu malgré tout

Nous avons montré que le rôle des associations de protection animale dans le débat public autour du bien-être des animaux était crucial, en particulier pour la dénonciation des conditions d'abattage. Ces associations se saisissent aussi de la question du bien-être des poissons.

a) *Les associations de protection animale*

Les associations de protection animale des plus radicales et abolitionnistes aux plus réformistes se saisissent de cette question dans différents rapports et avis sur la question.

L'association abolitionniste L214 a publié en 2018 un rapport sur l'élevage des truites^[60] dans lequel elle dénonce les conditions d'élevage et aussi d'abattage des truites arc-en-ciel élevées en France et en Europe. L'association déplore l'absence de réglementation spécifique aux poissons d'élevage. Elle reconnaît l'existence de principes légaux qui leur seraient en théorie applicables mais déplore leur caractère flou et la difficulté à en faire des arguments juridiquement opposables. L'association demande la mise en place d'une mission d'information Parlementaire sur les conditions d'élevage et d'abattage dans la filière piscicole. Au chapitre de l'abattage l'association s'insurge contre le jeûne d'au moins 48h imposé aux truites avant l'abattage et de la technique d'abattage avec le CO₂¹³. L'association CIWF¹⁴ (Compassion in World Farming) a aussi publié un rapport complet dans lequel elle donne des préconisations sur l'abattage des truites d'élevage^[61]. L'organisation non gouvernementale (ONG) recommande d'utiliser des méthodes d'étourdissement provoquant une perte de conscience instantanée et assurant l'absence de reprise de conscience jusqu'à la mort de l'animal pour n'importe quel animal. Pour les truites, le CIWF prescrit un recours à une méthode unique qui entraîne la perte de conscience et la mort. Il propose la percussion ou l'électronarcose. Il liste un ensemble de méthodes pouvant prendre place après étourdissement selon les rédacteurs du rapport : la décapitation, la décérébration et la section des branchies. Le guide de l'ONG milite contre l'usage de méthode au dioxyde de carbone, l'immersion sans étourdissement dans le coulis de glace, l'asphyxie à l'air libre ou encore la décapitation sans étourdissement préalable. Il indique que la décapitation n'est pas acceptable sans étourdissement préalable puisqu'elle ne produit pas une perte de conscience ou une mort instantanée. Nous verrons que cette affirmation est démontrée chez l'anguille^[30]. Selon l'ONG dans son avis sur l'abattage des animaux publié en 2004 l'EFSA^[42] « recommande d'éviter la

13 NB : Pour le CO₂ nous pensons entrevoir une incompréhension dans ce rapport. Dans la réalité il ne s'agit pas d'un gazage dans l'air mais bien d'une saturation de l'eau en CO₂.

14 Association créée en 1967 en Angleterre, c'est une association de protection animale réformatrice qui milite contre l'élevage intensif et pour une agriculture durable www.ciwf.fr.

décérébration [la première étape de l'**Ikejime**] car la technique serait lente à réaliser ». Les pistolets à air comprimé utilisés pour faire pénétrer la pointe seraient acceptables et plus efficaces.

Comme L214, le CIWF fustige le principe de la privation de nourriture car selon l'association l'amélioration de la qualité de la viande ne justifie pas (au plan moral) une privation de nourriture. Pour autant les auteurs du guide reconnaissent qu'il y a un manque d'étude pour savoir si cette privation est génératrice de stress. Finalement le guide recommande une période de 72h de jeûne maximum. Le rapport du CIWF indique que selon l'ONG les États de l'UE sont **en situation d'infraction** sur la mise en œuvre des recommandations pour le respect du **bien-être des poissons lors des opérations d'abattage**.

L'association propose un corpus de recommandations « pour une politique d'entreprise sur l'abattage sans cruauté de la truite arc-en-ciel ». Dans celui-ci elle suggère l'application des principes déjà en vigueur en abattoir de bétail sur la nécessité de l'étourdissement, de la formation du personnel etc.. Le CIWF demande aussi l'installation de caméras de vidéosurveillance dans toutes les zones où les poissons sont manipulés de leur vivant faisant écho au débat qui fait rage en matière d'abattage des animaux domestiques terrestres^[50,51]. Le guide propose un ensemble d'indicateurs de bien-être animal à évaluer, tels les signes de conscience, la présence de chocs électriques avant étourdissement, la qualité de la chair *post mortem*, la présence d'hémorragies dans la chair, la perte d'écaillés ou encore les lésions des yeux et du museau.

L'association britannique Humane slaughter association préconise un retrait de la nourriture de 72h (suffisant pour vider le tube digestif et minimiser l'atteinte au bien-être). La sortie de l'eau pour abattage/inconscience ne devrait, selon eux, pas durer plus de 15 secondes, ce qui implique une excellente organisation. Ils reconnaissent comme méthodes acceptables l'électronarcose suivie de la commotion et de la saignée par l'ouïe. Sont inacceptables, selon eux, l'abattage dans une boue de glace, le refroidissement vif (2-6 °C), la saignée par l'ouïe sans étourdissement préalable et la narcose dans l'eau saturée au CO₂. Nous constatons que, même pour les méthodes jugées inacceptables, l'association fournit des recommandations pour limiter leurs effets négatifs^[62]. De son côté la RSPCA (Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals) ne recommande qu'une seule méthode pour obtenir l'inconscience des truites et des saumons : l'électronarcose^[63,64].

Les deux associations réformatrices (La Humane Slaughter Association et le CIWF) soulignent à plusieurs reprises les impacts négatifs sur la qualité des produits induits par les atteintes au respect de l'animal lors de la mise à mort pour souligner l'intérêt économique qu'il y a à améliorer les conditions d'abattage^[61,62]. Ce point est crucial car il est en plus communément admis par le consommateur qu'un produit piscicole avec un standard de bien-être élevé garantit des produits de meilleure qualité : plus goûteux, plus frais et plus sûrs^[65].

b) Une préoccupation réelle pour les citoyens

i. Les premières pistes d'une étude néo-zélandaise

En 2013 Muir et al. ont réalisé une étude^[66] par questionnaire sur 700 personnes de la population générale néo-zélandaise quant à la pratique de la pêche sportive à l'hameçon (avec relâché à l'issue) et à la perception de son impact en termes de souffrance pour le poisson et de bien-être. Cette étude a été réalisée en Nouvelle-Zélande il y a bientôt 10 ans.

Les répondants (62,4 % des interrogés ont répondu) croient majoritairement que **les poissons ressentent la douleur**. Nous notons cependant que les répondants les plus âgés, sans nier cette sensibilité, l'évaluent moins élevée que les jeunes. C'est la preuve d'une évolution sociétale de la perception du poisson. Les **nouvelles générations attribuent plus volontiers la capacité à ressentir de la douleur, de la peur, des émotions aux poissons**.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Les personnes de sexe féminin sont plus enclines à éprouver de l'inquiétude à l'endroit de la souffrance des poissons ainsi pêchés. Si une majorité des répondants pensent que la pratique reste acceptable, ils sont une **proportion encore plus conséquente à en appeler à davantage de consignes et de régulation** sur le sujet pour **améliorer le bien-être des poissons**. Cette étude contribue à étayer le fait que la préoccupation pour le bien-être du poisson et la croyance en sa capacité à ressentir la douleur sont deux réalités et qu'elles progressent dans la société^[66].

ii. Apports complémentaires d'un sondage européen

Par ailleurs, en 2018 le CIWF et Eurogroup for Animals ont commandé à l'institut de sondage Savanta ComRes un sondage sur la préoccupation des européens à l'endroit du bien-être des animaux. Il a été conduit auprès de 9047 européens, de plus de 18 ans, résidents dans neufs pays (Royaume Uni, Allemagne, France, Italie, Espagne, Pologne, Suède, Pays-bas et République Tchèque).

Nous en avons retenu quelques éléments : Le premier constat est qu'une large majorité des répondants estime que : « **Le bien-être des poissons devrait être protégé de manière équivalente à celui des autres animaux que nous mangeons** ». (UE : 79 % France (FR) : 76 %, les deux autres options étant « moins » ou « davantage »).

Avec 12 % des opinions exprimées **l'abattage sans étourdissement préalable** n'est que la **deuxième cause envisagée** par les répondants (après une eau polluée) quand nous demandons quel est le facteur le plus péjoratif du bien-être des poissons (parmi : la surdensité, l'empêchement d'exprimer le comportement naturel, les périodes de privation de nourriture, la sortie temporaire de l'eau ou un environnement pauvre). En France le constat est le même avec 16 %. Ainsi, 42 % des personnes estiment que **l'abattage sans étourdissement préalable** n'est **pas un des 3 premiers critères** de bien-être parmi la liste.

S'il semble que le sort des poissons soit une préoccupation pour les Français et plus largement les Européens qu'en est-il de l'influence que cela peut avoir sur leur façon de consommer ? Le prix et la localisation géographique importent pour plus de consommateurs que le bien-être du poisson. Seulement 27 % des Européens ou des Français testés déclarent que le bien-être du poisson a un impact important dans le choix du poisson qu'ils vont acheter (à titre indicatif en France le **prix** est important pour 41 % des répondants, la **localisation géographique** pour 37 %).

Une des questions du sondage est : pour un produit contenant 2 portions de filets de poissons à 5,61€ combien seriez-vous prêt à payer de plus (même argent disponible qu'à l'habitude) pour un produit équivalent garantissant un plus haut niveau de bien-être pour le poisson ?

Les Européens répondant au moins +20 % sont 33 % (42 % veulent payer moins de 10 % de plus). Les Français prêts à consentir à au moins 20 % d'augmentation comptent pour 35 % des répondants. Mais 49 % veulent payer moins de 10 % de plus.

Aussi il apparaît que le bien-être, la maltraitance ou les actes de cruauté sur les poissons sont moins évoqués. Mais pour autant, ces sujets ne **laissent pas indifférent les milieux associatifs de la protection animale** et les **citoyens y sont sensibles**. Il faudra sûrement encore du temps pour que cela se traduise massivement en un engagement concret avec une réorientation des achats indissociable de l'acceptation du « prix du bien-être », du consentement à payer.

C- La législation sur le bien-être des poissons est-elle à la hauteur ?

En 2013 Levenda constate le peu de contraintes au niveau mondial quant à l'abattage de poissons d'une manière respectueuse de la qualité d'êtres sensibles qu'elle leur reconnaît. Elle recommande de s'inspirer des textes de recommandation de l'OIE pour créer une réglementation pour le respect du bien-être des poissons^[67].

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

1) Le code pour les animaux aquatiques de l'OIE, un texte de référence non contraignant.

Les textes de l'OIE dans le code pour les animaux aquatiques font référence en Europe et pour certains scientifiques^[67,68]. L'UE(Union européenne) souligne s'y référer puisque les États membres de l'UE font partie de l'OIE.

Ce code décline des recommandations portant sur 5 champs : le personnel, le transport, la conception des infrastructures de détention, de déchargement, de transfert et de chargement, et enfin les **méthodes d'étourdissement et de mise à mort**. Nous allons nous concentrer sur ce dernier champ. Ce texte énumère des principes généraux dont certains sont aussi valables dans la partie dédiée aux animaux de rente terrestres^[29]. Il stipule qu'il faut : 1) Une prise en compte des informations spécifiques à l'espèce qui sont disponibles est nécessaire 2) Des équipements entretenus et testés de manière régulière. 3) Une vérification de la réussite de l'étourdissement (absence de conscience) 4) Un système de secours en cas d'échec 5) Procéder à l'étourdissement seulement s'il n'y a pas de risque de report de la mise à mort (un animal étourdi ne doit pas revenir à lui) 6) Que l'évaluation de la conscience (pas évidente) repose sur plusieurs critères que nous détaillerons ultérieurement.

Tableau II : Techniques d'étourdissement et ou de mise à mort directe acceptables pour l'OIE d'après son article 7.3.7. d'après le Code de l'OIE pour la santé des animaux aquatiques (2022)^[69].

Méthode d'étourdissement/abattage	Nom précis
Mécanique	Commotion, « percussive stunning » en anglais
	Ikejime, « spiking or coring » en anglais
	Balle
Électrique	Électronarcose
	Électronarcose semi-sèche

Les méthodes en usage qui doivent être évitées si c'est possible car il a été démontré qu'elles engendrent une diminution nette du bien-être des poissons sont : 1) Refroidissement par la glace dans l'eau 2) CO₂ dans l'eau 3) Refroidissement par la glace dans l'eau avec CO₂ 4) Asphyxie dans l'air 5) Saignée sans étourdissement.

Ce texte de l'OIE existe depuis 2010 et sa plus récente mise à jour date de 2012^[69].

À l'heure actuelle, les textes de l'OIE, s'ils sont reconnus, n'ont pas été inclus dans des réglementations véritablement claires et contraignantes^[9]. En effet les textes de l'OIE n'ont pas valeur de contrainte pour les états membres de l'organisation contrairement, par exemple, aux textes du droit communautaire de l'UE ou encore aux législations nationales^[22]. Les bases que pose ce code sont néanmoins concrètes et permettent, à qui le veut, de savoir quelles sont les méthodes qui semblent acceptables et celles qui ne le sont pas.

2) La législation européenne sur le bien-être des poissons

L'UE reconnaît les textes de l'OIE sur le bien-être des poissons mais les applique-t-elle et si oui à quel point ?

En 1977 le traité d'Amsterdam reconnaît aux animaux la qualité d'êtres sensibles et les contractants déclarent leur volonté commune d'assurer une « plus grande protection et un meilleur respect du bien-être des animaux »^[70]. Il détermine l'annexion au traité de fondation de l'Union de ce qui constitue depuis 2016 l'article 13 du Traité de fonctionnement de l'Union européenne qui fait sienne la nécessité de légiférer pour accroître le respect du bien-être animal

dans les états de l'Union en ces termes : « Lorsqu'ils formulent et mettent en œuvre 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 **tiennent pleinement compte des exigences du bien-être des animaux en tant qu'êtres sensibles**, tout en respectant les dispositions législatives ou administratives et les usages des États membres en matière notamment de rites religieux, de traditions culturelles et de patrimoines régionaux. »^[71]

La réglementation de l'Union européenne sur le bien-être animal désigne explicitement les poissons dans la Directive 98/58/CE du 20 juillet 1998 relative à la protection des animaux dans les élevages (les poissons sauvages sont exclus). Il est question de poisson « élevé ou détenu pour la production d'aliments... ». Mais l'article 4 exclut les poissons de l'application des prescriptions précises développées en Annexe. Le texte se limite donc pour les poissons à l'énoncé de l'article 3 « Les États membres prennent les dispositions pour que les **propriétaires ou détenteurs** prennent toutes les mesures appropriées en vue de **garantir le bien-être de leurs animaux** et afin d'assurer que les dits animaux ne subissent aucune **douleur, souffrance ou dommage inutile** ». Il n'est pas explicitement question de l'abattage dans ce document^[72].

a) Le règlement CE n°1099/2009 : référence légale sur l'abattage du poisson applicable aujourd'hui en Europe et en France.

Aujourd'hui le **Règlement (CE) n°1099/2009 du Conseil du 24 septembre 2009 sur la protection des animaux au moment de leur mise à mort**^[29] est **la référence légale communautaire qui couvre le bien-être des poissons d'élevage et évoque leur abattage**^[68].

Il semble que le texte couvre également l'abattage des poissons pêchés détenus à terre comme l'indique la précision : « détenus pour la production de denrées alimentaires ». C'est une vraie question en tout cas pour l'Ikejime à terre. De l'application de ce règlement sont explicitement exclus les animaux mis à mort lors d'activités de pêche récréative et ceux mis à mort lors d'expériences scientifiques.

Son application aux poissons est explicitement restreinte au paragraphe 1 de l'article 3 : « Toute douleur, détresse ou souffrance évitable est épargnée aux animaux lors de la mise à mort et des opérations annexes ». Ce sont donc plusieurs précisions qui sont volontairement exclues sur : le confort physique et la protection, les conditions thermiques, la protection contre les chutes, la souffrance d'un manque prolongé d'aliments, le logement et la manipulation selon le comportement normal de l'espèce. La réglementation européenne instaure donc des principes très généraux dont les déclinaisons restent soumises à une gamme d'interprétations très variées. Pour ne citer que cet exemple, le présent règlement n'impose donc pas à la filière piscicole la rédaction d'un guide de bonnes pratiques sur l'abattage des poissons. En revanche, probablement consciente des lacunes du texte, l'Union européenne dispose à l'article 27 qu'avant fin 2014 la Commission européenne présente devant le Parlement et le Conseil un rapport sur la protection des poissons au moment de leur mise à mort. Il peut s'accompagner de propositions législatives^[29].

3) Une législation nationale inexistante en France

Pour répondre à cette réglementation européenne, le rapport de la Commission de l'UE sur la protection des poissons au moment de l'abattage a été commandé et publié en 2018. Il repose son analyse sur les standards établis par l'OIE. Il dresse un état des lieux de la réglementation dans certains des États membres.

Tableau III : État des lieux de la réglementation européenne sur le bien-être des poissons en 2018 d'après *Report on the possibility of introducing certain requirements regarding the protection of fish at the time of killing* (2018)^[68].

Pays	Législation en vigueur (en 2018 ou « * » : À jour en 2022)	Lignes directrices nationales (Guide de bonnes pratiques) ou labellisation privée
Norvège	- Règlement (EC) No 1099/2009 et Norwegian Règlement No 1250/2006 sets rules for general fish welfare requirement	Un document d'orientation complet a été préparé pour l'industrie par l'Autorité norvégienne de sécurité des aliments (NFSA) concernant les exigences relatives au bien-être des animaux d'aquaculture pendant l'abattage
Royaume - Uni	- Règlement (EC) No 1099/2009 - Animal Welfare Act 2006 - The Welfare of Animals at the Time of Killing (Scotland) Règlements 2012. Statutory Instrument 2012 No. 321 - The Welfare of Animals (Transport) (England) Order 2006 (and equivalent legislation in Scotland and Wales)	- Avis sur le bien-être des poissons d'élevage : Opinion on welfare of farmed fish; Farm Animal Welfare Committee (2014) - Code de bonnes pratiques
Irlande	- Règlement 1099/2009 - Animal Health and Welfare Bill 2012	- Code de bonnes pratiques pour la santé des salmonidés d'élevage : A Fish Health Code of Practice for Salmonid Aquaculture in Ireland (2014) - Manuel sur la santé des salmonidés d'élevage (2011)
Pologne	Règlement (EC) No 1099/2009 Animal Protection Act, (No 111, Item 724; of 1998 No 106, Item 668)	Code de bonnes pratiques : CODE of Good Practice (Kodeks Dobrej Praktyki) 2014
République Tchèque	- Règlement (EC) No 1099/2009 - Act No 246/1992 Coll. and following amendments on the protection of animals against cruelty - Decree No 245/1996 Coll. on stunning/killing methods - Decree No 382/2004 Coll. on stunning/killing methods - Act No 99/2004 on fish pond management, incl for fish farming	Guideline No. 5/2015 on stall selling fish / sales places

Pays	Législation en vigueur (en 2018 ou « * » : À jour en 2022)	Lignes directrices nationales (Guide de bonnes pratiques) ou labellisation privée
Allemagne	- Règlement (EC) No 1099/2009 - Law for protection of animals related to killing and slaughter (Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates (Tierschutz-Schlachtverordnung -TierSchlV)	- Bonnes pratiques d'hygiène : Verordnung über die hygienischen Anforderungen an Fischereierzeugnisse (1994) - Bonnes pratiques en élevage d'étang pour la Carpe définies : Gute fachliche Praxis der Teichwirtschaft in Brandenburg
Danemark	Règlement (EC) No 1099/2009	Aucune réponse d'une autorité compétente reçue
France	- Règlement (EC) No 1099/2009 - Note de service 2015-1169 de la DGAL ¹⁵ du 31 décembre 2015 (DGAL/SDSPA/2015-1169)*	Aucune réponse d'une autorité compétente reçue
Italie	Règlement (EC) No 1099/2009	Aucune réponse d'une autorité compétente reçue
Grèce	Règlement (EC) No 1099/2009	2 Circulaires sur le bien-être des poissons d'élevage (23/03/2015 et 9/06/2015)
Espagne	Règlement (EC) No 1099/2009	Code pratique pour la mise à mort des poissons : Piscicultura; Guia de practica correctas para el sacrificio ; 2016; AEONOR

Nous constatons qu'en France la réglementation est limitée à la directive européenne de 2009. Aucune loi spécifique n'est répertoriée. La note de service de la Direction générale de la DGAL évoquée est relative à l'organisation des contrôles dans les transports donc s'éloigne de notre sujet. Il n'y a aucune traduction concrète de la directive cadre de l'Union (1099/2009) sur le bien être des poissons en droit Français. Par quels textes du droit national les poissons sont-ils protégés ?

Les poissons sont placés sous la protection de l'article L214 du code rural, célèbre pour reconnaître le caractère sensible des animaux et avoir donné son nom à l'association de protection animale abolitionniste éponyme. Le 10 juillet 1976, l'article reconnaît ainsi que : « Tout animal étant un être sensible doit être placé par son propriétaire dans des conditions compatibles avec les impératifs biologiques de son espèce. ». Il est possible de se demander s'il concerne le poisson sauvage, car celui-ci n'est pas réellement rattaché à un « propriétaire ». Les poissons issus de la pêche et détenus vivants pour un abattage ultérieur sont semble-t-il sous le coup du L214-3 « il est interdit d'exercer des mauvais traitements envers les animaux (...) **sauvages** (...) **tenus en captivité**. ». Il s'agit « [d'assurer] la protection de ces animaux contre les **mauvais traitements** ou

15 DGAL : Direction générale de l'alimentation.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

les utilisations abusives et [de] leur **éviter des souffrances** lors des manipulations inhérentes aux diverses techniques d'élevage, de parage, de transport et d'**abattage des animaux** »^[73].

Dans l'échange questions-réponses faisant suite à l'interpellation adressée au Ministère de l'agriculture et de l'alimentation par le Député Vincent Ledoux en 2020 nous trouvons la confirmation de l'absence de législation précise sur le sujet du bien-être des poissons d'élevage. Le ministère insiste sur les démarches volontaristes mises en œuvre qui font du bien-être des poissons une préoccupation majeure de la filière mais nous pouvons nous interroger sur les raisons qui conduisent à ne pas légiférer sur l'obligation d'exclure certaines méthodes d'abattage des pratiques autorisées dans l'UE^[74]. Cette démarche volontariste a-t-elle déjà porté ses fruits ? Le respect des standards de l'OIE est-il déjà effectif que nous puissions nous passer de la contrainte de la loi ?

4) Respect des standards de l'OIE en pratique

Pour répondre à la question posée nous proposons de nous référer à l'état des lieux du respect des standards de l'OIE dans l'Union européenne dressé par le rapport de la Commission européenne de 2018 (cf. tableau IV).

Tableau IV : Résumé pays par pays du respect des standards de l'OIE ©Report on the possibility of introducing certain requirements regarding the protection of fish at the time of killing (2018)^[68].

Espèce concernée	Pays d'étude	Abattage	
		Résultat	Justification
Saumon atlantique	Norvège	+/-	Commotion cérébrale (normes respectées) Électronarcose à sec : seulement 20-30 % de poissons correctement orientés dans le poste d'abattage (normes respectées pour 25-30 % des poissons) Électronarcose + saignée par les ouïes (normes non respectées), ou par percussion ou décapitation (normes respectées)
	Royaume-Uni	✓	Normes respectées
	Irlande	+/-	Commotion, étourdissement au CO ₂ pour 7-8 % (normes non respectées)
Carpe commune	Pologne	+/-	Percussion manuelle Système d'électronarcose pas aux normes
	République Tchèque	+/-	Système d'électronarcose pas aux normes et parfois pas de méthode d'abattage définie
	Allemagne	+/-	Percussion manuelle Système d'électronarcose pas aux normes
Truite arc-en-ciel	Danemark	+/-	Système d'électronarcose pas aux normes Asphyxie dans la glace également pratiquée
	France	+/-	Commotion manuelle, mais étourdissement CO ₂ et engourdissement dans la glace puis étourdissement par électronarcose aussi utilisés.

Espèce concernée	Pays d'étude	Abattage	
		Résultat	Justification
	Italie	+/-	Système d'électronarcose pas aux normes
	Pologne	✘	Asphyxie dans boue de glace dans un camion, à la ferme ou à l'abattoir
Bar commun	Grèce	✘	Asphyxie dans la glace ou une boue de glace
	Espagne	✘	Asphyxie dans la glace ou une boue de glace
	Italie	✘	Asphyxie dans la glace ou une boue de glace
Daurade royale	Grèce	✘	Asphyxie dans la glace ou une boue de glace
	Espagne	✘	Asphyxie dans la glace ou une boue de glace
	Italie	✘	Asphyxie dans la glace ou une boue de glace

✓ : Les normes de l'OIE sont probablement respectées

✘ : Les normes de l'OIE ne sont probablement pas respectées

+/- : Les normes de l'OIE sont parfois respectées (selon méthode et matériel utilisé)

Le rapport^[68] pointe du doigt un certain nombre de manquements aux principes du règlement et aux standards de l'OIE en matière de mise à mort des poissons d'élevage. Ces manquements concernent le bar (*Dicentrarchus labrax*) et la daurade royale (*Sparus aurata*). L'asphyxie était en 2018 le principal moyen auquel avaient recours les Italiens, Grecs et Espagnols. L'électronarcose n'en étant qu'à un stade expérimental.

Pour la **truite** (*Oncorhynchus mykiss*) le niveau de bien-être est plus **hétérogène** et varie avec la diversité des méthodes utilisées. En France, au Danemark et en Italie les standards sont en partie respectés avec l'utilisation de l'électronarcose dans ces deux derniers pays. Du fait de la variabilité des paramètres et des appareils utilisés, il est difficile de savoir si l'induction d'inconscience est rapide et complète en pratique. L'asphyxie dans la glace persiste un peu au Danemark et est la principale méthode en Pologne allant ainsi à l'encontre des standards de l'OIE. En France, la pratique du bain de glace avant application de l'électronarcose ou du CO₂ persiste parfois.

En Pologne les **carpes** sont parfois laissées à l'air libre pendant 10 minutes ce qui constitue un **manquement significatif à leur bien-être**.

Le rapport estime que le bien-être en matière d'abattage des **saumons** est (sauf exception) conforme aux standards de l'OIE. L'Irlande et la Norvège utilisaient encore la mise à mort au CO₂ en 2018 mais la pratique devait disparaître prochainement. En Norvège, au Royaume-Uni et en Irlande c'est la commotion qui est principalement utilisée. La pratique de l'électronarcose (sèche ou semi-sèche) censément satisfaisante est souvent défailante avec de nombreux poissons qui ne reçoivent pas le choc électrique au niveau de la tête.

Le rapport ne formule aucune proposition législative et contraignante précise. Il indique que compte tenu « de la jeunesse de la filière » et des progrès constants (bien qu'insuffisants) de celle-ci en matière de bien-être, il apparaît plus opportun de laisser place au volontarisme des industriels et éleveurs du secteur. La possibilité d'introduire des règles plus strictes est laissée à la discrétion des États membres. Or nous avons vu que la France ne souhaite pour l'instant pas introduire de législation contraignante sur le sujet et se repose sur les initiatives professionnelles^[74]. Il n'est pas non plus question de la pêche. Pourtant elle pose les mêmes

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

problèmes si nous nous interrogeons uniquement sur la partie « abattage ». Les démarches volontaires des acteurs du secteur permettent-elles de répondre à l'enjeu posé ?

5) Les démarches volontaires, la certification

Il va ici s'agir de savoir si les acteurs de la filière aquacole et pêche se saisissent des sujets de bien-être à l'abattage pour les poissons. Compensent-ils les carences de la législation ?

a) Le Plan aquacultures d'avenir

Parmi ces démarches volontaristes, nous nous arrêtons sur le Plan aquacultures d'avenir 2021-2027^[75] que cite le ministère en exemple dans sa réponse à l'interpellation du Député Ledoux (cf. p. 45). Les démarches à mettre en œuvre pour l'abattage des poissons dans le cadre de l'aquaculture sont définies dans la rubrique plan d'actions. L'objectif est d'« améliorer les connaissances sur le bien-être animal sur les thèmes de l'élevage et de l'abattage ». Pour cela, 2 actions principales sont prévues : 1) accroître la recherche pour obtenir des paramètres fiables pour suivre et impacter le bien-être et les méthodes d'abattage. 2) Augmenter l'échange des bonnes pratiques et la communication autour de ces thématiques. L'accent est mis sur la dimension communautaire que peuvent prendre ces démarches en se reposant sur l'expérience et les avancées des autres pays de l'Union européenne^[75].

b) Les labels

i. Le label rouge

Le label rouge est défini par le code rural. C'est un signe national qui garantit aux produits désignés une qualité supérieure à celle des produits semblables habituellement commercialisés. Il n'est pas exigé qu'il soit associé à un standard de bien-être plus élevé. Nous allons voir, si dans le cas du poisson, il l'est parfois. D'après le site internet de l'INAO¹⁶ (Institut national de l'origine et de la qualité) il existe des cahiers des charges Label rouge définissant les règles d'abattage pour les poissons suivants : le saumon (atlantique ou non), le maigre, le bar et le turbot. Les implications en termes de bien-être à l'abattage et de durée du jeûne sont résumées dans le tableau V ci-après.

16 L'INAO (Institut national de l'origine et de la qualité) : c'est l'organisme administratif français sous tutelle du ministère de l'agriculture et de la pêche en charge de la mise en œuvre de la politique du pays en matière de sous signes officiels d'identification de l'origine et de la qualité. Il tire son acronyme de son premier nom : Institut National des Appellations d'Origine. Il valide les cahiers des charges qui sont ensuite homologués par arrêté interministériel et publiés au Journal officiel de la République française (JORF).

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Tableau V : Critères relatifs à l'abattage pour le cahier des charges label rouge d'après le site internet de l'INAO.

	« Saumon » LA 33/90 ^[76]	« Saumon Atlantique » LA 31/05 ^[77]	Maigre « Maigre d'aquaculture marine » ^[78]	« Bar d'aquaculture marine » LA 01/11 et Daurade d'aquaculture marine LA 02/11 ^[79]	« Turbot et découpes de turbot d'aquaculture marine » LA 15/02 ^[80]
Durée du jeûne avant abattage	2-10j	3-20j	Jeûne > 48h ou > 36 h pour des températures de l'eau respectivement ≤ 16 °C ou > 16 °C. Jeûne < 2 semaines		Jeûne > 48 h ou > 24 h pour des températures de l'eau respectivement ≤ 15 °C ou > 15 °C. Jeûne < 6 j
Critères d'abattage (relatifs au bien-être)	Commotion et saignée dans les 30s après la sortie de l'eau	Refroidissement des poissons vivants dans une eau < 4 °C (optionnel). Anesthésie : « obligatoire respectueuse du bien-être des poissons et limitant le stress du poisson » « abattage respectueux du bien-être des poissons conformément à la réglementation en vigueur »	Instantanément après la pêche. - Eau glacée à une température proche de 0 °C - Eau saturée en CO ₂ - Saignée «(...) pour chacune d'entre elles la mort est quasi instantanée »	Instantanément après la pêche. Principalement : Eau glacée à une température proche de 0 °C Parfois : - Eau saturée en CO ₂ - Saignée - Électronarcose «(...) pour chacune d'entre elles la mort est quasi instantanée » « D'autres techniques sont admises à partir du moment où elles respectent l'intégrité corporelle du poisson et où elles limitent au maximum son stress. »	« Stress de l'animal limité à l'abattage » - Saignée puis une immersion dans un bain d'eau glacée « mort cérébrale rapide et maintien de la qualité de la chair »

Nous constatons qu'il existe une préoccupation assez nettement affichée pour le bien-être animal dans les cahiers des charges label rouge au sujet de l'abattage. Néanmoins il est possible de se demander si les revendications de prise en compte du bien-être sont en phase avec les méthodes préconisées/acceptées par ces cahiers des charges.

Pour le saumon LA 33/90 la **commotion** doit précéder la saignée. La percussion doit survenir dans les **30 secondes après la sortie de l'eau du poisson**. Mais pour ce qui est des autres cahiers des charges ils revendiquent un abattage instantané après la pêche, ou encore un stress limité à l'abattage mais aucune garantie n'est fournie par les méthodes utilisées dont certaines sont même décriées par l'OIE. L'étourdissement n'est obligatoire que dans 1 cahier des charges sur 5. Pour le turbot contrairement à ce que dit l'OIE la saignée sans étourdissement est présentée comme bénéfique parce qu'elle « [limiterait] le stress lors de l'abattage par une perte de conscience rapide par arrêt de l'irrigation du cerveau »^[8]. Nous en concluons que les cahiers des charges Label rouge intègrent des dispositions en faveur du bien-être à l'abattage de manière très marginale et que la communication à cet égard ne semble pas en accord avec les prescriptions de l'OIE.

ii. L'agriculture biologique

Le cahier des charges de l'agriculture biologique pour l'aquaculture (adopté en 2010¹⁷) stipule que le jeûne avant l'abattage devra avoir une durée de 48h minimum (jusqu'à 6 jours maximum d'après Escudero (2018)^[8]). L'abattage doit faire suite à la capture le plus rapidement possible et sans stress ou souffrance inutile. Il doit **nécessairement y avoir étourdissement avant éviscération et saignée**. Les moyens d'étourdissement reconnus sont l'électronarcose, la commotion, l'engourdissement par le froid, l'asphyxie dans l'eau saturée en CO₂. Ne sont donc pas acceptés : l'asphyxie dans l'air. Néanmoins nous constatons que l'eau saturée en CO₂ ou l'engourdissement par le froid sont acceptés alors que ce **ne sont pas des méthodes satisfaisantes pour le bien-être animal d'après l'OIE**.

Référence est faite à cette filière biologique dans le Plan aquacultures d'avenir^[75]. Il souligne « l'importance » de la production piscicole biologique française. Il met en valeur le leadership de la France en matière de production de truite bio d'eau douce tout en insistant sur la problématique du bien-être animal en termes d'abattage entre autres^[81].

iii. Les labels pour la pêche et le bien-être des poissons ?

Le cahier des charges de MSC¹⁸ disponible en ligne ne présente aucune occurrence du terme mise à mort, abattage, étourdissement, commotion... Il n'est question dans leur démarche que de 3 piliers : la « durabilité du stock, [l'impact] sur les écosystèmes [et] la gestion efficace ». Il n'y a aucune revendication d'amélioration du bien-être des poissons à l'abattage MSC^[82]. Il en est de même pour les labels *Friends of The Sea* destinés à la pêche ou à l'aquaculture^[83,84]. Le label *Pêche durable* est un label public homologué depuis 2014 qui a vocation à s'appliquer à des pêcheries candidates de tous pays. Comme l'indiquent ses 4 piliers « Écosystème, Environnement, Social, Qualité » il ne porte pas sur le bien-être des poissons^[85].

c) Conclusion

Les labels de pêche revendiquant une préoccupation pour le bien-être à l'abattage des poissons n'existent pas à notre connaissance. En revanche, nous retrouvons des revendications de cet ordre dans le cahier des charges de certains labels rouges mais un seul des 5 homologués à ce jour répond aux spécifications de l'OIE quant au bien-être à l'abattage. L'agriculture biologique fournit une garantie en imposant l'étourdissement avant la saignée. Nous voyons donc que ces labels sont peu centrés sur la valorisation d'un produit apportant moins de souffrance animale. Et pourtant l'opinion du consommateur à ce sujet est assez différente. Le sondage Savanta ComRes évoqué plus tôt nous indique qu'il existe une confusion dans l'esprit des personnes quant au « contenu éthique » des labels. En effet 44 % des répondants pensent que les labels « durables » garantissent une mise à mort rapide et moins douloureuse, seulement 33 % savent que ce n'est pas le cas. Nous notons néanmoins que les Français semblent plus avertis sur cette distinction avec respectivement 30 et 42 %^[65].

D- La filière a intérêt à prendre en charge cette problématique du bien-être

Quand des problématiques sur le bien-être sont soulevées, l'intérêt des filières mises en causes est toujours d'engager le débat en interne et de prendre les devants sur ces sujets éthiques afin d'influencer sur l'orientation et la nature des discussions. Une démarche volontariste permet d'influencer la prise de décision plutôt que de subir les évolutions à venir, donc de garder la main sur ce qu'il convient de faire. C'est aussi souvent l'occasion d'en faire un argument marketing. Ceux

17 Date non spécifiée pour les poissons

18 MSC (Marine stewardship council) : est une ONG (Organisation non gouvernementale) pour la labellisation des pêches durables.

qui tirent profit de l'utilisation du poisson comme denrée courent toujours moins de risques à engager le débat qu'à éviter un débat constructif^[53].

C'est cette direction que semblent vouloir emprunter les professionnels pratiquant l'Ikejime. Il nous importera de voir quels outils sont disponibles pour évaluer les pratiques de mise à mort et donner ensuite de plus amples informations sur l'intérêt de l'Ikejime par rapport aux autres méthodes de mise à mort des poissons.

E- Conclusion

Il existe une préoccupation manifeste pour le bien-être animal à l'abattage et, bien qu'encore discrète, elle touche aussi le poisson et risque de le concerner de plus en plus. La législation traite cette question mais les textes ne disposent aucune contrainte effective à ce sujet du bien-être à l'abattage du poisson. Il est clair que les changements à envisager peuvent être colossaux. L'enjeu pour la filière est donc de taille. Coller à un désir grandissant du respect animal tout en assurant sa pérennité économique, progresser sans diviser ni opposer les filières.

Pour permettre ce progrès il y a aussi un défi de connaissances à relever. Il est nécessaire de construire une meilleure compréhension des phénomènes à l'œuvre, de tester une foule d'espèces et de conditions différentes. Pour les tester, les comparer, il nous faut avant tout choisir les bons indicateurs.

II- Marqueurs scientifiques pour évaluer une méthode d'abattage.

Nous avons choisi de porter notre analyse sur la limitation du mal-être et le soin apporté au produit pour assurer la meilleure qualité possible parce qu'il nous semble que ce sont deux paramètres importants dans l'acceptation. Nous avons vu que le bien-être à l'abattage pouvait être restreint aux états de stress, à la perception de la douleur, de la souffrance par l'animal. Pour autant, il nous faut trouver le moyen de quantifier ces états. Nous allons aussi chercher à déterminer comment le respect du produit, la recherche de la meilleure qualité peuvent se mesurer.

A- Les marqueurs de bien-être applicables à l'abattage des poissons.

Nous avons vu que notre approche du bien-être va consister à identifier le stress, la **douleur**, la **peur** chez les poissons lorsque nous leur ôtons la vie, et dans les instants qui précèdent. Pour cela, comme l'indique Arlinghaus, l'étude du bien-être pourra reposer sur l'examen de paramètres physiologiques et éthologiques facilement mesurables^[25]. Mais lesquels ?

Avant de répondre à cette question il faut simplement préciser l'importance méthodologique qu'il y a à ne pas utiliser qu'un seul des marqueurs que nous allons répertorier. Il faut toujours utiliser un panel de critères. Aucun paramètre physiologique et/ou comportemental n'est suffisamment spécifique pour rendre compte à lui seul du bien être^[86]. En 1990 Bouyssou résume que l'évaluation d'un phénomène complexe doit reposer sur un ensemble de critères qui doit être exhaustif, non redondant, avec des critères indépendants les uns des autres, approuvé par les différents acteurs. Le tout devant rester transparent et facile à comprendre, lisible (nombre limité de critères)^[87].

Même si nous avons essayé de dissocier artificiellement les notions de douleur, stress, détresse regroupées sous l'appellation de souffrances il faut reconnaître d'emblée qu'il n'existe aucun marqueur spécifique à l'un ou l'autre de ces ressentis. Il faudra donc additionner les différents paramètres non invasifs qui leurs sont associés pour avoir une évaluation approximative d'ensemble de la « douleur »^[88].

1) Souffrance et durée : nécessité d'une inconscience rapide.

Une **inconscience rapide** est un paramètre essentiel. En effet, nous l'avons dit, nul ne saurait souffrir sans conscience. Certes, la stimulation à l'origine de stress et/ou de douleur est capitale dans l'appréhension de la souffrance ressentie et donc du degré de mal-être. Mais elle ne saurait être considérée sans prendre en compte sa **durée dans le temps**. C'est sur cela qu'insistent More et al. (2018) en proposant le concept de « magnitude » de la douleur, de la détresse ou de la souffrance. Selon lui, la **magnitude** est le produit de la **durée et de l'intensité**^[88].

Pour évaluer la durée pendant laquelle l'animal peut souffrir il est incontournable de parler de **conscience** et de définir des marqueurs qui permettent de l'évaluer. More définit 4 catégories de paramètres à évaluer pour y parvenir : 1) Paramètres **neurologiques** (l'électroencéphalogramme) 2) Paramètres **physiologiques** (comme la variabilité de fréquence cardiaque) 3) Paramètres **comportementaux** 4) **Réflexes** physiques.

Le plus spécifique pour évaluer la perte de conscience c'est l'électroencéphalogramme (ECG)^[88,89]. Viennent ensuite les autres paramètres neurologiques, les paramètres comportementaux et les réflexes physiques.

a) L'ECG

L'**électroencéphalogramme** est utilisé pour évaluer l'état « d'éveil » du cerveau. Son utilisation chez le poisson repose sur la durée de persistance de la réponse aux stimuli visuels (VER/Ps)¹⁹. Il s'agit d'utiliser des électrodes implantées dans le crâne sous anesthésie préalablement à l'application ultérieure d'une méthode d'abattage spécifique pour évaluer la durée pendant laquelle perdure l'état de conscience cérébrale par la réponse aux stimuli visuels. Cette VER ou VEP est déterminée en fonction de l'électroencéphalogramme (ECG) qui suit chaque stimulus visuel (flash lumineux par exemple). Quand l'ECG moyenné est très faible la VER a disparue et traduit une altération des voies nerveuses en jeu^[90]. Chez l'homme l'altération de la VEP implique un ralentissement de la transmission de l'influx nerveux. Ce ralentissement peut être dû à des plaques de myéline, des gliomas sur les nerfs optiques, une neurofibromatose, ou encore à une compression des voies optiques comme lors d'hydrocéphalie ou de tumeur pituitaire^[91]. Pour Robb et al. (2000) chez le poisson après l'abattage la perte des VER est liée à une destruction corticale et ou cérébrale complète qui traduit forcément une perte de la conscience^[90]. Kestin va aussi dans ce sens mais souligne l'intérêt que peut avoir l'interprétation des tracés d'ECG avant cette perte certaine de conscience qu'ils associent à la perte des VERs. Cette étude des tracés avant leur disparition permet d'évaluer la conscience pour des étourdissements réversibles et pas seulement pour des méthodes sans réveil possible^[92]. Cette méthode est une sorte de mesure étalon de la conscience mais nous devons être réalistes et convenir que l'ECG n'est pas applicable comme méthode de terrain. Invasive, elle n'est pas sans douleur et ne se conçoit que dans un cadre expérimental^[92]. Il faut évaluer en fonction de l'ECG et ensuite établir la corrélation entre l'ECG et les méthodes de mesures non invasives basées sur l'animal. Ainsi il sera possible d'évaluer l'effectivité de la méthode d'étourdissement *in situ* sans ECG^[88]. Voyons quels peuvent être ces critères non invasifs.

b) Signes comportementaux de la conscience

En temps normal, le poisson va nager pour se déplacer afin d'assurer le flux d'eau qui lui permet de respirer, etc. Il assure aussi son équilibre. Ce sont autant d'actions spontanées dont la disparition peut indiquer une perte de conscience. Il n'est pas pensable d'avoir des comportements spontanés en l'absence de conscience. En revanche, la conscience n'implique pas que le poisson

19 Réponse évoquée aux stimuli visuels, de l'anglais Visual evoked responses/potentials.

soit en mesure de maintenir ses comportements normaux. Ce sont des signaux intéressants mais en aucun cas suffisants pour conclure à l'absence d'expérience consciente de la situation^[42,93].

c) Réactions aux stimuli

La conscience de la douleur repose sur la nociception, le convoyage nerveux de cette information et son intégration dans les centres du système nerveux central dédiés à la douleur. Face à cette souffrance, la conscience peut définir une réponse. Le dysfonctionnement d'un de ces 4 aspects empêche la réponse à un stimulus. Soit il n'est pas perçu, pas transmis, pas intégré, soit il ne peut pas être exprimé. Pour cela il est intéressant d'observer la réaction du poisson à la manipulation, une piqûre légère sur la lèvre, ou encore à un stimulus électrique de 6V DC^[20,93].

d) Réflexes cliniques de la conscience

Dans cette catégorie les auteurs regroupent les mouvements operculaires (c'est le réflexe de respiration pour le poisson) et le réflexe vestibulo-oculaire (VOR²¹). Quand ils disparaissent, le fonctionnement neurologique normal est grandement altéré et la conscience très probablement abolie. La réapparition de la respiration est considérée chez tous les animaux comme un indicateur très robuste du retour à la conscience après un étourdissement réversible. Le VOR est le pendant chez le poisson du réflexe cornéen chez les mammifères et les oiseaux^[42]. Avec le mouvement operculaire ils forment un couple jugé aussi fiable pour juger de la conscience chez les poissons. Le test du VOR n'est pas simple à réaliser, il peut parfois être difficile à observer^[93]. Le schéma de la figure 1 en donne une illustration.

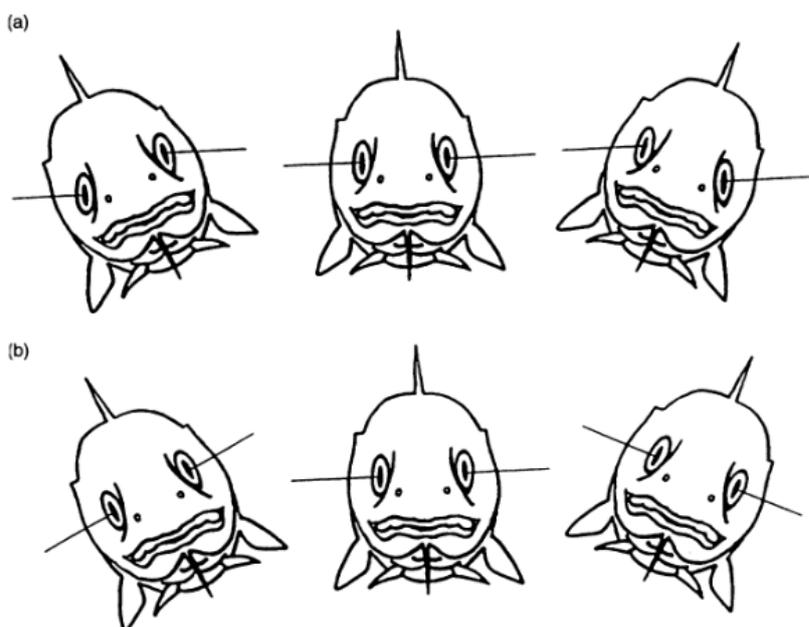


Figure 1 : Schéma du test du réflexe vestibulo-oculaire (VOR) chez un poisson ©Kestin et al. (2002). (a) Le poisson est vivant ; (b) Il est mort.

e) Méthode intégrée de mesure de la conscience du poisson

En 2002, Kestin, van de Vis et Robb proposent une méthode d'évaluation de la conscience des poissons lors de l'abattage sous forme de tableau (cf. Annexe 1). Elle est en fait un bilan des autres méthodes que l'ECG disponibles pour évaluer la conscience d'un poisson. Elle exclut aussi les variations physiologiques comme la fréquence cardiaque. Nous pourrions pourtant utiliser

20 Courant continu, de l'anglais Direct current. Un courant continu de 6V correspond à celui d'une pile ménagère.

21 De l'anglais Vestibulo-Ocular Reflex.

l'échographie cardiaque. Mais comme pour l'ECG, y recourir n'est pas viable en situation réelle d'abattage. Ce n'est une option praticable que dans un cadre expérimental.

La méthode d'évaluation de la conscience proposée par ces auteurs repose donc sur les 3 champs évoqués précédemment : le comportement « spontané » du poisson, sa réponse à des stimuli et ses réflexes cliniques^[93]. L'EFSA inclut cette grille d'évaluation dans son rapport^[42]. Le comportement spontané est à la croisée des chemins entre l'évaluation du statut de conscience et la réponse comportementale face à la douleur à laquelle nous allons maintenant nous intéresser.

2) Les éléments comportementaux pour mettre en évidence le stress et les souffrances des poissons

Tant que la conscience est maintenue l'animal va pouvoir exprimer son aversion pour le traitement qui lui est infligé s'il est source de souffrance. Il est important de décrire ces signes d'aversion qui ne sont pas des signes de la seule conscience mais de la conscience d'un phénomène déplaisant.

En première approximation il nous a semblé pertinent de rechercher les paramètres habituellement utilisés pour évaluer la souffrance chez les autres espèces au moment de l'abattage. Si les vocalisations ne seront pas un élément d'analyse pertinent du comportement des poissons nous pouvons nous inspirer des paramètres observés chez les bêtes d'abattoir tels que résumés par More en 2018 dans le Journal de l'EFSA (European food safety agency)^[88] (cf. tableau VI).

Tableau VI : Tableau récapitulatif des paramètres comportementaux pertinents pour l'évaluation de la souffrance en abattoir lors de l'induction de l'inconscience ©More et al. (2018)^[88] adapté aux poissons.

Paramètre	Exemples
Vocalisations	Nombre, durée, intensité, profil spectral (fréquences)
Posture et mouvements	Coups de pi eds, de tête, battements de queue, évitement
Comportement général	Agitation, immobilisation, tentatives d'échappement

Les paramètres non applicables aux poissons sont barrés.

Pour les poissons en particulier, dans son rapport de 2004 l'EFSA considère que le processus est aversif dès lors que le poisson connaît une augmentation de son activité alors que débute la stimulation (il peut notamment s'agir d'une **nage agitée**, ou d'un **comportement d'échappement**)^[42]. Huntingford et al. (2006) évoquent aussi le changement de direction et de vitesse de nage comme une réponse fréquente face à différents éléments stressants. La **fuite** et une **posture de soumission** sont rapportées dans les combats intraspécifiques. Une modification de la couleur est aussi possible dans certains cas. Les poissons peuvent former un banc, s'**immobiliser** ou chercher un abri face à un élément d'agression. Les carpes blessées avec un hameçon se lèchent la bouche, salivent anormalement, balancent la tête. Certains arrêtent de s'alimenter après la rencontre avec un prédateur^[28]. Des **coups de queue répétés** et de forts **balancements de la tête** sont associés à des comportements manifestant du mal-être, à un poisson qui se débat. L'absence de mouvements peut aussi clairement être associée à la mort et donc à une interruption de toute forme de souffrance ou de stress^[90]. Cela prouve que les critères préconisés chez les bêtes d'abattoirs par More et al. (2018) ont toute leur pertinence.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Mais si nous n'observons pas les comportements censés traduire du stress, de la douleur, il ne faut pas pour autant conclure à l'absence de souffrance. Certaines méthodes comme le bain d'eau glacée, une électronarcose insuffisante ou encore la congélation rapide à vif empêchent peut-être les mouvements avant de provoquer la perte de conscience^[42]. Quand il n'y a pas d'inconscience vraie mais une absence de mouvements, il est nécessaire de s'intéresser à d'autres éléments pouvant traduire du stress ou de la douleur. Il faut procéder à des dosages hormonaux ou mesurer l'activité du cœur. En effet, il est nécessaire de faire reposer l'évaluation de la douleur sur un triptyque d'indicateurs : « les changements comportementaux, physiologiques et neurologiques »^[88]. Étudions donc les critères physiologiques que nous n'avons pas encore évoqués.

3) Les marqueurs sanguins du stress

Les paramètres utilisés en général à l'abattoir pour évaluer le stress sont résumés par More et al. (2018) dans le tableau VII.

Tableau VII : Tableau récapitulatif des paramètres physiologiques pertinents pour l'évaluation de la souffrance en abattoir lors de l'induction de l'inconscience ©More et al. (2018)^[88] adapté aux poissons.

Paramètre	Exemples
Concentrations hormonales	Axe HPI : corticostéroïdes Cortisol (car c'est le seul produit par les téléostéens), Hormone adrénocorticotrope (ACTH) Système nerveux orthosympathique (ou sympathique) : adrénaline et noradrénaline
Métabolites sanguins	Glucose, lactates, lactate déshydrogénase (LDH)
Réponse système nerveux autonome	Fréquence cardiaque et sa variabilité, pression sanguine, fréquence des mouvements respiratoires, température du corps (les poissons téléostéens sont poïkilothermes, sauf les Scombridés (thon, etc.) ou encore l'espadon (grâce à leurs particularités comme le <i>rete</i> ²² vasculaire associé à leurs muscles)).

Les paramètres non applicables aux poissons sont barrés.

Il semble pertinent de s'intéresser aux concentrations des hormones et des métabolites véhiculés par le sang. La littérature spécifique au poisson rapporte elle aussi l'usage du cortisol de manière quasiment systématique, du glucose, des lactates, à cela s'ajoutent le pH sanguin, les ions, et également l'hématocrite. Nous verrons qu'il n'est pas seul, mais le sang semble un substrat riche qui donne accès à de nombreux marqueurs physiologiques du stress d'après Seibel et al. (2021)^[97] (cf. tableau VIII).

22 *Rete* : qui a la forme d'un filet d'après le Centre national des ressources textuelles et lexicales (CNRTL)^[94-96].

Tableau VIII : Revue de la littérature réduite aux éléments de physiologie du sang pertinents pour l'évaluation d'un stress aigu (contexte d'une mise à mort) ©Seibel et al. (2021)^[97].

Facteur de stress/Conditions	Espèce	Durée du stress	Paramètre mesuré	Sens d'évolution du paramètre
Transport	<i>I. punctatus</i>	20 min	Granulocytes et lymphocytes T circulants	↑
Transport	<i>I. punctatus</i>	20 min	Lymphocytes B circulants	↓
Capture, tri, transport	<i>R. rutilus</i> , <i>A. brama</i>	3 h	Concentration en ions Sodium	↓
Transfert dans un autre bassin	<i>S. trutta</i>	1 min	Cortisol, glucose, lactate	↑
Exposition à l'air	<i>H. sabinus</i>	30 min	Lactate, acidose, glucose	↑
Exposition à l'air	<i>S. senegalensis</i>	3 min	Cortisol, glucose, lactate, osmolarité	↑
Hameçonnage et bataille sur la ligne	<i>O. mykiss</i>	2 min	Comptages cellulaires, hématocrite, glucose, thrombocytes	↑
	<i>O. mykiss</i>	2 min	Temps de coagulation	↓

a) Le cortisol

Le cortisol est un indicateur de stress souvent appelé « hormone du stress ». C'est le seul corticostéroïde produit par les téléostéens. Le cortisol est de surcroît l'un des principaux responsables des effets délétères du stress. Pour une même truite c'est un marqueur qui est dépendant de l'intensité du stress. L'amplitude de la réaction de la cortisolémie à un stress est conservée pour un même animal dans le temps^[38]. Le cortisol sert de marqueur de stress dans de très nombreuses études chez les poissons. Il est presque incontournable pour qui veut évaluer le stress^[38,42,98-102] et est inclus dans des scores d'évaluation du bien-être^[103]. Les données ne sont pas disponibles pour toutes les espèces mais nous avons toutes les raisons de penser qu'un stress s'il influe sur la cortisolémie le fera toujours à la hausse suite à l'activation de l'axe HPI (cf. p. 32). Cela a été confirmé chez *Oncorhynchus tshawytscha*, *Sparus aurata*, *Hemigymnus melapterus*, *Oncorhynchus mykiss* et *Dicentrarchus labrax*^[100,101,104-108].

Le cortisol peut être mesuré dans le plasma (cas le plus fréquent) mais parfois dans les écailles, dans les queues de poisson, dans l'eau, le mucus^[32]... La mesure dans les écailles n'a aucun intérêt pour nous puisqu'il s'agit ici du stress aigu de la mise à mort or le cortisol accumulé dans les écailles reflète des phénomènes sur le long cours. Les extraits de queues semblent en mesure de fournir des données traduisant des stress aigus comme le stress subi par des thons lors de la pêche. Aucunsément invasive, la concentration en cortisol dans l'eau est intéressante à bien des titres. Celui-ci est libéré au niveau des branchies et sa concentration dans l'eau est corrélée aux concentrations de cortisol plasmatique^[32]. Mais la mesure dans l'eau ne convient pas pour la mise à mort qui implique souvent une sortie de l'eau. De plus il nous paraît très important de pouvoir quantifier la variabilité individuelle des évolutions de tout marqueur de stress^[88] face à un stress identique car il faut nous rappeler que l'évaluation du bien-être commence au niveau individuel^[22].

Une sommation des marqueurs de bien-être ne rend pas compte de la variabilité des expériences sensorielles et émotionnelles de l'individu. Aussi, une mesure collective dans l'eau n'aurait pas de sens, *a fortiori* pour parler de bien-être à l'abattage.

Ce paramètre semble incontournable dans l'évaluation de l'état de stress des poissons suite à l'abattage. Comme beaucoup des indicateurs que nous pouvons utiliser, le cortisol est fortement interdépendant des autres paramètres qui rendent compte du stress et aussi de la qualité de la viande. Cette substance qu'est le cortisol a notamment une capacité à empêcher l'oxydation du glucose dans les tissus et favorise la mobilisation d'énergie en consommant le stock de glycogène^[109]. Une augmentation des taux de cortisol plasmatique provoque aussi la libération de glucose dans la circulation sanguine, ce qui fait de ce deuxième composé sanguin un marqueur de stress pertinent^[97].

b) Le glucose

Le glucose sert de marqueur de stress dans beaucoup d'études sur le poisson^[99–102]. Il a par exemple été utilisé par Erikson et Misimi (2008) comme marqueur de stress chez le saumon atlantique (*Salmo salar*) dans une étude sur l'impact d'un stress de chasse/capture et de diminution du niveau d'eau^[110]. Comme le cortisol, sa concentration plasmatique varie à la hausse suite à la confrontation au stress. Il y a une hyperglycémie après un stress de façon certaine chez *Oncorhynchus tshawytscha*, *Sparus aurata*, *Oncorhynchus mykiss* et *Dicentrarchus labrax*^[100,104–107].

Sur des saumons juvéniles de type chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*), l'exposition à un stress de manipulation de 30 secondes provoque un retour à des valeurs normales plus lent sur des poissons élevés à 7,5 °C que sur des poissons élevés à 12,5 et 21,0 °C^[105]. Aussi, il semble que, pour un même stress, ce marqueur puisse voir l'intensité des changements qu'il subit varier seulement en fonction de la température d'élevage.

Les conclusions que nous tirons de l'évolution des taux de glucose et de cortisol plasmatiques après l'exposition à un événement/une manipulation potentiellement stressante ne sont pas forcément les mêmes, d'où l'intérêt de les mesurer tous les deux. Ce sont aussi des marqueurs de phénomènes métaboliques qui peuvent largement être influencés par la température et de nombreux autres facteurs^[102]. Le jeûne par exemple va conduire à une glycolyse chez la Carpe (*Cyprinus carpio*). Dans sa première phase (8 premiers jours) il implique une mobilisation du glycogène. Cette mobilisation se fait dans le foie et dans le muscle (même si les pourcentage relatifs n'y sont pas modifiés). Le tissu le plus éprouvé par cette phase est le foie même si la consommation d'énergie au total est plus élevée dans l'ensemble des muscles que dans le foie à lui seul. Cela conduit à une augmentation transitoire du glucose plasmatique sur cette phase. Elle est conjointe à une augmentation des lactates.

c) La lactatémie

i. Indicateur de stress

C'est un indicateur de stress aigu^[97,101,102] mais seulement pour certaines espèces qui entrent en anaérobiose suite à un stress avec une activité très demandeuse en énergie dans une situation d'anaérobiose (approvisionnement en O₂ insuffisant)^[109]. Pour la **truite** ou encore le **saumon** c'est un **marqueur** pertinent du **stress aigu** mais pas pour le Labre bicolore (*Hemigymnus melapterus*) par exemple^[108,111]. Merkin et al. ont mis en évidence qu'une addition de plusieurs facteurs de stress les uns après les autres augmentait la lactatémie^[100]. Nous pouvons aussi noter que, chez les poissons, les lactates du sang ne reflètent pas les lactates musculaires de la même façon que chez les mammifères. Les poissons retiennent la plus grande part des lactates produits dans leur muscles sans que cela se reflète dans le sang^[109].

ii. *Indicateur de stress non spécifique ?*

Il est vrai que la lactatémie est aussi affectée par le jeûne et d'autres phénomènes métaboliques. Elle suggère alors une demande en énergie accrue. Mais elle reste largement associée au stress aigu selon Bermejo-Poza et al. (2017)^[112].

La privation de nourriture provoque une consommation de glycogène mais pas chez toutes les espèces. Certaines espèces (carpe commune ou poisson rouge) consomment leurs protéines d'abord, peut-être pour se prémunir contre un autre stress physiologique à venir plus important encore (comme une hypoxie ou une privation de nourriture prolongée)^[112]. Mais chez beaucoup d'espèces comme le bar (*Dicentrarchus labrax*), l'esturgeon blanc (*Acipenser transmontanus*), la truite fario (*Salmo trutta fario*) ou le poisson chat argenté (*Rhamdia quelen*) l'approvisionnement énergétique repose bien sur le glycogène quand il y a privation de nourriture^[113]. La **privation de nourriture avant l'abattage** en aquaculture ou dans certaines variantes de l'Ikejime (Ikejime à terre) nécessite d'être prise en compte et homogénéisée. C'est nécessaire pour comparer les niveaux de stress induits par les seules méthodes d'étourdissement ou d'abattage, car ce jeûne **peut modifier les marqueurs du stress couramment utilisés** comme le glucose et les lactates du sang.

d) *Le pH sanguin*

C'est un marqueur de stress pour des stress de quelques minutes à plusieurs heures. Dans la plupart des cas, le pH sanguin diminue avec le stress^[100].

e) *Le Chlore*

Le chlore comme de nombreux ions du sang et l'osmolarité en général^[97] est un marqueur de stress pertinent^[110].

f) *La pCO₂*

Chez la truite (*Oncorhynchus mykiss*) la pCO₂ augmente après la plupart des stress^[100]. Elle est rarement exploitée dans les études comparatives sur les méthodes d'abattage. Toutefois elle serait particulièrement intéressante pour comparer les méthodes d'abattage notamment celles par asphyxie, saturation en CO₂, N₂ etc..

g) *L'hématocrite*

L'hématocrite varie en fonction du stress. En effet les sécrétions dues au stress induisent la contraction de la rate et la libération des réserves d'érythrocytes. La variation de l'hématocrite est considérée comme un marqueur secondaire du stress^[97]. L'hématocrite peut aussi varier suite à une modification de la taille des cellules sanguines à nombre égal en circulation. Cela survient à la faveur de faibles pressions partielles en O₂ du sang lors d'hypoxie^[114]. Une augmentation du cortisol est aussi réputée pouvoir entraîner une augmentation du volume globulaire^[115]. C'est un indicateur de stress reconnu chez plusieurs espèces comme chez le bar (*Dicentrarchus labrax*)^[101], le saumon atlantique (*Salmo salar*)^[110]. Chez la truite (*Oncorhynchus mykiss*) le stress de transport provoque une augmentation significative de l'hématocrite^[100].

Lors de la comparaison des méthodes entre elles, un critère sanguin ne donne pas forcément le même classement relatif des méthodes. Aussi faut-il multiplier les critères de classement et les paramètres étudiés^[101]. Il faut préciser qu'il semble impossible d'avoir des facteurs indépendants et non redondants comme le recommande Bouyssou pour la construction d'un système d'évaluation avec de multiples critères^[87]. Tous ces marqueurs sont interdépendants et souvent peu spécifiques. Il faut croiser les conclusions que nous pouvons tirer de chacun d'eux.

B- Bien-être et qualité sont intimement liés.

Définition de la qualité : « La plupart du temps le mot « qualité » se réfère à l'aspect esthétique et à la **fraîcheur** ou au degré d'altération que le poisson a subi. Il peut aussi comprendre des aspects de sécurité tels que l'absence de bactéries et parasites pathogènes ou produits chimiques toxiques »^[116]

Comment déterminer la fraîcheur du poisson ?

1) L'analyse sensorielle : analyses subjectives de la fraîcheur

Il s'agit d'évaluer les propriétés texturales et organoleptiques par un panel de testeurs. Les tests sensoriels sont **analytiques** ou **affectifs**. Nous pouvons utiliser deux types de tests sensoriels analytiques : Des tests **discriminatifs** (soit test triangulaire, soit épreuve de classement) qui permettent de mettre en évidence s'il y a ou non des différences entre les échantillons testés. Des tests **descriptifs** dont l'objectif est de définir les propriétés des échantillons testés. Enfin il existe des tests sensoriels **affectifs** dont l'intérêt est seulement de déterminer ce que les testeurs préfèrent ou acceptent^[116].

a) La cotation fraîcheur ou Méthode de l'indice de qualité (MIQ) : un exemple de test descriptif

C'est une méthode **descriptive** d'évaluation de la fraîcheur. Elle repose sur un barème officiel de cotation de la fraîcheur en 4 classes : Extra, A, B et non admis (retirés de la consommation). Il est instauré pour les poissons issus de la pêche par le *Règlement (CE) n°20406/96 du conseil du 24 novembre 1996 fixant des normes communes de commercialisation pour certains produits de la pêche*^[117] qui dispose quels sont les critères à évaluer et de quelle manière déterminer l'appartenance à chaque classe. Parisi et al. (2002) utilisent cette méthode avec des notes inversement proportionnelles au niveau de qualité pour chaque critère (3,2,1,0). 0 est donc la meilleure note^[118]. Il y a parfois des grilles qui inversent le système de notation (0 correspond alors à la plus mauvaise note) (cf. Annexe 2).

b) Les tests triangulaires : un exemple de test discriminatif

La méthode de test triangulaire est décrite par la norme ISO 4120:2004^[119]. C'est un test permettant de prouver l'existence d'une différence ou d'une similitude perceptible entre deux produits. Elle repose sur un choix forcé où chaque testeur doit désigner parmi 3 échantillons, dont deux sont identiques, celui qui lui semble être différent^[116].

c) Difficultés de l'analyse sensorielle

Ce type d'évaluation nécessite des infrastructures spécifiques, et des testeurs formés, ils doivent être familiers d'un vocabulaire spécifique défini par la norme ISO 5492:2008^[120]. Ces testeurs doivent être en nombre important. Une attention particulière doit être portée à avoir un environnement neutre lors des tests pour gommer au maximum l'effet des à priori individuels etc.^[116]. Les chambres de test doivent respecter la norme ISO 8589:2007^[121]. Aussi, le coût financier est-il élevé et ces procédures sont chronophages^[118]. Plusieurs dizaines d'heures de formation seraient nécessaires à la bonne préparation d'un panéliste^[122]. L'analyse sensorielle discriminative est réalisée dans plusieurs publications sur l'abattage et la qualité^[123-125] avec plus ou moins de rigueur ce qui illustre bien la difficulté qu'il y a à la mettre en œuvre. Pour l'évaluation sensorielle de la texture par exemple, Hyldig et Nielsen (2001) insistent sur la nécessité d'un entraînement parfait des testeurs^[126].

D'autres outils ont été développés et complètent voire remplacent ces analyses sensorielles coûteuses. Nous disposons aujourd'hui d'outils comme l'analyse texturale, la mesure du stock

d'adénosine triphosphate (ATP²³) et de ses métabolites, la concentration totale de bases volatiles (ABVT), de triméthylamine (TMA), le pH ou encore l'analyse des populations bactériennes. Tous ces éléments ont une évolution corrélée à la durée de conservation et à la fraîcheur du poisson, rapportent Parisi et al. (2002)^[118].

2) Les analyses objectives de la qualité

Le pH, les processus autolytiques puis la dégradation par les bactéries sont autant de facteurs dont nous interrogeons le lien avec la méthode d'abattage, avec le stress engendré à ce moment-là et dans les instants qui précèdent. Les indicateurs de qualité (trous de la chair, évolution de la rigidité cadavérique, dureté, cohésion, indicateurs de fraîcheur, amines biogènes ou encore produits d'oxydation) sont aussi des indicateurs de stress^[86].

a) Apparition de la *rigor mortis* conjointement à l'évolution du pH

Nous l'avons déjà évoqué, pour les Japonais, la rigidité cadavérique (*rigor mortis*) et le moment de sa survenue sont un critère majeur de qualité du poisson. Harada (1988) revendique une prolongation du stade pré-*rigor* de 10 à 20 heures par la pratique de l'Ikejime. Il évoque les poissons « Shime », des poissons sur lesquels l'Ikejime a été réalisé mais dont le délai d'acheminement est si long que le poisson arrive en état de *rigor mortis* au marché. Par opposition au poissons dits « Shime », les poissons dits « Iki » sont en pré-*rigor* ; ils sont considérés comme encore « vivants » car les muscles auraient une activité enzymatique similaire à celle d'un poisson non mort (c'est ce qui est revendiqué)^[127]. Cette préoccupation pour la *rigor* n'est pas une spécificité japonaise. Elle conditionne aussi la possibilité de travailler le poisson plus ou moins vite après la pêche ou l'achat^[17,68]. Que savons-nous en réalité de la *rigor mortis* ?

i. La *rigor mortis*

C'est le premier événement visible de l'évolution du poisson après l'abattage. Elle survient quand le stock d'ATP passe sous un certain seuil et est due à l'instauration de liens moléculaires plus stables entre actine et myosine. Huss dans son ouvrage *La qualité et son évolution dans le poisson frais*(1999) définit la *rigor mortis* chez le poisson comme l'état de rigidité cadavérique produit par la contraction de ses muscles qui est atteint (en temps normal) quelques heures après la mort^[128]. Cet état fait suite à une phase où la chair est élastique et souple. Y succède une phase où le poisson est à nouveau souple mais a perdu un peu de cette élasticité. Le moment d'installation de la *rigor mortis* dépend de nombreux facteurs comme **l'espèce**, la **taille** et la **condition physique** du poisson et les manipulations qu'il a subies^[128,129].

Le temps d'installation de la *rigor mortis* est dépendant de la température du milieu mais semble-t-il aussi surtout de la différence de température entre l'eau et l'environnement de conservation du poisson *post mortem*. Le délai d'installation de la *rigor* est réduit quand la différence est importante et inversement. Huss (1999) confirme que le stock de glycogène avant la mort est déterminant et que la *rigor* apparaît immédiatement sur un poisson épuisé, ayant consommé ce glycogène trop largement^[128]. Les stress de surpopulation, de refroidissement brutal pendant 1h avant la mort, ou de mort par refroidissement brutal seul sont associés à des modifications majeures de la *rigor mortis* (comme du pH et du glycogène musculaire, cf. p. 61) ce qui souligne l'importance du stress dans la détermination de la vitesse d'installation de la *rigor post mortem*^[102]. S'appuyant sur les travaux de Borderias et al. (2011), Escudero (2018) indique que l'entrée dans une phase de respiration anaérobie avant la mort implique une diminution de la synthèse d'ATP. Cela implique une baisse du stock d'ATP disponible *post mortem* et accélère la

23 L'adénosine triphosphate est une molécule, une sorte de solution de transfert d'énergie dans les cellules. Ce nucléotide peut libérer de l'énergie par la destruction exergonique de ses liaisons phosphodiester.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

survenue de la *rigor mortis*^[8,11,111]. Pour ces raisons la méthode d'abattage est aussi déterminante de la vitesse d'installation de la *rigor* (cf. figure 3 et tableau IX).

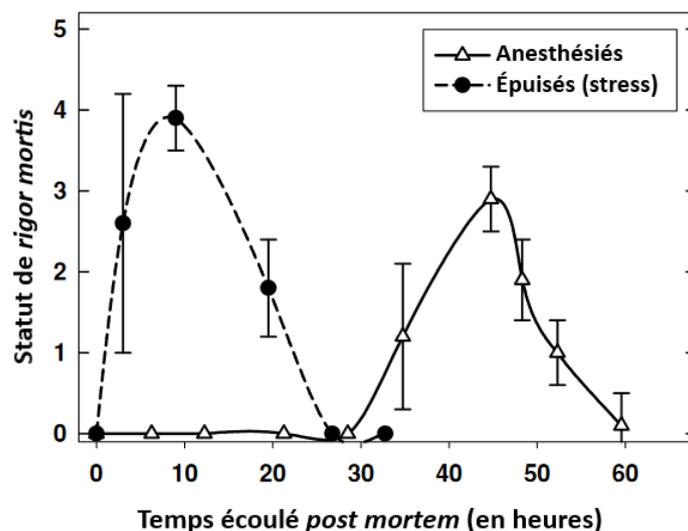


Figure 2 : Apparition des contractions de rigor mortis dans des filets de saumons atlantiques conservés sur glace, anesthésiés ou stressés ©Erikson et Misimi (2008). Moyenne \pm Erreur standard (n = 7).

Tableau IX : Apparition et durée de la *rigor mortis* variable selon l'espèce et le stress *ante mortem* ©Huss (1999)^[128].

Espèce	Condition	Température (°C)	Temps entre la mort et l'apparition de la rigidité cadavérique (en heures)	Temps entre la mort et la fin de la rigidité cadavérique (en heures)
Cabillaud (<i>Gadus morhua</i>)	Fatigué	0	2-8	20-65
	Fatigué	10-12	1	20-30
	Fatigué	30	0,5	1-2
	Au repos	0	14-15	72-96
Carrelet (<i>Pleuronectes platessa</i>)	Fatigué	0	7-11	54-55
Carpe (<i>Cyprinus carpio</i>)	Fatigué	0	1	NR
	Au repos	0	6	
Tilapia bleu (<i>Oreochromis aureus</i>)	Fatigué	0	1	NR
	Au repos	0	6	

NR : non renseigné

Outre le stress, l'espèce est aussi un facteur déterminant^[128]. La vitesse d'apparition de la *rigor mortis* renseigne immédiatement sur la qualité de la viande après la mise à mort^[101]. C'est un paramètre très utile de la détermination de l'état des réserves, et de l'importance du stress enduré avant la mort. Nous allons constater qu'il en va de même pour le pH qui est très lié à la *rigor*^[129,130].

ii. Le pH et les lactates

Selon Erikson et Misimi (2008) l'évolution du pH est capitale dans l'instauration de la *rigor mortis*, les deux processus étant liés^[131]. Cela s'illustre bien par la relation qui existe entre pH et fin de la *rigor mortis* selon Jerrett et Holland : la fin de la *rigor* se fait toujours avec l'atteinte d'un bas plateau de pH à 6,2-6,3^[132]. La gamme d'évolution du pH *post mortem* est variable selon les espèces et oscille communément entre 5,4 et 7,2. Même si les changements de pH sont souvent mineurs, ils ont une importance cruciale dans l'évolution des caractéristiques de la viande. C'est un facteur important influençant la texture de la viande et le seuil de rupture des tissus^[131]. Selon plusieurs auteurs un pH d'environ 6,6 correspond à l'apparition de la *rigor* de manière systématique (du moins c'est le cas chez *Oncorhynchus tshawytscha* et *Cyprinus carpio*) (cf. figure 3)^[110,132,133].

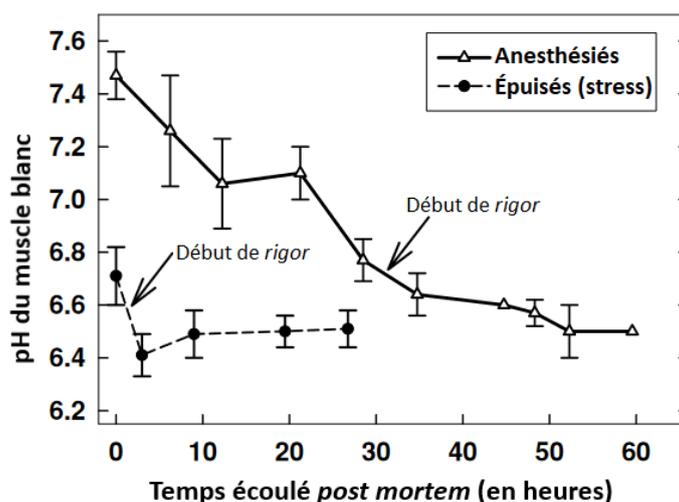


Figure 3 : Evolution du pH dans des filets de saumons atlantiques conservés sur glace, anesthésiés ou stressés ©Erikson et Misimi (2008). Moyenne \pm Erreur standard (n = 7).

Immédiatement après la mort, le pH connaît une réduction due à la concentration en **acide lactique** par la métabolisation anaérobie du glycogène musculaire^[134]. Les **lactates musculaires** sont donc, eux aussi, très intéressants à mesurer. Nous constatons que le pH est lui aussi intimement lié au stress comme l'a déjà suggéré Skjervold^[102]. Le pH est plus élevé chez les poissons reposés que les poissons épuisés par l'activité physique. L'évolution se fait vers un même pH final mais les poissons avec un fort pH au départ, peu stressés, débutent l'évolution *post mortem* avec des valeurs plus hautes^[132]. Parfois un stress *ante mortem* (suivi de la congélation) donne lieu à une texture raffermie avec une viande d'aspect « Dark, Firm and Dry »²⁴ à cause d'un pH terminal élevé. Ceci à cause d'un stress initial ayant entraîné une déplétion du stock de glycogène disponible dans le *post mortem*^[102]. Il a été mis en évidence expérimentalement que le jeûne modifie aussi le pH^[131]. Enfin, certains travaux attestent d'une remarquable corrélation entre le pH et la fraîcheur du poisson^[135].

Le pH musculaire est bien un indicateur de qualité, visiblement **très lié au stress** qu'il est nécessaire d'évaluer pour **comparer les méthodes d'abattage**. Il se mesure soit avec une électrode

24 C'est l'expression anglo-saxonne consacrée pour désigner le défaut technologique des viandes excessivement **dures, fermes et sèches**.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

directement plongée dans la viande du poisson, soit avec de la chair mise en suspension dans l'eau distillée^[116].

Le pH oculaire est parfois utilisé en complément du pH musculaire^[101,136]. D'autres paramètres comme la **couleur de la viande, la texture, la rétention d'eau spontanée** ou à la cuisson sont de bons marqueurs de la qualité du poisson qui reflètent la méthode d'abattage utilisée^[129].

b) Analyse texturale

Le but est de déterminer les propriétés rhéologiques de l'échantillon et de voir si ses propriétés sont modifiées par la technique d'abattage mise en œuvre, l'imposition d'un stress particulier, etc.

Quand nous parlons de qualité, il semble logique de chercher à déterminer les propriétés rhéologiques de l'aliment face à la mastication humaine. Le test le plus pertinent à cet égard est le test d'analyse du profil textural, « Texture profil analysis » (TPA) en anglais. C'est un test qui consiste à appliquer deux séquences compression-relâchement à un échantillon^[137,138]. Un mobile vient comprimer l'échantillon contre un support fixe indéformable (cf. figure 4) avec une vitesse prédéterminée (1 mm/s fréquemment^[139]) jusqu'à obtenir le taux de déformation souhaité^[138].

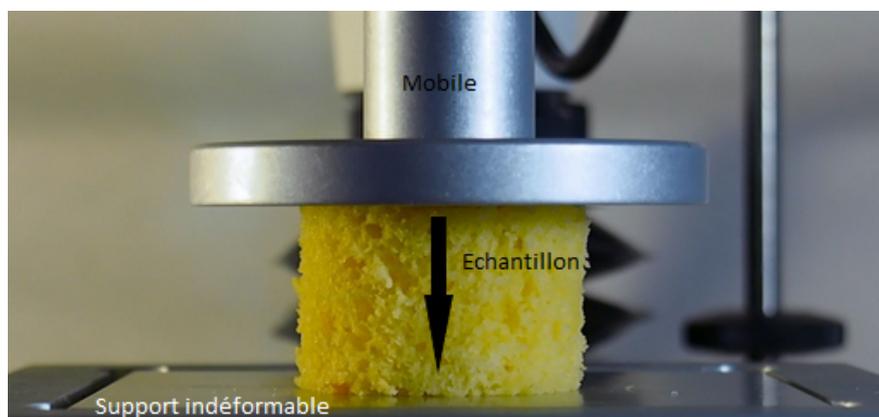


Figure 4 : Exemple de mobile de déformation pour réalisation d'un TPA image ©texturestechnologies.com – Le sens et la direction de la compression sont donnés par la flèche noire.

Les niveaux de compression couramment utilisés sont très variables, 5-40-90 % (en pourcentage de déformation). Le TPA permet de déterminer la dureté de l'échantillon, sa fracturabilité (1ère rupture du matériau), son adhérence aussi appelée « collant », d'évaluer sa cohésion (liens internes liés à la structure du produit)^[138,140,141], etc.

Il existe d'autres tests qui peuvent être mis en œuvre comme la compression simple. Mais selon l'article de Parisi et al. (2002)^[118] ce ne sont pas des indicateurs adaptés pour mettre en évidence des changements texturaux en lien avec la fraîcheur. Il semble que ces indicateurs sont plus influencés par la méthode de stockage. Selon certains travaux le TPA a l'avantage de donner des résultats corrélés à l'analyse sensorielle^[118].

c) Le pouvoir de rétention d'eau

Aussi appelé PRE, le pouvoir de rétention d'eau est la capacité de la chair à retenir les molécules d'eau, l'humidité dans ses tissus. Les protéines dénaturées, avec une charge électrique diminuée, retiennent moins bien l'eau. C'est la conséquence de la baisse du pH^[128].

d) Les évolutions biochimiques de la chair après la mort

La chair va commencer à se dégrader immédiatement après la mort en parallèle de l'installation plus ou moins rapide de la *rigor mortis*. Tous les mécanismes normaux sont

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

irréremédiablement déstabilisés et l'homéostasie corporelle est rompue pour laisser la place au désordre moléculaire. La décomposition du poisson va commencer quoi qu'il arrive. Peut-être plus ou moins lentement selon la méthode d'abattage et l'état du poisson dans le *post mortem* immédiat mais l'état final sera le même.

Cette décomposition est le fruit de deux grands types de procédés : L'autolyse (sorte d'autodestruction par les propres enzymes du poisson) et l'altération bactérienne. Ces deux mécanismes se superposent dans le temps mais Huss (1999)^[128] indique que c'est l'autolyse qui est principalement responsable des premiers changements de la chair. En effet, celle-ci est d'abord stérile ou pauci-contaminée puisque le système immunitaire, la barrière physique de la peau, du tube digestif, etc. préviennent normalement la contamination bactérienne pendant la vie. Il faut un certain temps pour que les bactéries infiltrent les tissus et s'y multiplient pour affecter significativement le processus de dégradation et finir par prendre le pas sur l'autolyse.

Il n'est pas utile de revenir en détail sur la multitude de réactions à l'œuvre lors de l'autolyse mais nous présentons dans le tableau X un résumé des enzymes impliquées, des modifications engendrées et les manières de les prévenir.

Tableau X : Résumé des changements autolytiques dans le poisson réfrigéré ©Huss(1999)^[128].

Enzyme(s)	Substrat	Modifications produites	Prévention/inhibition
Enzymes glycolytiques	Glycogène	Production d'acide lactique, chute du pH des tissus, perte de la capacité de rétention d'eau du muscle. La rigor à haute température peut produire des déchirures.	Nous devons laisser le poisson franchir la <i>rigor</i> à des températures aussi proches que possible de 0 °C. Le stress <i>pre-rigor</i> doit être évité.
Enzymes autolytiques impliqués dans la dégradation des nucléotides	ATP ADP AMP IMP ²⁵	Perte du goût de poisson frais, production progressive d'amertume avec Hx ²⁶ (étapes suivantes).	Comme ci- dessus une manutention brutale et l'écrasement précipitent l'altération.
Cathepsines	Protéines, peptides	Ramollissement des tissus rendant le traitement difficile ou impossible.	Manutention brutale au stockage et au déchargement.
Chymotrypsine, trypsine, carboxy-peptidases	Protéines, peptides	Autolyse des parois abdominales chez les pélagiques (éclatement).	Problème amplifié par les congélations/décongélations ou un stockage prolongé au froid.
Collagénases	Tissu conjonctif	«Déchirures» des filets Ramollissement.	Dégradation du tissu conjonctif en fonction des durée et température de stockage au froid.

25 ADP, AMP, IMP signifient respectivement Adénosine diphosphate, monophosphate et Inosine monophosphate.

26 Hx : Hypoxanthine

Enzyme(s)	Substrat	Modifications produites	Prévention/inhibition
OTMA-Déméthylase	OTMA ²⁷	Durcissement des gadidés congelés dû au formaldéhyde.	Conserver le poisson à une température inférieure à -30 °C. Mauvais traitements physiques et congélation/décongélation accélèrent le durcissement dû au formaldéhyde.

À la lecture de ce tableau, il est aisé d'imaginer, qu'en théorie, une mesure de l'évolution des concentrations des substrats de ces réactions autolytiques doit pouvoir renseigner sur la rapidité et l'intensité des processus autolytiques, autrement dit sur l'évolution de la fraîcheur du poisson. Nous allons le détailler pour ceux qui sont effectivement souvent mesurés à cette fin.

e) L'ATP et ses métabolites

Comme nous venons de le voir l'adénosine triphosphate (ATP) et ses métabolites sont impliqués dans les processus d'autolyse du poisson. Mais nous devons aussi détailler son rôle dans la perception du **goût umami** par certaines personnes. Nous savons que la quantité d'ATP dans les muscles est en cause dans le développement de ce dernier car ce sont ses métabolites qui sont détectés quand nous percevons cette saveur. Le récepteur membranaire qui perçoit l'umami est activé par le L-glutamate monosodique (GMS). Cette activation par le GMS est largement catalysée par l'inosine monophosphate (IMP) et la guanosine monophosphate (GMP). Ce récepteur spécifique, chimère des récepteurs T1R1 et T1R3, est indépendant de la perception du salé^[142,143]. Nous verrons que l'Ikejime est réputé renforcer le développement de ce goût dans le poisson^[15,144], l'intérêt à suivre les concentrations en ATP et ses métabolites est donc double. Les réactions de transformation de l'ATP sont décrites dans la figure 5.

27 Oxyde de triméthylamine (OTMA) : est une molécule présente chez beaucoup de poissons téléostéens d'eau de mer chez lesquels elle régule les phénomènes osmotiques, c'est un « osmorégulateur ». Elle est souvent dégradée par les bactéries mais certains poissons possèdent l'OTMA-déméthylase.

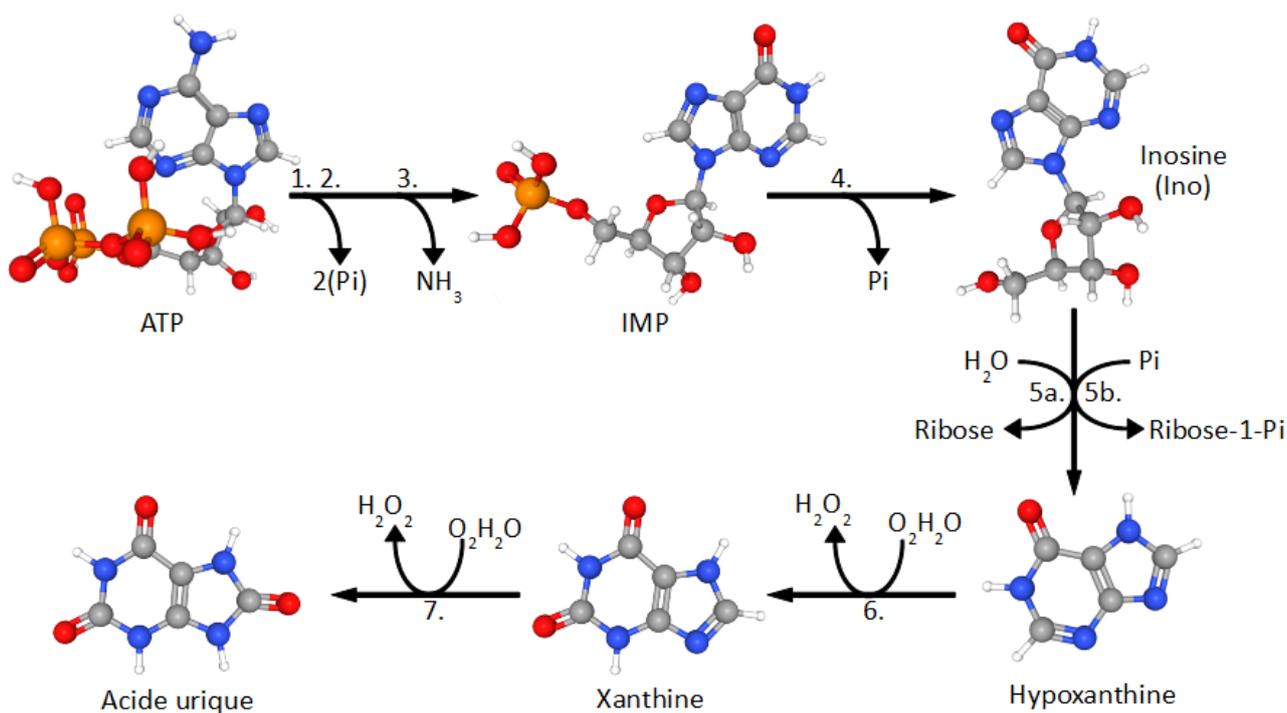


Figure 5 : Dégradation de l'ATP dans le muscle du poisson post mortem d'après Huss (1999) et PubChem. Les enzymes sont : 1. ATP-ase ; 2. Myokinase ; 3. AMP-désaminase; 4. IMP-phosphohydrolase ; 5a. Nucléoside phosphorylase ; 5b. Inosine nucléosidase ; 6. 7. Xanthine oxydase.

Ces réactions de transformation produisent de l'ammoniac, de l'IMP, de l'inosine (Ino)²⁸, de l'hypoxanthine (Hx), de la xanthine (Xa) et de l'acide urique. La perte des liaisons phospho-diester peut aussi conduire à la formation d'ADP et d'AMP.

Il suffit donc de déterminer les concentrations de ces composés pour se faire une idée de la consommation d'énergie juste avant la mort (ces concentrations sont souvent exprimées en $\mu\text{mol/g}$). Nous comprenons que plus le temps passe et plus l'autolyse progresse, plus le stock d'Ino et d'Hx augmente à mesure que l'ATP et l'IMP sont consommés. Il est possible de se faire une idée de la chance d'obtenir un goût umami prononcé. Et enfin, l'étude des concentrations de ces substances donne une idée de l'évolution de la fraîcheur du poisson. C'est pour évaluer cela de manière synthétique que la « K-value » a été mise au point. Ce sont les concentrations cumulées d'Ino et d'Hx rapportées au total des concentrations des molécules de cette chaîne réactionnelle. Huss^[128] la définit avec la formule ci-dessous :

$$\text{K-value} = \frac{[\text{Ino}] + [\text{Hx}]}{[\text{ATP}] + [\text{ADP}] + [\text{AMP}] + [\text{IMP}] + [\text{Ino}] + [\text{Hx}]} \times 100$$

C'est celle-ci qu'emploient Mishima et al. (2005)^[145]. D'autres auteurs utilisent une version différente dont la formule s'écrit :

28 La littérature utilise aussi l'abréviation HxR.

$$K\text{-value} = \frac{[\text{Hx}] + [\text{Ino}]}{[\text{Hx}] + [\text{Ino}] + [\text{IMP}]} \times 100$$

Le principe reste le même, **plus la K-value est élevée plus la dégradation est avancée, moins le poisson est frais**^[128]. La K-value est un bon indicateur de fraîcheur et le simple rapport **ATP/IMP** est informatif selon Acerete et al. (2009)^[10].

Un autre indicateur est aussi fréquemment utilisé : le ratio de la charge d'énergie adénylée (AEC²⁹). Selon Zampacavallo et al. (2015)^[136] elle est définie par la formule :

$$AEC = \frac{0,5 \times [\text{ADP}] + [\text{ATP}]}{[\text{AMP}] + [\text{ADP}] + [\text{ATP}]}$$

Comme les concentrations en ATP, IMP et HxR, le ratio AEC est un indicateur de qualité de la viande dans le *post mortem* immédiat^[101]. En plus des facteurs ATP, ADP, IMP, Ino et Hx utilisés mélangés dans l'AEC, le rapport ATP/IMP, la K-value ou indépendamment les uns des autres, il y a encore d'autres indicateurs pertinents de fraîcheur du poisson : les amines, l'ammoniac (NH₃), la triméthylamine (TMA), la diméthylamine (DMA), les composés de peroxydation, etc.^[10,101]. Il ne faut pas ignorer que l'Ino et l'IMP sont aussi des substrats pour les bactéries qui prendront part, tôt ou tard, à la dégradation. En l'occurrence avec ces deux composés elles produiront de l'Hx^[128]. Ces facteurs qui évoluent beaucoup avec l'autolyse n'en sont donc pas spécifiques pour autant.

f) Évaluation des phénomènes oxydatifs.

Les poissons sont riches en acides gras polyinsaturés^[146]. Ces derniers peuvent amorcer une réaction d'auto-oxydation qui expose alors les chaînes lipidiques à l'oxydation par l'oxygène de l'air ambiant. Cette cascade de réactions aboutit à la formation de nombreux composés dont les aldéhydes. Certains de ces composés contribuent à la couleur jaunâtre qui imprègne la chair parfois. Les aldéhydes eux sont des composés réactifs à l'acide thiobarbiturique (SR-ATB³⁰)^[125]. Leur dosage permet d'évaluer le rancissement de la chair^[125].

Ke et al. (1984) ont proposé des seuils de rancissement avec leur technique de mesure spectrophotométrique du rancissement^[147] : Des concentrations de TBARS ≤ de 8 µmol/kg indiquent que le poisson n'est pas ranci. Entre 9 et 20 µmol/kg le poisson est légèrement ranci, enfin au-delà de 20 µmol/kg le poisson est trop ranci pour être accepté. Quelle que soit la fiabilité des ces seuils, les TBARS sont un des témoins d'une évolution négative de la qualité de la chair *post mortem*.

Il existe d'autres indicateurs mais ils sont peu utilisés pour les comparaisons des méthodes d'abattage et ne sont pas toujours corrélés directement aux propriétés sensorielles du poisson (par exemple l'Indice peroxyde qui rend compte de la formation de lipides hyperoxydés)^[116].

g) ABVT, TVB ou TVB-N

Derrière ces trois sigles fréquemment usités se cache une unique notion : l'azote basique volatile total en français. Il regroupe des molécules azotées, basiques et de faible poids moléculaire donc volatiles. L'ABVT se compose notamment de NH₃, TMA³¹, DMA et d'autres amines (R-NH₂). C'est un indicateur de l'altération du poisson, cette fois principalement par les bactéries. En effet la comparaison de poissons stériles et non stériles nous fait savoir que les composés volatils sont

29 De l'anglais Adenylate energy charge.

30 SR-ATB : Substance réactive à l'acide thiobarbiturique. Pour les anglo-saxons l'abréviation est : « TBARS » pour « Thiobarbituric acid reactive substances ».

31 Certaines publications dosent la « TMAO-N » ou « TMA-N » c'est l'oxyde d'azote de triméthylamine.

majoritairement produits par l'intervention des bactéries. L'OTMA est un précurseur de la TMA et de la DMA. Or, sauf exceptions, l'OTMA-déméthylase est l'apanage des bactéries et est peu présente dans les tissus^[128]. L'ABVT traduit l'hydrolyse des protéines en acides aminés à leur tour désaminés en ammoniac, en chaînes hydrocarbonées ou en amines volatiles (le plus souvent). Sa concentration est stable au début de la conservation. Ce sont le développement bactérien et certaines manipulations qui le font augmenter. C'est un indicateur des stades d'altération déjà avancés. Toutefois, comme évoqué à la lecture du tableau X, l'OTMA-déméthylase est suffisamment présente dans les tissus de certaines espèces (Gadidés³² par exemple) pour pouvoir modifier assez tôt la teneur en ABVT. C'est principalement lors de la congélation et sur des poissons peu précautionneusement manipulés que la DMA se forme conjointement au formaldéhyde par auto-altération chez ces espèces riches en OTMA-déméthylase. Il faut noter en revanche que les poissons plats et pélagiques contiennent moins d'OTMA que les cartilagineux (raies, requins)^[148].

C'est la TMA qui est la première responsable de l'**odeur ammoniacuée** présente chez certains poissons **altérés**^[128,148]. Nous pouvons noter que la méthode de conservation impacte la teneur en ABVT : un poisson conservé dans de la glace liquide subit un lessivage qui conduit à une diminution de l'ABVT. Les manipulations impactent aussi l'évolution de la teneur en ABVT. En effet plus le poisson est écrasé, tordu... plus les enzymes sont libérées, plus les bactéries peuvent infiltrer les tissus.

Une teneur en ABVT faible ne signifie pas pour autant que le poisson n'est pas altéré. Il faut donc impérativement utiliser cet indicateur conjointement à d'autres indicateurs de fraîcheur, de qualité organoleptique etc.^[148].

Il existe une réglementation pour les concentrations admissibles en ABVT, avec une valeur de 35 mg d'azote pour 100 g de muscle pour le saumon (*Salmo salar*) par exemple ou les Gadidés^[131,134,148]. Il est aussi estimé que les panels d'évaluation sensorielle rejettent les poissons conservés en aérobiose dont la teneur en TMA-N est au dessus de 10-15 mg de TMA-N pour 100 g de viande^[128].

h) La bactériologie

Nous avons pu mesurer l'importance des bactéries dans les changements qui vont toucher la chair du poisson et sa qualité. Ces changements liés aux bactéries sont des changements de deuxième garde. Ils s'installent plus tardivement que les processus autolytiques. La pénétration des bactéries depuis la peau où a lieu l'essentiel de leur portage dans la chair du poisson nécessite un peu de temps. La bactériologie, dans le cadre de l'évaluation de la fraîcheur, peut reposer sur l'analyse et le dénombrement de toutes les populations bactériennes confondues ou s'intéresser à dénombrer des micro-organismes ayant un rôle particulier^[118,128] dans l'altération ou la sécurité des denrées alimentaires. Le microbiote total du poisson est composé de nombreuses bactéries qui varient selon le milieu de vie, l'espèce, les pollutions locales^[149], etc.

Les bactéries responsables d'altération ne sont pas forcément majoritaires mais leur importance technologique, sur la durée de conservation ou les propriétés organoleptiques, est grande. Il est important de distinguer la microflore dominante pendant l'altération de la microflore qui réellement altère le poisson et qui ne représente bien souvent qu'une infime partie du total (cf. tableau XI).

32 C'est la famille du lieu jaune (*Pollachius pollachius*).

Tableau XI : Synthèse des populations bactériennes sur un cabillaud au moment de son altération dans diverses conditions de stockage *post mortem* ©Huss (1999)^[128].

Température de stockage	Atmosphère d'emballage	Flore bactérienne dominante	Bactéries spécifiques d'altération (BSA)
0 °C	Aérobie	Psychrotrophes Gram-négatif, bâtonnets incapables de fermentation (<i>Pseudomonas spp.</i> , <i>S. putrefaciens</i> , <i>Moraxella</i> , <i>Acinetobacter</i>)	<i>S. putrefaciens</i> <i>Pseudomonas</i> *
	Vide	Bâtonnets Gram-négatifs; psychrotrophes ou à caractère psychrophile (<i>S. putrefaciens</i> , <i>Photobacterium</i>)	<i>S. putrefaciens</i> <i>P. phosphoreum</i>
	EAM**	Bâtonnets capables de fermentation, Gram-négatif à caractère psychrophile (<i>Photobacterium</i>) Bâtonnets psychrotrophes incapables de fermentation (1 à 10 % de la flore, <i>Pseudomonas</i> , <i>S. putrefaciens</i>) Bâtonnets Gram-positif (BL***)	<i>P. phosphoreum</i>
5 °C	Aérobie	Bâtonnets psychrotrophes Gram-négatif; (<i>Vibrionaceae</i> , <i>S. putrefaciens</i>)	<i>Aeromonas spp.</i> <i>S. putrefaciens</i>
	Vide	Bâtonnets psychrotrophes Gram-négatif (<i>Vibrionaceae</i> , <i>S. putrefaciens</i>)	<i>Aeromonas spp.</i> <i>S. putrefaciens</i>
	MAP	Bâtonnets psychrotrophes Gram-négatif (<i>Vibrionaceae</i>)	<i>Aeromonas spp.</i>
20-30 °C	Aérobie	Bâtonnets capables de fermentation mésophiles Gram-négatif (<i>Vibrionaceae</i> , <i>Enterobacteriaceae</i>)	<i>Aeromonas spp.</i> mobile (<i>A. hydrophila</i>)

*Le poisson d'eau tropicale ou douce est surtout altéré par *Pseudomonas spp.* ; **EAM : Emballage sous atmosphère modifiée (CO₂) ; ***BL : Bactéries lactiques.

Les vitesses d'altération bactérienne sont très différentes d'une espèce de poisson à une autre, probablement à cause des différences qui existent entre leurs barrières cutanées respectives (épaisseur, film muqueux aux propriétés antibactériennes, etc.). Quand l'eau est celle d'un climat tempéré, la croissance bactérienne se fait sur un mode exponentiel quasiment dès la mort du poisson sans phase de latence. Nous pouvons chercher à quantifier l'évolution de ces populations bactériennes d'intérêt^[128]. Nous avons vu que les paramètres capitaux comme le pH, les concentrations en ATP, etc. sont impactés par la méthode d'abattage. Nous savons aussi que des manipulations brutales *post mortem* vont favoriser la colonisation des tissus par les bactéries en créant des lésions et en augmentant l'autolyse par libération des enzymes des cellules mortes, ce qui crée des zones où les bactéries peuvent se déplacer et se nourrir^[128]. Aussi il semble logique de voir dans quelle mesure ces modifications peuvent s'articuler avec la qualité bactériologique du poisson. **Certaines méthodes d'abattage sont elles meilleurs que d'autres ?** L'agitation, les contractions musculaires violentes associées à certaines méthodes ne peuvent-elles pas favoriser une accélération de la colonisation bactérienne du poisson, un développement accru de certaines

bactéries d'altération ? Comment étudier les flores bactériennes du poisson pour répondre à ces interrogations ?

Il existe de nombreuses techniques pour évaluer la qualité microbiologique des viandes en général et du poisson en particulier. Aujourd'hui, il est courant d'aller jusqu'à l'identification de plusieurs espèces bactériennes par les techniques de PCR³³ par exemple. Mais les cultures bactériennes sont encore un outil intéressant même s'il faut reconnaître leurs limites et contraintes (comme la durée d'incubation). Il est possible de mettre en œuvre des cultures de la flore totale, des bactéries d'altération, des bactéries pathogènes. La culture des bactéries de la flore mésophile totale est davantage un indicateur des pratiques d'hygiène sur le poisson, du respect de la chaîne du froid. Selon Huss, elle est rarement indicative des qualités organoleptiques ou texturales pour le consommateur. Pour cette culture de flore mésophile totale il y a deux types principaux de gélose. La gélose Plate count agar (PCA) et la gélose au fer dite « Iron agar ». Cette dernière gélose à l'avantage de renseigner aussi sur la quantité de bactéries productrices d'H₂S. C'est l'apanage de certaines bactéries d'altération comme *Swanella putrefasciens* et les *Virbrionaceae* lorsqu'elles consomment la cystéine^[116,128]. Il existe aussi des géloses uniquement dédiées à la culture spécifique des bactéries avec un rôle d'altération marqué. La gélose Céphalotine fusidine cétrimide (CFC) qui permet de faire des isolements présomptifs de *Pseudomonas spp.* en est un exemple^[150-152]. Les géloses de ce type, aussi sélectives soient-elles, doivent s'accompagner de tests supplémentaires. Selon les géloses et les caractéristiques des bactéries recherchées, il faudra réaliser des isolements, des observations au microscope optique avec coloration de Gram, des tests rapides (lysine fer agar, oxydase, catalase, uréase, test au citrate, test de réduction indole sulfure, détermination de la motilité bactérienne, de la production d'indole et de la décarboxylation d'ornithine avec un test motilité-indole-ornithine, etc.)^[149].

Les prélèvements pour bactériologie se font de plusieurs façons : soit par rinçage de l'échantillon dont il faut étudier la contamination, soit par stomachage (broyage dans une solution) ce qui est la technique la plus fréquente^[150]. Cette technique serait la meilleure pour récupérer les communautés microbiennes mais il faut détruire l'échantillon^[150,151]. Dans le cas du poisson il peut s'agir d'étudier la flore de la chair avec^[149] ou sans la peau^[153].

C- Conclusion

Les paramètres de qualité sont souvent liés à certains marqueurs de stress et corrélés de façon positive^[129,130]. La qualité augmente avec la diminution du stress.

Nous avons souligné l'importance de l'évaluation de l'intensité mais aussi de la durée des souffrances pour avoir une évaluation complète de la notion de souffrance à l'abattage.

III- Les méthodes d'abattage classiques et les défauts propres à chacune

A- Méthodes d'abattage pour la pêche et l'aquaculture en France et en Europe

1) Les techniques d'abattage et d'étourdissement du poisson en France et en Europe

Nous ne pouvons pas parler de l'Ikejime sans évoquer les autres méthodes qui sont utilisées par les pêcheurs et les aquaculteurs pour mettre à mort les poissons. Le tableau XII présente la liste des techniques les plus fréquemment utilisées pour la pêche ou l'aquaculture.

33 PCR : réaction de polymérisation en chaîne de l'ADN, de l'anglais Polymerase chain reaction. Des séquences génétiques spécifiquement recherchées par des amorces artificielles sont multipliées.

Tableau XII : Synthèse des différentes méthodes d'abattage du poisson en France et en Europe.

Nom de la méthode	Principe (définition et cause de la mort).	Étourdissement seul	Étourdissement + Mise à mort	Mise à mort seule	Pêche (P) Aquaculture (A) (± espèces principalement concernées)	Références
Asphyxie	Hors de l'eau. Les ouïes se collapsent en grande partie lors de la sortie de l'eau ce qui rend les échanges avec l'air impossible et conduit à une privation des tissus en dioxygène.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Truite	[30] [92] [10] [68] [13]
Asphyxie sur glace ou dans une boue de glace	Si la température est proche de 0 °C c'est le choc thermique voire la congélation qui entraîne la mort par un ralentissement/arrêt des fonctions vitales comme la circulation sanguine et l'oxygénation que cette dernière assure (nous pouvons parler d' engourdissement + congélation). La température de congélation du plasma (plus élevée que celle de la mort ($p < 0,05$)) est corrélée à la température provoquant la mort ($p < 0,01$) et à la [Cl ⁻] ($p < 0,01$). <i>NB</i> : Une température de -0,75 °C en présence de glace est létale pour la truite arc-en-ciel puisqu'elle cause sa congélation.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Saumon, flétan, bar, daurade royale, truite, poisson-chat, turbot	[30] [11] [154] [68] [10] [155] [156]
	Si la température est trop élevée proche de 8 °C et plus c'est davantage une asphyxie avec peu ou prou une « anesthésie » par le froid d'après Hovda et Linley (2000) (nous pouvons parler d' engourdissement) selon la température et l'espèce.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Saignée	Hors de l'eau ou dans l'eau. Il s'agit de couper une ou plusieurs artères branchiales en sectionnant les arcs branchiaux. La mort survient par la perte de sang et l'asphyxie accentuée par les débattements du poisson ou sa nage dans l'eau.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Turbot, saumon, truite, cabillaud,	[30] [68] [11]

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Nom de la méthode	Principe (définition et cause de la mort).	Étourdissement seul	Étourdissement + Mise à mort	Mise à mort seule	Pêche (P) Aquaculture (A) (± espèces principalement concernées)	Références
	<i>NB</i> : 1) La saignée peut être utilisée en plus d'une méthode d'étourdissement (sens strict) pour donner la mort. 2) La saignée peut aussi être utilisée en plus d'une autre méthode de mise à mort pour des raisons technologiques de préservation de la qualité (cf. p. 83).				turbot	
Narcose au CO₂	Dans l'eau. Les pressions partielles en CO ₂ dissous dans l'eau sont telles que celles du sang sont aussi modifiées, le pH sanguin des sujets exposés diminue et le CO ₂ agit comme une substance toxique sur le cerveau, ce qui produit l'inconscience puis la mort.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Truite , saumon	[30] [155] [68] [157]
Mélange de l'engourdissement par le froid et bain de CO₂	Méthode mixte (cf. définitions des deux méthodes). L'effet et les causes de la mort sont aussi variables que la température, les concentrations en CO ₂ ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Saumon atlantique	[30]
Narcose au N₂ ou bain anoxique	Suggérée en 2006 par Wills et al., cette technique se fait aussi dans l'eau. C'est probablement davantage une mort par asphyxie de remplacement contrairement au CO ₂ . L'O ₂ est remplacé par un autre gaz qui de fait tue le poisson par manque de dioxygène disponible pour la respiration comme chez l'homme travaillant dans certains espaces confinés. Il est aussi possible de juste dégazer de l'eau sans remplacer l'O ₂ par un autre gaz. Là encore c'est l'asphyxie qui tue.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Anecdotique	[30] [68] [158] [159]
Éviscération	Hors de l'eau. La mort est causée par une combinaison de la saignée et de l'asphyxie, parfois aussi par le retrait du cœur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> P Morue, hareng, turbot, plie <input type="checkbox"/> A	[30]

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Nom de la méthode	Principe (définition et cause de la mort).	Étourdissement seul	Étourdissement + Mise à mort	Mise à mort seule	Pêche (P) Aquaculture (A) (± espèces principalement concernées)	Références
Décapitation ou Coup de couteau dans la nuque	Hors de l'eau ou dans l'eau. Section de la moëlle épinière + vaisseaux sanguins notamment aorte ventrale/cœur ce qui produit une saignée.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Anguille	[160] [157] [13]
Fracture de la colonne vertébrale	Hors de l'eau. Il s'agit, dans le cas des petits poissons, de plier vigoureusement le poisson en deux à l'extrême pour fracturer sa colonne vertébrale et détruire sa moëlle épinière.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> A	[161]
Anesthésie (± autre méthode)	Dans l'eau avec de l'isoeugénol (AQUI-S® New Zealand, Ltd.), ou du mésylate de tricaine (MS-222®) avant mise à mort par une autre méthode comme le « spiking » (décérébration seule avec un pistolet à ressort type Ikigun® (cf. p. 82)). La molécule traverse la barrière membranaire des cellules branchiales grâce à sa lipophilie. Elle induit une déconnexion du système nerveux central et une dépression respiratoire. Sa résorption et son élimination sont rapides. Interdite en Europe pour l'abattage, l'anesthésie est pratiquée dans certains pays pour les saumons (Nouvelle-Zélande et Australie) avec le AQUI-S™ (isoeugenol 50 %) à la dose de 15-20 mg/L d'eau (dose d'après le fabricant et Erikson et Misimi (2008)).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Saumon en Nouvelle-Zélande et Australie	[30] [162] [163] [110]
Commotion cérébrale	Hors de l'eau. Le coup sur le crâne provoque une brusque transmission de l'accélération de l'objet administrant le coup au cerveau qui tape contre l'intérieur de la boîte crânienne. S'ensuit une brutale modification à la hausse puis à la baisse de la pression intracrânienne. La circulation sanguine est complètement perturbée du fait des dommages infligés aux vaisseaux et	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Saumon, carpe commune, truite, flétan, cabillaud,	[30] [62] [13] [157] [68]

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Nom de la méthode	Principe (définition et cause de la mort).		Étourdissement seul	Étourdissement + Mise à mort	Mise à mort seule	Pêche (P) Aquaculture (A) (± espèces principalement concernées)	Références
	<p>aux tissus nerveux. Le cerveau connaît un dysfonctionnement majeur qui peut se prolonger plus ou moins selon que l'approvisionnement en oxygène est irrémédiablement et significativement altéré.</p> <p>Cette technique peut se réaliser d'une infinité de manières : soit manuellement avec un coup sur la tête, soit en tenant le poisson immobile et en commotionnant son crâne avec un objet (avec un assommoir spécifique en plastique ou en bois, avec un objet artisanal), soit en frappant le poisson contre un objet immobile (coque du bateau, caisse à marée) ou avec des appareils automatiques qui percutent la tête du poisson.</p> <p>Une commotion cérébrale réussie donne lieu à une immobilisation immédiate, un arrêt des mouvements operculaires, une ouverture de la bouche, une perte des réflexes oculaires et une contraction/renflement de courte durée de la ceinture musculaire autour de la nageoire pectorale.</p>					poisson-chat	[62]
Balle de pistolet dans le cerveau	Hors de l'eau ou dans l'eau. Une balle de pistolet ou de fusil est tirée dans le cerveau du poisson pour le détruire et ainsi causer l'inconscience et la mort.		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Thon	[30] [157]
Électronarcose réversible ou irréversible (électrocution en anglais)	Dans l'eau. Provocation d'un état semblable à la crise épileptique (visible à l'ECG) voire un arrêt complet du fonctionnement cérébral induisant l'inconscience. Le poisson se fige et se rigidifie après quelques trémulations musculaires d'intensité modérée. Il n'y a plus de mouvements et le poisson se relâche progressivement. Pour les britanniques il y a une	Critères pour une inconscience effective : Plus de mouvements oculaires, petites trémulations musculaires,	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A Saumon, truite, carpe commune, anguille, poisson-chat	[30] [157] [155] [89] [68] [62] [64]

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Nom de la méthode	Principe (définition et cause de la mort).		Étourdissement seul	Étourdissement + Mise à mort	Mise à mort seule	Pêche (P) Aquaculture (A) (± espèces principalement concernées)	Références
	<p>distinction entre « électronarcose » (complètement réversible) et « électrocution » qui provoque la mort. L'électrocution provoque des dommages cérébraux irrémediables et met un terme au réflexe de respiration.</p> <p>Avec l'électronarcose c'est la prolongation de la durée et donc de l'inconscience qui conduit à un arrêt définitif du réflexe de respiration.</p> <p>Nous simplifierons la chose en parlant d'électronarcose réversible ou irréversible.</p>	<p>absence de mouvements operculaires, il n'a pas de réaction au pincement de la queue et , le poisson se retourne le ventre vers le haut.</p>					[63]
Électronarcose sèche ou semi-sèche réversible ou irréversible	<p>Le principe est le même mais le courant est imposé de manière élective au seul cerveau sur les poissons placés sous des électrodes sur un tapis roulant hors de l'eau. Il peut y avoir une vaporisation d'eau en plus pour augmenter la conductivité.</p>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> P <input checked="" type="checkbox"/> A	

NB : 1) L'électronarcose ne doit pas être confondue avec l'électro-immobilisation. Pratiquée dans l'eau, elle est davantage une technique de pêche que de mise à mort ou d'étourdissement. Un courant passé au travers d'une masse d'eau donnée attire les poissons vers une cathode. L'entrée dans la partie la plus forte du champ électrique immobilise totalement les poissons et permet leur capture en les faisant flotter à la surface de l'eau.

2) Il est possible que certaines méthodes ne soient pas explicitement décrites pour la pêche et l'aquaculture dans nos sources. Une case « A » ou « P » non cochée ne veut pas dire que la pratique n'existe pas ou plus (respectivement en aquaculture ou pêche), simplement nous n'avons pas pu la documenter, donc elle n'est pas indiquée.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Dans les années 2000 les méthodes les plus répandues d'étourdissement des salmonidés étaient la commotion cérébrale (synonyme de percussion), l'électronarcose ou l'étourdissement au dioxyde de carbone. En 2010 le passage dans l'eau glacée et/ou la saignée étaient encore pratiqués^[100] et en 2014 Gasco et al. estiment qu'elles faisaient même partie des principales méthodes d'étourdissement et d'abattage en aquaculture, aux côtés de l'asphyxie dans l'air, du CO₂, de l'électronarcose et de la commotion^[129]. Selon Giménez et al. (2020) l'exsanguination et la décapitation sans étourdissement préalable sont toujours pratiquées par l'aquaculture européenne (marine ou terrestre) pour certaines espèces. La commotion cérébrale (ou percussion), la narcose au CO₂ et l'électronarcose sont des pratiques courantes. Le tableau extrait de ce rapport fait un état des lieux de l'usage de ces méthodes pour les principales espèces commerciales en Europe.

Tableau XIII : Méthodes d'étourdissement et/ou d'abattage en usage pour les poissons en Europe en 2004 d'après l'Avis du groupe scientifique sur la santé et le bien-être animal (2004)^[42].

	Asphyxie	Boue de glace	Saignée	CO ₂	Électricité	Commotion cérébrale
Europe du nord						
Saumon atlantique	In	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Truite arc-en-ciel	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Flétan	In	Oui	In	In	Non	Oui
Morue (ou cabillaud)	Non	In	Oui	In	Non	Oui
Anguille	Non	Non	Non	Non	Oui	Non
Poisson-chat africain	In	Oui	In	Non	Oui	Oui
Europe du sud						
Daurade royale	In	Oui	Non	Non	Non	Non
Bar commun	In	Oui	Non	Non	Non	Non
Turbot	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non

In : Inconnu

Il faut noter que la liste dressée dans le tableau XII des méthodes d'abattage n'est pas nécessairement exhaustive. Elle donne une idée de la diversité des pratiques mais leurs déclinaisons sont nombreuses. Les mélanges entre ces techniques sont parfois mis en œuvre et ne sont probablement pas tous répertoriés ici.

B- Défauts propres à chaque méthode d'abattage classique

Robb et Kestin (2002) nous ont permis de dresser la liste des méthodes d'abattage. Ils divisent cette liste, en fonction de la vitesse à laquelle l'animal est rendu inconscient, en deux catégories : les méthodes lentes et les méthodes rapides (cf. tableau XIV). Par « rapide » les auteurs entendent les méthodes avec une perte de conscience immédiate^[30].

Tableau XIV : Méthodes lentes et méthodes rapides pour induire l'inconscience d'après Robb et Kestin (2002)^[30].

Méthodes rapides	Méthodes lentes
Commotion cérébrale	Asphyxie à l'air libre
Ikejime	Asphyxie + Engourdissement ± congélation vif
Balle de pistolet dans le cerveau	Saignée
Électronarcose humide	Narcose au CO ₂ ,
Électronarcose sèche ou semi-sèche	Narcose CO ₂ + Engourdissement par le froid ± congélation vif
	Narcose N ₂ ou Bain anoxique (dégazage)
	Éviscération
	Décapitation
	Anesthésie ± autre méthode

Nous pouvons ajouter deux autres méthodes lentes à cette liste. Le coup de couteau dans la nuque^[160] et la fracture de la colonne vertébrale^[161].

Les indicateurs du bien-être et de la qualité listés plus haut peuvent être mis en lien avec différentes méthodes de mise à mort lente et avec l'électronarcose. Ils permettent d'illustrer certaines spécificités de ces méthodes avant de faire des comparaisons.

1) Asphyxie dans l'air

Le temps nécessaire à la perte de conscience par asphyxie est élevé d'après Kestin et al. (1991)^[92]. Il montre aussi que la température de l'eau avant sortie du poisson pour l'asphyxie détermine la durée nécessaire à sa mort cérébrale. Une truite sortie d'une eau chaude mourra et perdra conscience plus vite qu'une truite sortie d'une eau froide (cf. tableau XV).

Tableau XV : Durée d'une asphyxie dans l'air de truites arc-en-ciel sorties d'eau à des températures différentes d'après Kestin et al. (1991)^[92].

Température de l'eau (°C)	2	14	20
Perte de la conscience (en minutes)	9,6	3,0	2,6
Perte des mouvements spontanés	3,3 heures	28 minutes	11 minutes

2) Engourdissement dans un bain de glace

Pour cette technique du bain de glace, qui repose sur un choc thermique et le ralentissement brutal du métabolisme du poisson, il faut normalement veiller à ce qu'il garde une température proche de 0 °C ou inférieure si le souhait est bien de tuer l'animal par choc thermique. Si la température est supérieure à 8 °C il s'agit en fait d'une asphyxie dans l'eau lente et douloureuse. De surcroît, cela affecterait la couleur, la texture et l'apparence du poisson^[11]. Un delta minimum de 10 °C entre la température de vie du poisson et celle du bain de glace est recommandée pour garantir l'efficacité du choc thermique. Malgré tout, il n'induit pas une perte de conscience immédiate^[157].

3) Asphyxie avec le CO₂

Le CO₂ dilué à saturation dans l'eau permet d'abattre les poissons en groupe, sans stress de capture, de manipulation et sans stress de sortie de l'eau. Mais l'absence de ce stress de sortie de l'eau est à relativiser car la saturation en CO₂ met en jeu les mécanismes de l'asphyxie et nous

pouvons supposer que le stress induit est pour partie le même. C'est ce que laisse penser la mise en évidence d'un comportement de stress évident chez les poissons exposés à cette méthode par Poli et al. (2004) ou encore Robb et al. (2000)^[90,101]. De plus, l'immobilisation provoquée par la toxicité du CO₂ ne signifie pas forcément que le poisson est inconscient, ce qui peut conduire à une éviscération ou saignée de l'animal encore conscient^[157].

4) Éviscération

Avec l'éviscération, des survies de l'ordre de 20 à 40 minutes ont été rapportées. La mort survient par asphyxie et ou exsanguination d'après Robb et Kestin (2002)^[30].

5) Décapitation, coup de couteau dans la nuque, fracture de la colonne vertébrale

Chez les anguilles il y a perte des VERs seulement au bout de 13 (\pm 3 min 25 s) après décapitation^[13,89]. Des résultats non publiés de Robb en 2000 font état de 27 min avant la perte des VERs chez les anguilles après décapitation. La conscience cérébrale pourrait donc être maintenue très longtemps après la décapitation. Les auteurs indiquent que cette méthode ne serait pas adaptée pour les autres espèces que les anguilles car la forme de leur corps rend son application difficile. En réalité cette technique est rapportée occasionnellement sur les poissons issus de la pêche^[30]. Nous manquons de données précises sur la fracture de la colonne et le coup de couteau dans la nuque pour savoir si leur effet est semblable (section/élongation des vaisseaux sanguins et de la moëlle épinière). À minima nous pouvons craindre que la mort cérébrale ne soit pas immédiate. Ces observations sur les anguilles ne suffisent pas à assurer que la décapitation apporte une mort cérébrale lente chez toutes les espèces de poissons. L'anoxie engendrée par l'arrêt de la circulation sanguine suite à la décapitation pourrait avoir un impact plus rapide sur d'autres poissons.

6) Anesthésie

L'anesthésie est davantage une méthode d'étourdissement qui précède une mise à mort par une autre méthode d'abattage (commotion cérébrale, décérébration par exemple)^[30]. C'est à ce titre que nous l'étudions ici. Mais la littérature fait peu cette distinction et les auteurs la classent volontiers dans les méthodes d'abattage. Elle pourrait être véritablement une méthode de mise à mort. C'est le cas en expérimentation animale où elle n'est pas nécessairement associée à aucune autre méthode et où la mort survient par surdosage^[164,165].

a) Un mauvais goût ?

Il existe un questionnement sur la possibilité que l'anesthésie par l'eugénol donne aux poissons un goût particulier. En effet, une saveur particulière donnée à la viande par l'anesthésie à l'eugénol et décrite comme « épicée » a été détectée par 8 panélistes dans une étude de Sorensen et al. (2004) impliquant 12, puis 10 poissons, pour cette méthode^[123]. Cependant les doses d'eugénol utilisées ne sont pas indiquées. Selon Sorensen le même constat a été fait chez le flétan de l'Atlantique (*Hippoglossus hippoglossus*). Cette observation semble cohérente avec les propriétés de l'eugénol, il est reconnu par ailleurs comme additif alimentaire ayant un goût « épicé et piquant »^[166].

b) Un moyen infaillible contre la souffrance ?

Même si l'anesthésie **bloque ou diminue l'activation de l'axe HPI**, Javaheri et al. (2012) estiment que la réduction de la durée d'induction est essentielle car l'induction peut engendrer un stress important. En effet, l'induction peut conduire à la **libération d'érythrocytes dans le sang**, une élévation du cortisol, des lactates, du glucose, du sodium et du chlore sanguin (chez les poissons d'eau douce). Ces modifications du ionogramme perturbent l'équilibre osmotique du sang

et font notamment gonfler les érythrocytes. Ces derniers peuvent alors bloquer les fins réseaux de capillaires sanguins des lamelles branchiales et **diminuer l'oxygénation du sang**^[115] comme probablement le relargage du CO₂.

Selon Simitzis et al., il existe aussi des différences de stress selon l'anesthésiant utilisé. Ils rapportent que le mésylate de tricaine (MS-222®) serait de nature à s'accompagner de comportements aversifs plus marqués lors de l'induction que l'isoeugénol (AQUI-S®)^[167]. Mais rien ne garantit que ces manifestations soient dans l'absolu la preuve d'une induction d'inconscience et d'une détresse moins forte. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'avoir une évaluation précise de l'état de conscience des animaux car l'absence de comportements intentionnels ne signifie pas l'abolition de la conscience comme l'ont montré Kestin et al. (2002)^[93] (cf. figure 6).

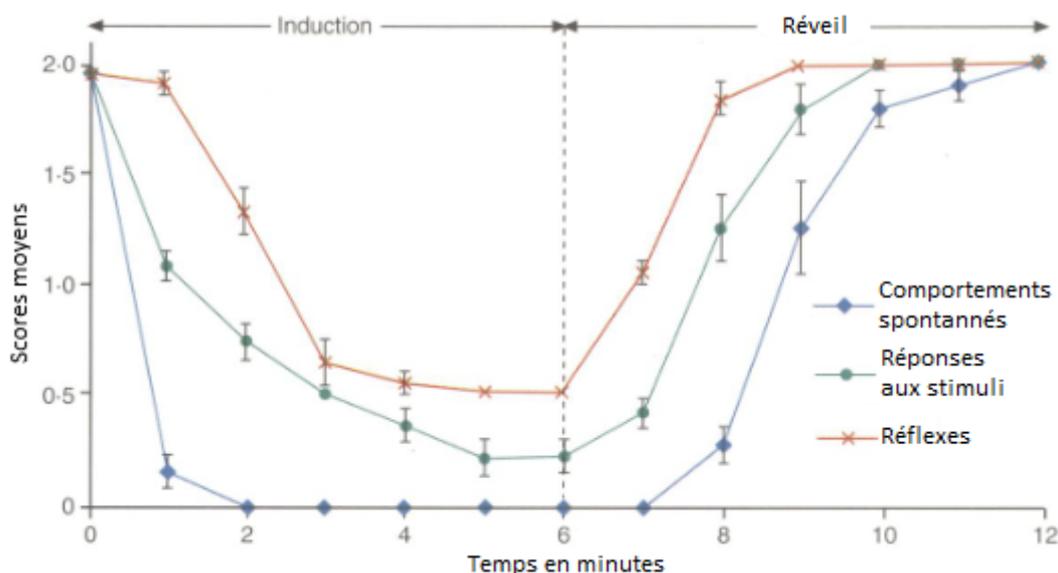


Figure 6 : Signes de conscience chez 10 truites arc-en-ciel pendant l'induction et le réveil d'une anesthésie au MS-222® (100 mg/L) à 12 °C ©Kestin et al. (2002). Score moyen ± Erreur standard.

L'anesthésique doit donc être **correctement choisi et dosé**, sans quoi, l'opérateur peut mettre à mort des poissons **conscients seulement incapables de mouvements intentionnels** juste du fait d'une sédation au lieu d'une anesthésie complète (qui doit aussi empêcher la douleur)^[30]. Pour le clou de girofle il existe une table des doses utilisées^[115], mais il n'y a pas de garantie qu'elles soient les meilleures en termes d'induction d'inconscience pour assurer l'abolition des souffrances.

Par ailleurs, les poissons devront être **manipulés** (ce qui génère un stress) pour être exposés à l'anesthésique dans un bain spécifique. En effet, diluer ce produit massivement dans des eaux des bassins d'élevage ou de criée destinées à retourner à la nature pose question, tant en termes de respect de l'environnement qu'en termes de coût des volumes d'anesthésiant nécessaires.

c) Pas d'autorisation de mise sur le marché en France

En Europe et aux États-Unis d'Amérique la spécialité AQUI-S® n'était pas autorisée en 2002^[30]. En 2013 Bégout^[162] indiquait l'existence d'une LMR³⁴ chez le poisson, dans le Règlement dit « Règlement LMR », pour les préparations à base d'isoeugénol (6 000 µg/kg de chair - muscle et peau en proportions naturelles). Elle est toujours la même aujourd'hui. Il est intéressant de noter qu'elle n'est pas reconnue comme un **anesthésique** dans ce document mais comme un « agent

34 LMR : Limite maximale de résidus autorisée dans un aliment. Son respect peut être contrôlé à l'abattoir et c'est grâce à elle que sont déterminés les temps d'attente des médicaments.

agissant sur le système nerveux central ». Nous avons également constaté que le polysorbate 80 (adjuvant de l'AQUI-S®) est lui aussi autorisé sans limite de résidus.

L'huile essentielle de clou de girofle (constituée de 80 à 90 % d'eugénol) apparaît au tableau 1 de l'Annexe de ce même règlement³⁵, elle est donc autorisée. Aucune LMR n'est requise quelle que soit l'espèce productrice d'aliment considérée. Le mésylate (ou méthanesulfonate) de tricaïne commercialisé sous le nom de MS-222®, autorisé au Royaume-Uni, en Italie, en Espagne, en Norvège, aux États-Unis mais non autorisé en France^[169] figure lui aussi dans le tableau 1 du règlement sans aucune LMR requise. Il n'est pas non plus catégorisé comme anesthésique^[170]. L'absence de LMR requise pour le mésylate de tricaïne et l'huile essentielle de clou de girofle semble indiquer que ces substances pourraient être utilisées **peu de temps avant la mise à mort** et la commercialisation pour l'alimentation humaine. Pour l'isoeugénol il faudrait calculer le **temps d'attente** nécessaire pour respecter la valeur de 6 000 µg/kg.

7) Électronarcose

Pour l'électronarcose réversible il a été mis en évidence que, contrairement au cochon à l'abattoir, le poisson passe directement à une phase de récupération de l'activité cérébrale visible à l'ECG. Il peut donc y avoir un arrêt des signes comportementaux de mal-être sans arrêt associé de l'activité cérébrale et donc probablement de l'intégration des messages nociceptifs ou encore de la souffrance qu'ils engendrent. Les paramètres utilisés pour abattre les poissons doivent donc se baser sur les données de la science et du fabricant de l'appareil^[155].

Selon les publications, les auteurs rapportent l'existence de lésions musculaires, voire vertébrales. Il semble que ces éléments soient régulièrement le fruit d'une confusion avec les effets de la pêche à l'électricité. Cependant l'électronarcose véritable (réversible ou non) est parfois associée à une prévalence augmentée des hémorragies de carcasse et des fractures vertébrales^[171] ce qui pose des problèmes de commercialisation^[42]. Mais ces effets peuvent être diminués par une bonne gestion des caractéristiques des courants électriques utilisés (fréquences plus hautes et temps d'application plus longs). Ainsi Anders et al. (2010) mettent en évidence que 90 % (n = 10) de leurs maquereaux (*Scomber scombrus*) sont rendus inconscients par un choc électrique AC³⁶/DC 110 Vrms durant 0,5 s. Le même choc électrique maintenu pendant 5 s permet de tuer 100 % (n = 25) des poissons sans dommage de la moëlle épinière et sans hématome (pas d'altération visible au filetage). Les auteurs recommandent néanmoins la réalisation d'ECG pour vérifier l'état d'inconscience^[172]. C'est ce type d'expérimentation, idéalement associé à l'ECG^[88], qui devrait être réalisé pour chaque espèce et chaque appareil d'électronarcose. L'électronarcose sèche ou semi-sèche ciblée au cerveau est associée à un stress d'exposition à l'air et à des problèmes de positionnement du poisson qui provoquent des inductions d'inconscience ratées^[68]. Pour autant, elle permet de diminuer les problèmes de qualités engendrés par l'électronarcose dans l'eau^[30].

Cette présentation des méthodes de mise à mort existantes nous montre combien elles sont diverses. Elle nous a permis de constater les caractéristiques propres à certaines méthodes indépendamment de toute comparaison.

Pour nous la difficulté consiste à déterminer où il faut mettre le curseur pour déterminer ce qui relève de la mise à mort ou non. Ce que certains qualifient comme méthode de mise à mort tient parfois plus lieu de méthode de capture/immobilisation ou de procédé technologique de traitement du poisson pour sa conservation. Nous avons fait le choix de ne pas inclure à notre

35 Elle est référencée sous la dénomination : *Caryophylli aetheroleum* son nom actuel étant *Syzygium aromaticum*^[168], elle est aussi (entre autres) appelée *Caryophyllus aromaticus*.

36 AC : courant alternatif, de l'anglais Alternative current.

réflexion les bains de sel/ammoniac (pour les anguilles) ou encore l'électro-immobilisation, la pêche à l'explosif et la pêche à l'électricité même si elles sont souvent citées comme méthodes d'abattage^[30,42,157].

IV- L'Ikejime : état des lieux, bénéfiques et inconvénients par rapport aux autres méthodes d'abattage.

A- État des lieux : L'Ikejime, une méthode de mise à mort parmi d'autres. Quelle place dans le marché d'aujourd'hui et de demain ?

Avant de parler de l'Ikejime il nous faut présenter rapidement quelques définitions autour du thème de la mise à mort. Nous devons aussi faire un récapitulatif des autres méthodes d'abattage utilisées sans quoi il nous serait impossible de les comparer à l'Ikejime. Nous tenterons ensuite de dresser un bilan de l'implantation encore récente de l'Ikejime en France.

1) L'Ikejime : La technique et ses variantes

Véritable étalon-or de l'abattage du poisson dans l'empire du soleil levant, la technique serait née il y a environ 350 ans^[16] durant la période Edo^[173] aussi dite période du « shogûnat » (qui s'étend de 1603 à 1867)^[174,175].

L'Ikejime est une référence pour la préparation des poissons qui entrent dans la composition des célèbres Sushis ou des Sashimi qui font la renommée culinaire du Japon. Consommé cru, une attention toute particulière est portée à la qualité gustative du poisson et à son respect. Les pêcheurs nippons et les maîtres Sushi dont la quête est celle de l'umami ont recours à cette technique. Parfois même sur des poissons ramenés et vendus vivants sur le marché^[127]. L'umami c'est le « cinquième goût »³⁷ chez les Japonais^[142], il se développerait à partir de la dégradation de l'Adénosine triphosphate (ATP). Stockée dans les cellules, cette dernière est préservée si le poisson n'est pas trop stressé avant et pendant sa mise à mort. L'Ikejime est réputé la seule technique de mise à mort permettant ensuite la maturation du poisson, comme nous ferions faisander un gibier pour sublimer son goût, mais aussi sa texture. En plus d'apporter l'umami, l'Ikejime modifierait l'installation de la rigidité cadavérique^[15,17,144].

a) Définition de la méthode

L'Ikejime consiste en l'association de deux procédures : Premièrement une destruction du cerveau avec une pointe métallique qui perfore le crâne et permet par des mouvements pendulaires de détruire le cerveau. Cela tue le poisson tout en abolissant sa conscience de manière irréversible. C'est la **décérébration**. Elle empêcherait l'intégration des messages nerveux de la douleur dans l'encéphale^[14,15,176]. Selon Harada (1988) elle assure la destruction de la *medulla oblongata* une partie du cerveau faisant la jonction avec la moelle épinière. Ce segment serait responsable de la plupart des réactions du système nerveux autonome que nous voulons prévenir. Au Japon, la tête du poisson peut parfois être percée à droite pour ne pas trop altérer son apparence sur les étals (c'est toujours leur côté gauche qui est présenté)^[127].

Deuxièmement il s'agit de détruire la moelle épinière, seconde partie du système nerveux central, elle est aussi le siège de la régulation de mécanismes nerveux autonomes. L'idée est de stopper la consommation d'ATP par ce procédé^[144,176]. Il suffit de passer un fil, un câble, une tige, une « aiguille » dans le canal médullaire ou vertébral. Nous parlerons de **démédullation**. Ce fil est introduit (via le trou de décérébration) par l'entrée du canal vertébral au fond du crâne, celle-ci ayant été dégagée par les mouvements écrasant le cerveau vers le haut^[176]. Ensuite l'opérateur fait

37 Les 4 goûts sont le sucré, le salé, l'acide et l'amer.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

plusieurs aller-retours dans le canal avec le fil. Au début le poisson présente des trémulations et des contorsions réflexes, puis de moins en moins à mesure que le fil repasse. Ce fil peut être introduit par le crâne ou par section de la colonne au niveau de la queue^[14,15,127,176]. La décérébration et la déméduation sont schématisées sur la figure 7.

Dans le cas des rares poissons non poïkilothermes³⁸, comme le thon ou l'espadon, la déméduation accroît peut-être les chances de voir la thermorégulation s'arrêter rapidement comme le suggère Vallée en 2019 dans le rapport pour le CDPMEM 56^[176]. Nous n'avons cependant pas trouvé de preuves qu'en temps normal elle continue d'avoir lieu après la décérébration du poisson.

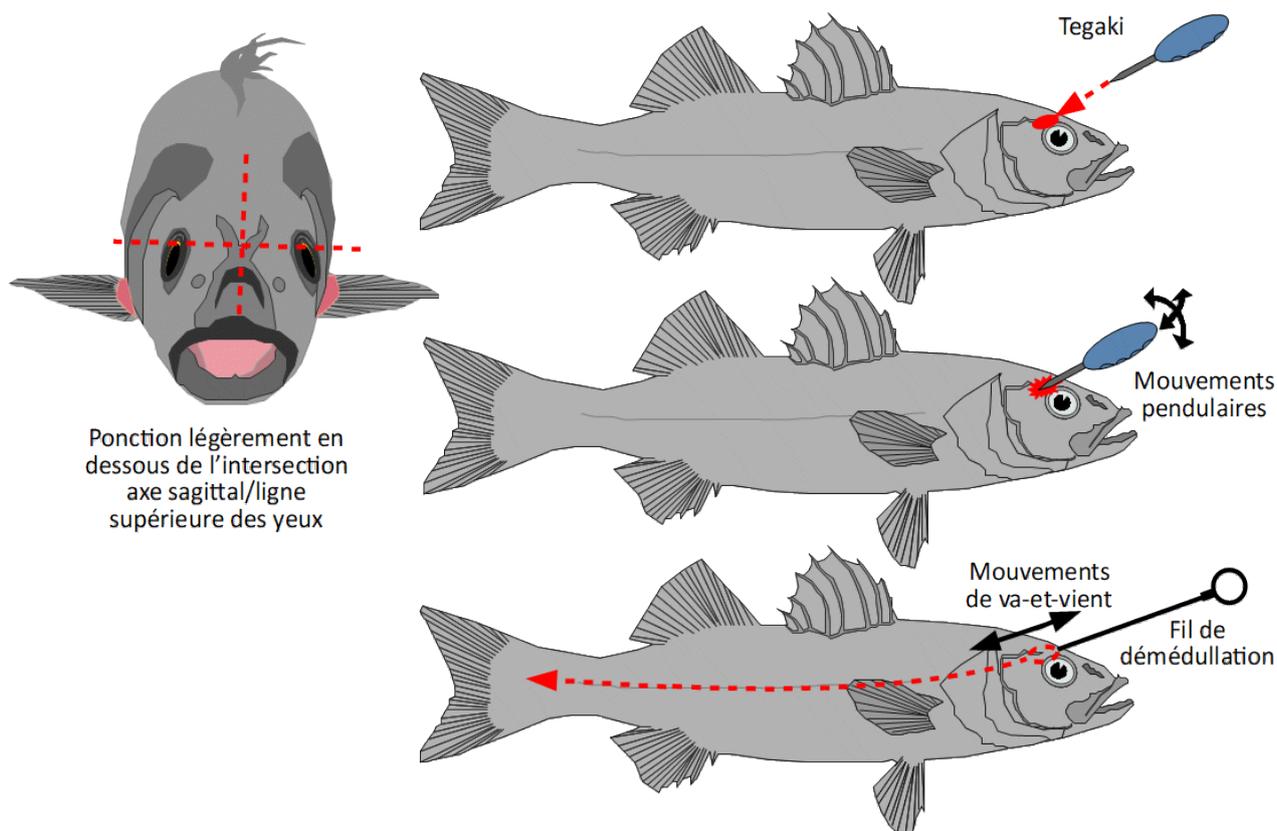


Figure 7 : Schéma de la mise à mort par Ikejime avec un tegaki droit et un fil de déméduation à mémoire de forme sur un bar commun (*Dicentrarchus labrax*).

Selon Robb et Kestin (2002) la technique est propice à des erreurs de mise en œuvre qui peuvent conduire à l'échec de l'induction d'une inconscience du poisson. Ils soulignent à raison l'importance des repères anatomiques qui permettent la mise en œuvre de la technique, par exemple : la fenêtre pinéale³⁹ du thon^[30]. Il existe un travail recensant et centralisant une banque d'images qui indiquent la position du cerveau de nombreuses espèces de poissons. Ce travail est disponible en ligne sur le site internet « Iki jime Fish Finder »^[177]. Un guide des bonnes pratiques pour l'ikejime a été réalisé en 2019 par l'institut Haliocéan et IVAMER pour le compte du Comité

38 Poïkilothermes (ou poecilotherme) : désigne un animal dont la température centrale dépend de la température de son environnement^[34].

39 C'est une aire du dessus du crâne, marquée par une dépigmentation de la peau. Elle est en regard de la glande du même nom, un organe sensoriel du cerveau au rôle encore mal défini qui capterait des informations lumineuses. Au niveau de cette « fenêtre », l'épaisseur du crâne est donc très fine, ce qui en fait un point de fragilité utile pour la décérébration des gros poissons comme le thon.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Départemental des Pêches Maritimes et des Élevages Marins du Morbihan(CDPMEM 56)^[178]. Nous pouvons y retrouver ce genre de planche avec en plus la fenêtre de ponction pour la décompression à l'aiguille de la vessie natatoire⁴⁰, pour une quinzaine d'espèces de poissons marins.

L'ikejime est donc une méthode d'étourdissement et de mise à mort. Elle est en fait le pendant pour les poissons du « jonchage » chez les animaux terrestres, cette technique étant définie comme la « lacération du tissu nerveux central et de la moelle épinière au moyen d'un instrument allongé en forme de tige introduit dans la cavité crânienne »^[29].

b) Les outils

Pour la décérébration, l'outil avec la pointe métallique s'appelle « tegaki ». Il en existe de différents types : « fait-maison » ou du commerce, courbes ou droits, etc. (cf. figure 8). Certains vantent l'usage des tegaki courbes^[15] quand dans le même temps l'usage du tegaki droit est reconnu plus simple et peut être plus adapté pour débiter la pratique. En effet, il permet de bien anticiper le trajet du pic pour détruire le cerveau^[176].



Figure 8 : Exemples de quatre tegaki pour la décérébration du poisson. (a) ©Hookook® ; (b) ©Page Facebook® Ikejime Fish ; (c) ©Stanley® ; (d) ©Solène Le Roux dans Le marin 24/11/2016.

Il existe aussi des **dispositifs mécaniques** à ressort, à air comprimé, ou à élastique qui revendiquent permettre l'ikejime. C'est le cas de l'ikigun®, de l'entreprise néo-zélandaise du même nom, qui fonctionne avec un élastique^[179] (cf. figure 9). Un dispositif automatique de décérébration et saignée simultanée des saumons a même été expérimenté aux États-Unis d'Amérique^[180].

40 Cette dernière est parfois nécessaire pour les poissons qui subissent un choc de décompression pendant la remontée depuis une profondeur importante.



Figure 9 : Exemple de dispositif de décrébration à élastique ©Ikigun®.

Pour la déméduation (certains l'appellent « Seikijime »^[15]) les outils sont d'une variété qui semble infinie selon les tailles de poisson mais aussi les matériaux utilisés. Certains utilisent un fil de pêche nylon de grosse section, d'autres des cordes à piano, des câbles avec ou sans gaine plastique, des fils d'acier inoxydable, des tiges (ou fils ou aiguilles) métalliques en alliages spécifiquement conçus, etc. Les fils en alliages spécifiques, parfois en nickel de titane, présentent l'avantage notable d'être à mémoire de forme et assez flexibles. Le Guide des bonnes pratiques d'Haliocéan^[178] recommande l'usage de fil nylon grosse section ou de fil en acier inoxydable à mémoire de forme. L'acier inoxydable standard peut conserver la forme du poisson qui se contracte lors du passage du fil de déméduation, ce qui facilite les effractions de la colonne vers la chair (risque de contamination bactérienne) et/ou empêche la déméduation complète (cf. figure 10).



Figure 10 : Exemple de fil de déméduation ou Tige de déméduation modèle Yoshimi Shinkejime® ©Nishikidori.com.

c) La saignée : une étape essentielle

La saignée peut se faire de 5 manières possibles : En coupant l'aorte ventrale crânialement au cœur. En sectionnant les branchies pour saigner le poisson par les artères branchiales. En incisant l'aorte dorsale (qui court sous la colonne vertébrale), soit au niveau de la queue, soit juste en

arrière de l'opercule. Enfin, en éviscérant le poisson^[176,181,182]. Cette technique est tout aussi efficace selon Roth que l'incision au niveau des artères branchiales^[182].

La saignée n'est pas seulement une méthode d'abattage mais aussi une technique pour garantir la qualité et la **conservation** de la chair^[42]. L'Ikejime est donc systématiquement associé à la saignée. Du moins, il semble qu'il doive l'être pour beaucoup d'auteurs ou de professionnels. Il apparaît déraisonnable en effet d'apporter autant de soin à un produit pour finalement ne pas réaliser une opération essentielle pour s'assurer de la qualité de la chair obtenue. La production d'un poisson Ikejime est intimement liée à la recherche d'une valeur ajoutée. Il faut donc aller au bout de cette démarche de qualité^[14,15,176,181]. D'ailleurs Roth et al. (2009) souligne l'importance de l'exsanguination pour les qualités hygiéniques, gustatives et visuelles. Les résidus de sang dans le filet sont des sources de lipides propices à s'oxyder, ce qui affecte la **couleur** et le **goût**. Ce phénomène d'oxydation est aussi favorisé par l'hémolyse. L'hémolyse engendre aussi la libération de peroxyde d'hydrogène, de radicaux libres et d'ions superoxyde. La protéolyse pourrait être favorisée par l'hémolyse et ainsi accélérer le ramollissement de la chair, impactant donc la **texture**.

Dans un essai sur des saumons atlantiques (*Salmo salar*) d'élevage la principale différence était liée aux conditions de la saignée. La saignée à l'air libre entraîne une persistance de traces de sang dans les filets, significativement plus élevée que celle des poissons saignés sous un courant continu d'eau pendant 12 minutes pour éviter la coagulation du sang.^[183]

Selon cette étude, la méthode d'abattage (inclus l'Ikejime) et le stress *ante mortem* ne semblent pas avoir d'effet notable sur la qualité de la saignée qui va suivre^[183]. Pourtant, d'après une étude conduite chez le flétan de l'Atlantique ou flétan blanc (*Hippoglossus hippoglossus*), il y aurait un avantage à la commotion par rapport au CO₂, pour davantage saigner le poisson. À contrario, les auteurs n'ont mis en évidence que de faibles différences en nombre de ponctions de sang dans les filets que les poissons soient saignés ou non. Si certains discutent l'intérêt de la saignée, il est sûr qu'elle doit être pratiquée **rapidement après la mise à mort** pour être efficace. Nous savons qu'elle n'apporte plus aucun bénéfice 1 à 2 heures après la sortie de l'eau d'un saumon^[11].

Selon Olsen et al. (2006) le temps de coagulation du sang de poisson est augmenté dans une eau à basse température, ce qui devrait potentiellement augmenter la durée où le sang reste fluide et améliorer la saignée^[184]. Mais dans l'étude de Roth, malgré l'écart de température plus élevé (-1 °C à +12 °C *versus* +0,5 °C à +4 °C), l'identité d'espèce (*Salmo salar*) et de taille des poissons (3-6 kg *versus* 3-4 kg), **aucun impact significatif de cette température de l'eau** sur l'efficacité de la saignée des poissons vivants n'a été démontré^[183]. Peut-être est-ce lié aux particularités de la coagulation dans l'eau par rapport à la coagulation dans un tube sec. Des recherches complémentaires pourraient être faites sur la saignée et ce point précis mais à ce stade il semble raisonnable de **saigner les poissons dans un courant d'eau froide**.

d) Les variantes de l'Ikejime.

i. Succession des étapes

L'ordre de réalisation de ces différentes méthodes peut varier d'un opérateur à l'autre. Certains préconisent l'ordre : décérébration, déméduation puis saignée. Parfois la saignée est faite en deuxième avant la déméduation. Quand le choix est fait de déméduer en insérant le fil par la queue, la saignée est nécessairement faite avant la déméduation. Enfin certains s'affranchissent de la déméduation voire de la saignée en faisant seulement la décérébration. L'EFSA dans son rapport de 2004 évoque brièvement cette technique mais ne parle que de décérébration par une pointe enfoncée dans le crâne^[42]. Si aucune définition officielle ne permet à

l'heure actuelle de dire ce qui est ou n'est pas l'Ikejime nous avons fait le choix de dire Ikejime pour l'association : décérébration + démyélinisation ± saignée.

ii. À bord ou à terre ?

L'Ikejime peut être réalisé à **bord du bateau** immédiatement à la remontée ou rapidement après si le poisson peut être mis « en attente dans un vivier ». Cette façon de procéder permet de limiter la durée du stress du poisson qui est tué très rapidement après sa pêche. Elle est nécessaire pour les espèces devant nager en permanence comme le thon.

Sinon il peut être mis en œuvre beaucoup plus tard à **terre** après un stockage en vivier à bord puis à terre pendant 48 ou 72 heures^[14,176,181,185,186]. Les adeptes de cette pratique revendiquent la possibilité pour leur poisson de se reposer, de **régénérer son stock d'ATP** afin d'éviter les mauvaises propriétés de la chair d'un poisson abattu après un pic de stress. Pendant ce temps en vivier à terre aucune alimentation n'est apportée^[14,176,181,186]. Les pêcheurs japonais gardent au **repos** les poissons qui ont été pêchés au filet et qui ont probablement épuisé leur stock d'ATP. Les poissons peu nourris ou trop âgés récupèrent rarement^[127]. Sur cette période, **le poisson est mis à jeun**. Cette pratique très marginale pour les poissons issus de la pêche est **courante en aquaculture** où elle sert aussi avant le transport, l'allotement, etc. **l'abattage**^[8,61,62].

Il semble que le jeûne permette de **diminuer le stress physiologique** en réduisant le métabolisme, la consommation en oxygène. La privation de nourriture permet de faire chuter la lactatémie à un niveau d'autant plus bas que la durée du jeûne est prolongée^[187]. Il permet de **vider le tube digestif du poisson**, avec pour objectif de diminuer le risque de contamination fécale au moment de l'éviscération et de la préparation du poisson. Le jeûne prolongé des poissons est supposé accroître la fermeté et réduire les mauvais goûts^[112].

Cette pratique a aussi fait ses preuves chez le saumon d'élevage pour activer le catabolisme des lipides et leur mobilisation améliorant ainsi la qualité de la viande. Regost et al. (2001)^[139] ont mis en évidence que le jeûne rehausse la couleur de la chair à 7j *post mortem* (conservation dans la glace) chez la truite d'élevage (*Oncorhynchus mykiss*). La colorimétrie a en effet permis de constater une rougeur et une coloration jaune plus prononcées^[139] avec le jeûne mais sur des périodes beaucoup plus longues (de l'ordre du mois). Toutefois il n'est pas prouvé que des bénéfices liés à la mobilisation des réserves en seulement 48 ou 72 heures de jeûne existent.

Il y a donc une multitude d'Ikejime possible. En plus de son caractère manuel, la démyélinisation est la distinction principale qui persiste avec les perforations de la boîte crânienne seules déjà assez largement étudiées^[90,101,123,188]. La distinction à terre ou en mer nous semble importante. Le jeûne est pour certains une condition *sine qua non* de l'abattage Ikejime et l'intérêt majeur de le pratiquer à terre^[14,181]. Pour comparer l'impact de cette variante sur le bien-être et la qualité, il nous faudra **inclure le jeûne à notre réflexion**. Les autres opérations annexes qui ont pourtant une grande importance en aquaculture et pour le bien-être ne seront pas traitées.

2) Importance et perspectives économiques de l'Ikejime en France

Aujourd'hui, il est très difficile d'évaluer l'importance de la pratique de l'Ikejime en France faute d'informations et de sources à recouper entre elles. Il existe une étude publique sur le sujet réalisée par FranceAgriMer⁴¹, publiée en date du 6 mai 2019 par un comité de pilotage dédié à la question de l'Ikejime et des ventes de poisson vivant en France^[185].

41 FranceAgriMer (Établissement national des produits de l'agriculture et de la mer) est un organisme public chargé de mettre en œuvre les dispositifs de soutien financier nationaux et européens à destination des secteurs agricole et maritime. Il exerce une mission de concertation dans les filières, une mission d'étude prospective économique et contribue à la politique d'influence du ministère de l'Agriculture. <https://www.franceagrimer.fr/>.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

a) Circuits existants pour la vente de produits Ikejime et volumes connus

Il existe actuellement 3 circuits pour les poissons Ikejime issus de la pêche et un seul pour les poissons issus de l'aquaculture (cf. figure 11).

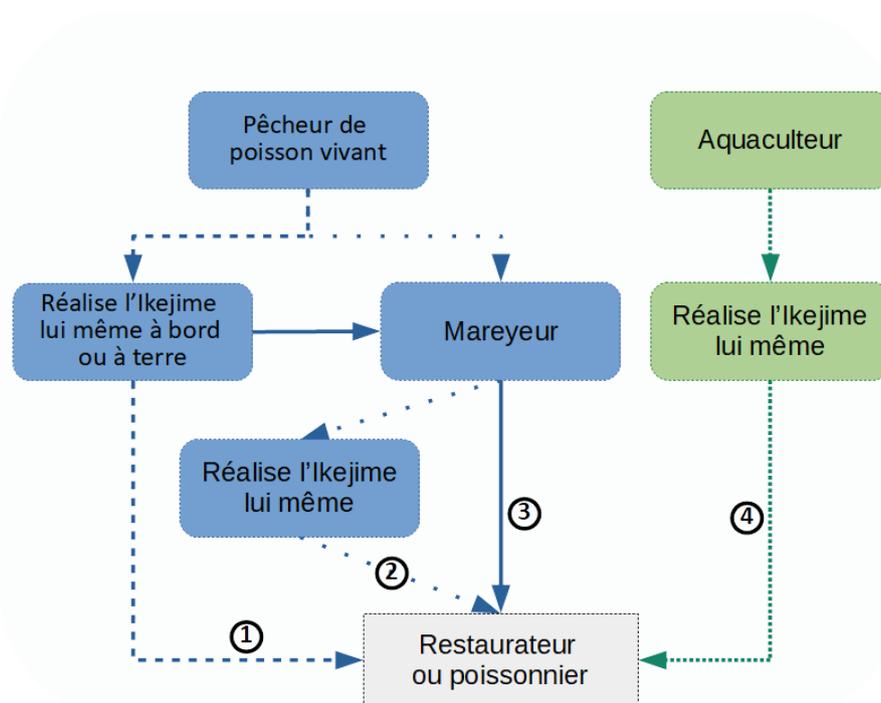


Figure 11 : Les 4 circuits de commercialisation des poissons Ikejime en France en 2018 d'après FranceAgriMer (2019).

En volume, les circuits 1 et 3 représentent 70 à 80 tonnes. Le circuit 2 est estimé à 50 tonnes. Le volume du circuit 4 n'est pas déterminé dans cette étude. Enfin, il faut ajouter que la France importe du thon Ikejime pour une quantité d'environ 1000 tonnes par an. Selon le rapport de l'institut Haliocéan, en 2019, environ 40 pêcheurs pratiquaient l'Ikejime^[176].

b) Importance économique

Elle est négligeable aujourd'hui, le poisson Ikejime constitue un véritable marché de niche. Peu de chiffres sont disponibles et l'image de la filière dans cette étude est incomplète. Mais à titre d'exemple les ventes d'Ikejime en criées⁴² représentaient 48 tonnes au plus, soit environ 30 % du volume de poisson Ikejime issu de la pêche en 2018. Elles ne représentent que 270 000 € en 2018^[185]. À titre de comparaison, les ventes en criée de poissons pour l'année l'année 2018 ont généré 423,8 millions d'euros pour 133 571 000 tonnes^[189].

c) Espèces concernées

Là encore les données manquent mais les ventes qualifiées « Ikejime » en halles à marées répertorient les espèces du tableau XVI.

42 Criée : c'est le bâtiment dans lequel se vendent les marchandises à « la criée » c'est-à-dire par annonce verbale. Par extension, dans les régions maritimes il s'agit de produits de la pêche donc d'une halle à marée (d'après www.larousse.fr^[33]).

Tableau XVI : Ventes en Ikejime en Halles à marées en 2018 ©FranceAgriMer (2019)^[185].

Espèce	Tonnage	Espèce	Tonnage
Lieu jaune	6503,29	Raie mêlée	23,5
Bar commun ou européen	6333,39	Grondin gris	19,4
Thon rouge	2822,8	Maquereau espagnol	15,6
Maigre commun	1858,8	Maquereau commun	14,6
Merlu commun	778,1	Émisseoles	13,1
Baudroies	450,76	Griset dît « daurade grise »	11,7
Sar commun	221,2	Pagre commun	6,7
Vieille commune	154	Lingue franche	4,07
Bar tacheté	74,7	Baliste divers	4
Daurade royale	68,2	Grondin perlon	1,62
Raie bouclée	58,4	Lieu noir	1,57
Germon	51,3	Pageot acarne	1,5
Merlan	44,9	Ombrine bronze	1,3
Chinchard commun	35,1	Grondin rouge	1,2
Saint-pierre	28,25	Alose d'Europe	1,1

Selon le comité de pilotage FranceAgriMer le potentiel de certains poissons est faible du fait de particularités anatomiques. Les gadidés ayant une vessie natatoire avec des risques d'accidents de décompression ne pourraient pas être ramenés en vif et donc seraient peu adaptés pour l'Ikejime^[185]. En pratique nous constatons que sur les ventes en halles à marée (cf. tableau XVI ci-dessus) le lieu jaune (*Pollachius pollachius*) est en tête des ventes Ikejime en tonnage. D'après une professionnelle interrogée, il peut tout à fait entrer dans le circuit Ikejime, même à terre, à condition de faire l'objet d'une décompression à l'aiguille de sa vessie natatoire immédiatement après la remontée et avant la mise en vivier à bord^[14]. Bien sûr, comme tout poisson, s'il ne se remet pas du choc de décompression ou de l'action de pêche, il devra être sorti du circuit Ikejime et redirigé vers le circuit traditionnel.

d) Une filière naissante exposée aux risques

Comme toute activité, la vente de produits de la mer Ikejime bénéficie d'un certain nombre d'atouts mais également de points de fragilité qui l'exposent au risque. Ce risque peut prendre différentes formes. Le rapport du comité de pilotage en a fait un résumé tout en proposant les manières de gérer chacun de ces risques (cf. tableau XVII). Il peut s'agir de risques, soit en termes d'image auprès du public, soit pour des raisons **sanitaires** (risques liés à la maturation et à la consommation de poissons crus), soit pour des raisons d'**éthique** (bien-être animal, gaspillage, etc.). Il s'agit d'anticiper ces menaces pour assurer la qualité du produit d'une part (guide de bonnes pratiques, identification claire des produits) et soigner son image (qualité, communication, veille scientifique). Concrètement, si une publication scientifique attribue des défauts à l'Ikejime sur le plan éthique et/ou sur le plan de la qualité sanitaire ou gustative, il faut le savoir le plus vite possible pour envisager une riposte médiatique et, le cas échéant, adapter les pratiques. La clé de

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

voûte des actions préventives pour gérer le risque consiste à s'assurer de la qualité des pratiques, par la **formation** ou encore par la réalisation d'un **guide de bonnes pratiques**. Ce guide des bonnes pratiques existe. Il a été élaboré par l'institut HALIOCEAN® en collaboration avec IVAMER® pour le compte du comité des pêches du Morbihan (CDPMEM 56) en 2019^[176]. Il n'est, à ce jour, pas encore diffusé. Un autre guide existe en libre accès^[15]. Il a été réalisé par la marque Hookook® spécialisée dans la vente de matériel de pêche pour l'Ikejime. Aucun de ces deux guides ne figure pour tout ou partie dans les guides reconnus par le ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire pour les bonnes pratiques d'hygiène^[190].

Tableau XVII : Évaluation des risques et actions à mettre en œuvre ©FranceAgriMer 2019^[185].

Évaluation des risques	Actions à mettre en œuvre
<p>À traiter en priorité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conditions de concurrence loyale si le marché vient à se développer - Risques sanitaires liés à la consommation de poissons crus - Risque médiatique (bien-être animal) 	<ul style="list-style-type: none"> - Bonnes pratiques de l'Ikejime, Formation, « Marquage » (fil, pins, ...) - Éviscération immédiate, technique de congélation/décongélation Ikejime - Dossier prévention de crise, campagne d'information, lien avec travaux sur le stress...
<p>À contrôler :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Risque de chute des prix ou incompréhension du prix), suite notamment à une concurrence déloyale 	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne réalisation de l'Ikejime (guide) - Suivi des prix du marché
<p>À surveiller : assez bien gérés aujourd'hui</p> <ul style="list-style-type: none"> - Risque qualité - Salubrité des produits (non spécifique) - Gestion des quotas Traçabilité - Perte d'image haut de gamme 	<p>Intervention des organismes professionnels et créés (à maintenir, à développer auprès des nouveaux arrivants)</p>
<p>À optimiser : coûts économiques (déclassements)</p>	<p>Rôle des guides de bonnes pratiques</p>

D'ores et déjà nous pouvons dire que cette analyse de risques se vérifie en partie. Certains acteurs ont déjà constaté l'**existence de fraudes**. La marque déposée Francelkejime® a ainsi été copiée avec la vente de poissons dans des poissonneries parisiennes portant des macarons identiques à ceux censés certifier l'origine des marchandises^[14].

Si le développement des produits Ikejime est exposé à un certain nombre de risques il faut aussi les replacer dans le contexte global des forces et opportunités qui s'ouvrent à la filière. Nous avons résumé ces éléments dans la matrice SWOT⁴³ (forces, faiblesses, opportunités, menaces) ci-après (cf. tableau XVIII).

43 SWOT : Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats en anglais.

Tableau XVIII : Proposition d'une matrice SWOT de la « filière » Ikejime en France d'après FranceAgriMer (2019)^[185], Produits de la Mer, n°202 (2020)^[31] le SMIDAP (Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Pays de la Loire)^[191]

Filière	Forces	Faiblesses
	Qualité accrue, possibilité de maturation Médiatisation positive (grand public et chefs) Réseaux de clients fidèles et implantation des acteurs historiques stable Véritable valeur ajoutée pour le pêcheur, c'est un moyen de mieux valoriser une ressource plus rare (rentabilité augmentée) Permet au pêcheur qui pratique l'Ikejime d'enrichir, de diversifier son métier, abattage mais aussi relationnel privilégié avec les clients ⇒ reconnaissance et estime de son travail accrues	Absence d'encadrement réglementaire/certification ⇒ Déception de tiers par certaines démarches de faible qualité, suite à des fraudes... Investissements nécessaires si la filière veut changer d'échelle Limitation des poissons disponibles pour la vente en vif (lié à la technique de pêche, l'intérêt des pêcheurs) Obstacles au développement du bio en aquaculture (amont versus aval)
Environnement	Opportunités	Menaces
	La France : pays de gastronomie et de pêche Appétit du consommateur pour un produit traditionnel et paradoxalement innovant, « exotique » Intérêt pour les circuits courts, locaux Valeurs montantes du respect animal Engouement pour la culture, la cuisine japonaise // Thon français encore à conquérir Marché de l'aquaculture à conquérir (positionnement plus facile en agriculture biologique). Ikejime peut être un atout pour l'image de la filière aquacole.	Publicité négative par militants de la cause animale Compétition destructrice avec les autres produits haut de gamme Marché peut être limité, quel consentement à payer plus ? Apparition d'une réglementation contraignante sur le transport etc. ⇒ découragement lié à une surcharge administrative (affecte les PME fondatrices)

La faiblesse sur laquelle la filière a le plus de prise et des choix stratégiques à faire est l'encadrement de sa production, avec une traçabilité et un cahier des charges qui permettent de garantir au client une qualité des produits dits « Ikejime » qui soit toujours au rendez-vous. Comme le craignent certains, il y a un risque de perdre des personnes qui auraient pu être fidélisées à l'Ikejime, qui ne l'ont pas découvert par la bonne porte et qui ont été déçus^[31]... Personne ne souhaite voir l'Ikejime décrédibilisé. Aussi face à cet enjeu différentes stratégies sont envisagées. La première est une forme de label ou de certification de la production avec des formations et des contrôles des pratiques pour pouvoir utiliser la qualification « Ikejime »^[191]. Pour d'autres acteurs, la force de l'Ikejime réside dans son caractère confidentiel, son positionnement auprès de grands restaurants, la vente directe, etc. Dans ce domaine c'est la confiance, la réputation qui sont les meilleures garanties. Les producteurs peu performants seront écartés de fait « ça se régule tout seul », la « sélection naturelle fonctionnera »^[14,31]. Il y a aussi une part de crainte de voir arriver des contraintes qui pénalisent des gens qui travaillent déjà correctement^[31]. Mais chez certains, il y a un véritable désir de garantir une bonne image de l'Ikejime en général, afin que le consommateur ait confiance même quand il ne traite pas en direct, quitte à entrer dans une démarche de

« certification » ou d'« agrément » contraignante avec des signes garantissant l'origine et la qualité du produit^[192].

e) Perspectives de développement

Le potentiel de la filière a été évalué selon 2 prévisions, l'une optimiste et l'autre plus modeste quant à l'engouement des pêcheurs pour cette méthode d'abattage. Elles envisagent respectivement 20 et 10 % d'adhésion des pêcheurs. Les pêcheurs au filet sont considérés comme pouvant fournir 30 % de leurs prises en vif pour de l'Ikejime. Il est possible de discuter de la pertinence d'inclure les métiers du filet dans la démarche Ikejime. En effet, selon certains acteurs, ces poissons sont la plupart du temps largement épuisés et possèdent rarement la vigueur des poissons pêchés à la ligne en direct. Nous savons l'importance de la sélection des poissons qui peuvent rentrer dans la démarche Ikejime. Selon Harada (1988) les poissons les plus appropriés pour l'Ikejime sont les poissons pêchés à la ligne (à la canne ou à la traîne). Les poissons pêchés à la senne ou au chalut ne conviennent pas. Bien souvent ils ne montreront même pas d'état de *rigor mortis* faute d'ATP encore présent. Mais d'autres soulignent que tous les métiers⁴⁴ peuvent fournir la filière Ikejime. Un fileyeur qui connaît bien les exigences de l'Ikejime peut mieux répondre à la demande qu'un ligneur qui laisse le poisson se « noyer » d'épuisement sur une palangre⁴⁵[14,31,33]. Les deux prévisions estiment respectivement à environ 329 et 164 tonnes les ventes en Ikejime à l'horizon de quelques années. Il y a 3 scénarios à envisager pour le développement de l'Ikejime. Le premier, pessimiste, consiste en un repliement du marché sur ses bases historiques en France avec une offre qui aurait dépassé la demande (régression des prix), des attaques et/ou des déceptions (associations de protection animale, médias, chefs étoilés) et finalement un abandon de la technique, ou la vente en vif à sa destination par les pêcheurs (à l'exception des mieux implantés). Le deuxième scénario serait celui d'une croissance stable, avec une gestion efficace de la communication pour défendre un produit de grande qualité en dépit des démarches fantaisistes, dilettantes, voire frauduleuses qui peuvent nuire à l'image de la filière et de ses produits. La pratique conquiert le marché de l'aquaculture avec éventuellement une pénétration dans des labels comme le biologique. Cette dynamique présente le risque d'une compétition avec les produits traditionnels de haute qualité « fin et ultra frais ». À plus long terme, si le deuxième scénario s'installe un troisième pourrait advenir. L'évolution du marché pourrait consister en une véritable généralisation de la pratique avec une traçabilité accrue, un circuit bien identifié du producteur au grossiste, un développement de la vente directe (pêcheur ou ferme aquacole), une systématisation sur le thon de la flotte française etc.

Aujourd'hui en 2022 aucune donnée supplémentaire n'est accessible pour corroborer ou infirmer ces hypothèses avec précision mais le premier et le deuxième scénario ne semblent pas être d'actualité pour l'instant.

3) Structuration : vers une filière Ikejime ?

À l'heure actuelle il n'y a aucun organisme qui structure, réglemente ou simplement organise la pratique de l'Ikejime dans le pays. Depuis 2017-2018 il y a eu une volonté de certains d'encadrer l'Ikejime pour contrecarrer les dérives. Fin 2018, la criée de Quiberon et le comité des pêches du Morbihan (CDPMEM 56) ont lancé le projet « Refike » pour « référentiel Ikejime ». C'est dans ce cadre qu'a été rédigé le guide de bonnes pratiques^[178,194]. Ce projet a été suivi par la démarche

44 Métier : dans le lexique de la pêche ce terme désigne les différentes méthodes de pêche employées selon les navires, la navigation, et en fonction du ou des engins de pêche embarqués pour la capture des poissons, coquillages, crustacés, etc.^[193].

45 Palangre ou palancre : engin de pêche dont le principe est l'immersion pendant quelques heures d'un bas de ligne (en corde par exemple) auquel sont attachés, tout le long, plusieurs fils avec hameçons.

« Valike » pour « Valorisation de l'Ikejime » dont l'objet a été d'étudier les différentes possibilités pour valoriser cette production par l'édification d'un label, d'une marque, la gestion de la traçabilité et la construction de projets de formation. *Valike* a aussi permis d'aborder les questions de la communication en interne à la filière et à l'externe avec le public. Actuellement, c'est la création d'une filière qui est à l'ordre du jour^[194]. Le FROM⁴⁶ Sud-ouest est une organisation de producteurs du sud-ouest de la France basée à La Rochelle. Elle s'attelle à la création, très prochainement, de formations et d'une filière Ikejime. Il est question d'un lancement officiel de la filière en 2023 sous l'appellation « Filière Ikejime », une association à vocation nationale qui a vu le jour au début de l'été 2022. Son ambition : « Encadrer le marché de niche de l'Ikejime en France ». Elle se veut devenir le garant d'un agrément qui devrait garantir le sérieux des pratiquants qui veulent commercialiser les poissons qu'ils « ikejiment ». Le développement d'un macaron ou « pin's » doit assurer la traçabilité qui est un véritable enjeu (cf. tableau XVII)^[192].

En attendant, une série de formations-tests a déjà été organisée, dont une 5ème en mai 2022 en partenariat avec le Comité des pêches du Morbihan à la criée de Quiberon. Elle était animée par les poissonniers Erwan et Akiko Ranchoux (parmi les précurseurs de la technique en France)^[31,173] et le bureau d'études Haliocéan^[195]. Les formations sous l'égide du FROM devaient démarrer dès l'été 2022^[196,197].

4) Conclusion

L'Ikejime est une méthode d'abattage émergente en France qui semble intéressante pour compléter voire transformer les pratiques d'abattage les plus couramment utilisées pour la pêche et l'aquaculture. Nous avons vu que de multiples variantes existent, tant dans le matériel utilisé, que dans les pratiques autour de la saignée. L'Ikejime se caractérise aussi par une diversité de pratiquants (pêcheurs, mareyeurs) et de débouchés potentiels. La filière a de belles perspectives de consolidation de ses activités existantes et de développement. Il s'agit maintenant d'observer quelles vont être les options retenues pour son développement et son éventuelle structuration dans le futur. Cette technique bénéficie d'atouts qui peuvent lui permettre de se démarquer mais elle est aussi confrontée à des menaces potentielles, pour la garantie de la qualité et sa crédibilité auprès du public, mais également sa perception comme une méthode plus respectueuse du bien-être des poissons. Nous verrons plus tard quelle est la popularité de cette technique parmi les milieux de la protection animale et nous chercherons à savoir si elle est reconnue pour ses bienfaits supposés en matière de bien-être animal ou au contraire décriée, mal comprise, etc. ? Pour mieux saisir l'intérêt de l'Ikejime quant au respect du poisson, nous nous sommes penchés sur cet enjeu majeur du bien-être, appliqué aux poissons, et spécifiquement au moment critique de leur abattage.

Il nous semble indispensable de voir maintenant de quelles données scientifiques nous pouvons disposer pour tenter d'évaluer les bénéfices de l'Ikejime, voir s'il tient ses promesses et éventuellement de quelles informations nous manquons pour statuer sur son intérêt pour rendre l'abattage des poissons plus acceptable qu'avec les autres techniques les plus largement mises en œuvre.

46 FROM : acronyme de Fonds régional organisation du marché.

B- Comparaison des techniques assimilées à l'Ikejime avec les autres méthodes d'abattage.

1) L'Ikejime est peu présent dans la littérature scientifique

a) Synonymie en langue anglaise

L'Ikejime est nommé de manières très différentes dans la littérature scientifique. Nous lisons souvent l'orthographe Ikejime comme le plus souvent en français, mais également Ikijime. Avec un espace parfois : Ike jime ou Iki jime. D'autres terminologies d'origine anglo-saxonne sont utilisées : Brain spiking, Coring, Pithing^[12]. Il faut souligner que l'Ikejime est souvent à tort résumé à la décérébration dont rendent bien compte les termes « spiking » et « coring ». « To spike something » signifie embrocher quelque chose et « a spike » désigne un pic. « To core » c'est évider, carotter, enlever le cœur. « To pith » en revanche correspond à la section de la colonne vertébrale. Parfois utilisés les uns à la place des autres il n'est pas facile de savoir ce qui se cache derrière ces termes.

b) Méthodes dérivées de l'Ikejime pour l'euthanasie en expérimentation animale

L'Ikejime (ou la simple décérébration) est en réalité de plus en plus fréquemment utilisée comme méthode de mise à mort par les scientifiques, avec l'Ikigun® par exemple. Aussi la technique apparaît souvent dans la littérature dédiée à l'aquaculture et l'ichtyologie pour euthanasier les poissons^[109,198-200].

De manière assez intéressante Lowe et al. utilisaient déjà cette technique en 1993. L'objectif étant apparemment de tuer de la manière la plus neutre possible des poissons pour comparer les effets de facteurs de stress préalables à l'abattage^[109]. Young et al. (2019) ont aussi utilisé cette technique pour servir le même objectif plus récemment^[200].

c) De rares études sur l'Ikejime complet (décérébration + démyélinisation)

Nous avons dénombré peu d'études qui évaluent l'abattage Ikejime et ses conséquences sur le poisson, son bien-être, sa qualité^[90,101,123,124,145,188]. Enfin, même dans les publications existantes, il faut souligner qu'il ne s'agit presque jamais de la technique complète dans sa version manuelle comme nous l'avons définie (décérébration + démyélinisation ± saignée) sauf chez Salazar Duque et al. (2019)^[124] et chez Mishima et al. (2005)^[145]. L'étude de Lambooi et al. (2002) porte *stricto sensu* sur l'usage d'un pistolet pneumatique avec une aiguille captive (définition qui fait penser aux dispositifs utilisés pour les bovins en abattoir)^[188]. Il y a décérébration avec cet outil mais il ne s'agit pas réellement d'Ikejime.

2) L'Ikejime, une méthode acceptable

Nous l'avons vu plus tôt, l'Ikejime fait partie des quelques méthodes d'abattage reconnues par l'OIE. Voici le tableau XIX qui présente un résumé des avantages et inconvénients répertoriés par l'OIE et par le *Rapport sur la possibilité d'introduire certaines exigences relatives à la protection des poissons au moment de l'abattage* (2018)^[68] de la Commission européenne. Il dresse une liste des défauts et avantages des méthodes d'abattage les plus fréquentes en aquaculture marine et continentale^[68,69].

Partie 1 – Étude bibliographique : L'ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Tableau XIX : Synthèse des comparaisons des techniques d'étourdissement et/ou de mise à mort directe d'après le Code de l'OIE pour la santé des animaux aquatiques (2022)^[69] et le *Rapport sur la possibilité d'introduire certaines exigences relatives à la protection des poissons au moment de l'abattage* (2018)^[68].

Méthode d'étourdissement/abattage		Espèces concernées	Problématiques pour le bien-être	Avantages	Désavantages	Références
Mécanique	Commotion (« percussive stunning »)	Saumon atlantique	Le choc doit allier précision et force. Sortie de l'eau et contention correcte pour vite appliquer la méthode. Vérifier l'efficacité et recommencer au besoin. C'est une méthode d'étourdissement ou d'abattage	Perte de conscience immédiate. Adapté pour des poissons de taille moyenne à grande. Étourdissement immédiat peut être obtenu Pas de retour à la conscience si appliqué correctement Permet le filetage avant la <i>rigor mortis</i>	Le mouvement des poissons peut compromettre l'application de la méthode manuelle et force trop faible ⇒ échec d'étourdissement et blessures possibles pour poisson. Applicable pour des petits effectifs de poissons de taille semblable. Étourdissements ratés peuvent survenir (variabilité de taille) Dommages à la tête possibles	[69] [68]
		Carpe commune		Perte de conscience immédiate. Adapté pour des poissons de taille moyenne à grande. Pas de retour à la conscience si appliqué correctement	Le mouvement des poissons peut compromettre l'application de la méthode manuelle et force trop faible ⇒ échec d'étourdissement et blessures possibles pour poisson. Applicable pour des petits effectifs de poissons de taille semblable. Dommages à la tête possibles	[69] [68]

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Méthode d'étourdissement/abattage	Espèces concernées	Problématiques pour le bien-être	Avantages	Désavantages	Références
	Truite arc-en-ciel		Perte de conscience immédiate. Pas de retour à la conscience si appliqué correctement Adapté pour des poissons de taille moyenne à grande.	Le mouvement des poissons peut compromettre l'application de la méthode manuelle et force trop faible ⇒ échec d'étourdissement et blessures possibles pour les poissons. Applicable pour des petits effectifs de poissons de taille semblable.	[69] [68]
Ikejime (« spiking or coring »)		Précision et rapidité nécessaires pour toucher le cerveau et induire l'inconscience immédiatement. Sortie de l'eau et contention correcte pour vite appliquer la méthode. C'est une méthode d'abattage	Perte de conscience immédiate. Adapté aux poissons moyens à grands. La fenêtre pinéale du thon facilite la pratique de la technique sur cette espèce	Des blessures peuvent être causées au poisson et à l'opérateur. Difficile à réaliser sur les gros poissons agités. Difficile à mettre en œuvre si le poisson bouge. Applicable pour des petits effectifs de poissons	[69]
Balle		Proximité entre arme et cible la plus grande possible. C'est une méthode d'abattage	Perte de conscience immédiate. Adapté pour les très grands poissons (thons)	Distance de tir et calibre doivent être adaptés. Le bruit des tirs peut causer du stress. La contamination avec des fluides de l'aire de travail peut représenter un risque pour l'hygiène. Peut être dangereux pour l'opérateur et ses collègues.	[69]

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Méthode d'étourdissement/abattage		Espèces concernées	Problématiques pour le bien-être	Avantages	Désavantages	Références
Électrique	Électronarcose	Saumon atlantique Truite arc-en-ciel Carpe commune	Application d'un courant avec les propriétés idoines (tension, intensité et fréquence) pour provoquer une inconscience immédiate C'est une méthode d'étourdissement ou d'abattage	Perte de conscience immédiate. Adapté aux poissons petits à moyens. Convient à l'abattage de nombreux poissons sur un temps court Pas besoin de sortir les poissons de l'eau Contrôle visuel aisé de l'inconscience Réitération simple au besoin. Permet le filetage avant la <i>rigor mortis</i>	Pas de paramètres standards pour toutes les espèces. Paramètres doivent être les bons pour tuer ou une méthode de mise à mort doit être associée Peut être dangereux pour les opérateurs Dommages à la carcasse peuvent survenir, la qualité peut être affectée Étourdissements ratés peuvent survenir (variabilité de résistance individuelle)	[69] [68]
	Électronarcose semi-sèche		Nécessité que le poisson rentre la tête la première dans le dispositif Courant avec les propriétés idoines (tension, intensité et fréquence) pour provoquer une inconscience immédiate C'est une méthode d'abattage ou d'étourdissement	Contrôle visuel aisé de l'inconscience. Réitération simple au besoin	Le mauvais positionnement du poisson induira des échecs. Les paramètres adaptés sont inconnus pour certaines espèces Pas adapté pour les mélanges de poissons de différentes tailles	[69]
Intoxication	Étourdissement au CO ₂	Truite arc-en-ciel			Méthode très stressante	[68]

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Méthode d'étourdissement/abattage		Espèces concernées	Problématiques pour le bien-être	Avantages	Désavantages	Références
Choc thermique/Asphyxie	Engourdissement par le froid	Saumon atlantique		Lente installation de la <i>rigor mortis</i> permet le filetage en <i>pre-rigor</i>	Pas d'étourdissement effectif Méthode stressante	[68]
	Asphyxie dans la glace ou dans une boue de glace	Bar commun Daurade Truite arc-en-ciel		Facilité de mise en œuvre Qualité alimentaire	Stress dû au choc thermique de refroidissement brutal	[68]

En gras : les méthodes reconnues comme « acceptables » par l'OIE.

Les étourdissements ratés surviennent quand la méthode n'est pas efficace. Pour l'électronarcose ou la commotion cérébrale, cela s'observe lorsque la perte de conscience n'est pas immédiate.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

La *rigor mortis* est plus intense mais retardée pour les daurades (*Sparus aurata*) tuées par commotion cérébrale contrairement à celles tuées par asphyxie dans l'air ou dans une boue de glace (1-2 °C)^[125]. La percussion a aussi montré son intérêt (dès 26 h *post mortem*) pour ralentir la diminution de fraîcheur du saumon (*Salmo salar*) au cours du temps par rapport à l'asphyxie dans l'air^[13].

Acerete et al. (2019) comparent 3 méthodes de mise à mort : l'asphyxie à l'air libre (AS), l'immersion dans une boue de glace (WI) et dans l'eau saturée en CO₂ (GC) sur le bar (*Dicentrarchus labrax*). Pour le bien-être il y a une différence majeure entre, d'un côté, le groupe AS (plus stressé) et de l'autre côté les groupes WI et GC (moins stressés). Ils concluent à une diminution des indicateurs de stress (Osmolarité, glucose, lactates et cortisol plasmatiques) pour les groupes GC et WI par rapport à AS. La glycémie est multipliée par 3,5 dans le groupe AS. Le cortisol est de l'ordre de 550 ng/mL contre 350 ng/mL pour GC et WI. La lactatémie des poissons WI est intermédiaire à celle des groupes AS et GC. Les autres indicateurs présentent des valeurs peu ou pas significativement différentes entre les poissons GC et WI. Ces observations sur le stress sont corroborées par Huntingford^[28] qui relève que d'autres auteurs sont arrivés aux mêmes conclusions : Les bars tués dans de l'eau glacée ont des concentrations plasmatiques en glucose et en lactates plus faibles et réagissent moins au plan comportemental que des animaux tués avec d'autres méthodes comme l'asphyxie dans l'air (et l'électronarcose). Si la *rigor* semble s'installer plus tôt avec l'asphyxie la différence n'est pas significative. Mais nous pouvons imaginer que c'est cette raison qui explique pourquoi le tableau XIX indique que le filetage *pre-rigor* est impossible avec l'asphyxie contrairement aux poissons tués dans une boue de glace.

Acerete et al. concluent à l'absence de différence sur la qualité gustative et les indicateurs de fraîcheur. Nous notons tout de même que le pH des poissons GC et WI est significativement plus élevé que chez les poissons AS entre 0 et 96 h *post mortem*. À 9 h *post mortem* le pourcentage de *rigor mortis* diminue plus tôt et plus vite avec l'asphyxie^[10]. En confrontant ces observations à celles de Marx nous pouvons proposer une classification de plusieurs méthodes pour le pH. En effet, après abattage GC (et stockage 3 à 8 j sur glace) le pH est diminué mais le pouvoir de rétention d'eau (PRE) est meilleur que pour les autres méthodes testées (électronarcose (EL), coup de couteau dans la nuque (CN) et commotion cérébrale (CO))^[160]. Aussi le **pH *post mortem*, associé à chaque méthode, est classé comme suit : EL ≈ CO ≈ CN > GC ≈ WI > AS. NB** : dans ce classement et tous ceux qui suivent le signe « ≈ » signifie qu'il n'existe **pas de différence démontrée** entre deux méthodes ou entre deux variables associées. **En l'absence d'étude d'équivalence il n'est pas rigoureusement possible de conclure à une équivalence, une égalité, etc.**

À ce stade nous avons encore peu évoqué l'électronarcose (EL). Celle-ci a été comparée au bain de CO₂ chez l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*). Les marqueurs de stress physiologique sont en discordance avec les comportements de stress. En effet, l'électronarcose les abolit mais les taux de cortisol sont significativement plus élevés avec cette méthode^[201]. Il est **difficile de conclure** pour l'instant sur son impact en termes de **stress** par rapport aux autres méthodes.

Zampacavallo propose une évaluation de différentes méthodes d'abattage dont justement l'électronarcose(EL) avec : l'eau glacée (WI) et la saturation en diazote (WIN₂) chez le bar (*Dicentrarchus labrax*). Les poissons sont ensuite stockés au réfrigérateur. Grâce à ce travail nous pouvons conclure sur des **paramètres de qualité sur l'électronarcose**.

L'**acide lactique** est présent en moins grande quantité 5 h *post mortem* après WI qu'après EL. WIN₂ s'approche de l'EL. La qualité, associée à chaque méthode, est donc classée comme suit : **WI > WIN₂ > EL**.

Le pH musculaire plus élevé du WI n'est pas significativement différent des deux groupes EL.

Pour l'ATP à 0 h et 3 h *post mortem* le stock est plus faible pour les poissons WIN₂ et encore davantage pour EL, à 5 h *post mortem* il n'y a plus de différence significative entre le WIN₂ et EL. Nous en déduisons le classement des **stocks d'ATP** associés à chaque méthode : **WI > WIN₂ ≈ EL**.

L'**index de fraîcheur** (K-value)⁴⁷ à J11 est plus faible pour WI que WIN₂ et EL. Cette tendance se maintient à J12 et J14 mais la significativité est gommée progressivement. La différence est aussi affectée selon les paramètres électriques de l'électroanesthésie (2 couples fréquence voltages sont testés). Nous en déduisons que pour la fraîcheur : **WI > EL**. WIN₂ se retrouve dans une position intermédiaire tantôt plus proche de WI, tantôt plus proche de EL.

Le maximum *rigor* est atteint en 3 h pour EL contre 6h pour WI. Pour le critère « *rigor mortis* d'installation lente » nous avons donc le classement : **WI > EL**^[136]. Là encore WIN₂ est tantôt plus proche de l'un, tantôt plus proche de l'autre.

Ainsi, cette publication permet dans le cas du bar de classer les méthodes par **ordre de qualité, associée à chaque méthode, comme suit : WI > WIN₂ > EL**.

Wills et al. (2006) se sont eux aussi proposés de comparer l'effet sur la concentration en ATP de l'étourdissement par asphyxie dans un bain de diazote (N₂) (mais sans glace et suivie d'une commotion), avec l'asphyxie à l'air libre (AS) et avec la commotion seule (CO). La commotion est faite avec un bâton en bois coupant. Les poissons sont des truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) de 340 g^[158].

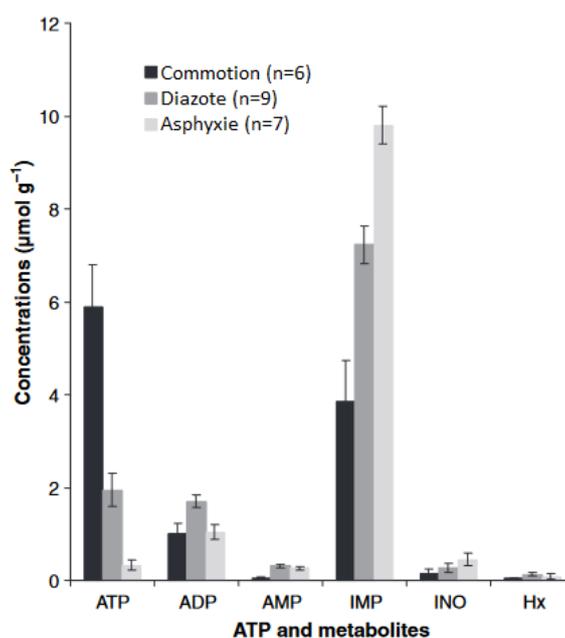


Figure 12 : Concentration en ATP dans la chair de truites immédiatement après la mise à mort selon les différentes méthodes d'abattage ©Wills et al. (2006). Valeurs moyennes ± erreurs standards de 6 poissons CO, 9 N₂ et 7 AS.

Nous constatons que la dégradation de l'ATP en IMP a déjà largement débuté pour les poissons AS avant même que le poisson ne trouve la mort. Il y a de fortes raisons de penser que le goût des poissons en sera affecté. Les poissons CO ont un stock d'ATP respectivement 6 et 3 fois supérieur à celui des poissons N₂ et AS. C'est peut-être une des raisons pour lesquelles selon

47 Ici Zampacavallo et al. ont fait le choix de la seconde formule de la K-value (cf. p. 65) où la K-value = $\frac{[Ino]}{([Hx] + [Ino] + [IMP])} \times 100$.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Tejada et Huidobro (2002) les poissons tués par commotion (et par boue de glace) sont meilleurs à la dégustation que les poissons tués par asphyxie^[125].

Bagni et al. (2007) ont étudié les effets (en termes de bien-être) de l'abattage par asphyxie dans l'air à 8 ± 2 °C (AS) et dans l'eau glacée à $1,4 \pm 1$ °C (WI) du bar (*Dicentrarchus labrax*) et de la daurade royale (*Sparus aurata*). Chez les poissons AS le temps pour atteindre l'inconscience (d'après l'arrêt du mouvement operculaire et du réflexe oculaire) est supérieur aux poissons WI. Cela suggère que l'asphyxie génère une souffrance plus longue. Les auteurs ont procédé à la mesure du pH directement dans la chair, des ROMs⁴⁸ (métabolites réactifs à l'oxygène) et de l'AOP⁴⁹ (pouvoir antioxydant) du sérum. Aucune différence significative de pH entre les méthodes n'a été mise en évidence. Les valeurs de ROMs et AOP anormalement basses en comparant avec les valeurs documentées chez d'autres espèces indiquent que les deux méthodes génèrent beaucoup de stress^[130].

Anesthésie huile de clou de girofle (70-95 % eugéno^[50]^[168,202] (CG), anesthésie au 2-phénoxyéthanol (PE), commotion (CO), immersion dans l'eau glacée de - 3 à 0 °C (WI), asphyxie et engourdissement sur la glace (ASI), anesthésie au clou de girofle puis immersion dans l'eau glacée de - 3 à 0 °C (CGWI), sont les différentes méthodes testées par Simitzis et al. (2014) sur le bar (*Dicentrarchus labrax*).

Les poissons CO, CG, PE ont un pH musculaire significativement plus bas que celui des poissons WI, ASI, CGWI ce qui suggère un impact de l'eau glacée sur l'évolution du pH en propre et/ou que l'eau glacée diminue le stress et donc le pH à 1 heure *post mortem*.

Dans les 24 h après la mise à mort : 1) La rétention d'eau de la viande crue n'est pas significativement impactée par les méthodes. 2) La brillance de la chair est modifiée par la méthode d'abattage : la brillance des poissons PE et CO est plus faible que celle des poissons ASI. Les colorations jaunes et rouges sont plus marquées sur les poissons ASI que CG mais l'oxydation des lipides (mesurée par la [MDA]) ne semble pas responsable de ça car pendant le stockage elle ne varie pas de manière différente selon les méthodes d'abattage.

Si nous dressons le bilan de l'expérience (cf. tableau XX) nous pouvons conclure à un impact clair des méthodes sur la qualité. Les critères ne donnent pas le même classement et les résultats obtenus ne permettent pas de classer à chaque fois toutes les méthodes.

Tableau XX : Classement des qualités associées à différentes méthodes d'abattage du bar (*Dicentrarchus labrax*) pour plusieurs critères d'après Simitzis et al. (2014)^[167].

Critère de qualité	Classement
Un pH élevé au début de la conservation est préférable	CGWI, WI, ASI > PE, CO, CG
Brillance forte recherchée	PE, CO > ASI
Coloration rouges et jaunes pas recherchées sur le bar (ce n'est pas une truite ou un saumon)	CG > ASI

Selon les auteurs, nous devons retenir que CG + WI améliore la qualité et le bien-être, l'anesthésie compensant le stress plus élevé induit par l'eau froide^[167].

En 2002, Tejada et Huidobro s'attellent à comparer 3 méthodes d'abattage sur des daurades royales (*Sparus aurata*) d'environ 300 g : Immersion dans boue de glace (WI), Asphyxie dans l'air (AS), Commotion puis immersion dans boue de glace (COWI). Ils ont constaté que : 1) Les

48 De l'anglais Reactive oxygen metabolites.

49 De l'anglais Antioxydant power.

50 Les concentrations en eugéno^[50] dans les huiles essentielles de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) documentées dans la littérature sont extrêmement variables.

comptages de flore totale étaient plus hauts au départ pour le lot AS, mais qu'ils remontaient plus tard pour le lot COWI. Après 12 jours de stockage sur glace, il n'y a plus de différences dues à la méthode d'abattage pour la flore totale. 2) Les comptages les plus élevés d'entérobactéries ont été détectés dans les lots tués par la glace et par asphyxie dans l'air : COWI > WI, AS. 3) Il n'a pas de différence significative entre le PRE des méthodes, de même que pour l'humidité du poisson cuit. Ces résultats ne permettent pas de dégager une influence claire de la méthode d'abattage sur la qualité malgré les nombreux paramètres étudiés^[125]. Les auteurs ont en effet mesuré l'apparition et la disparition de la *rigor mortis* selon la méthode de Sorensen et al.^[123], le pH, la composition en cendres brutes et en graisses, la concentration en oxyde d'azote de triméthylamine (TMAO-N), en azote basique volatil total (ABVT), TBARS pour évaluer le rancissement. Ils ont aussi évalué le pouvoir de rétention d'eau à la cuisson (g d'eau perdus /100g de muscle) et du PRE. Ils ont aussi ajouté un panel de goûteurs.

3) Comparaisons directes avec l'Ikejime

a) Ikejime vrai

Après nos recherches, il semble que seules deux études se penchent sur une comparaison des effets de l'Ikejime complet (décérébration et démyélinisation) avec d'autres méthodes d'abattage. L'étude de Salazar-Duque est en langue espagnole et a été réalisée au Mexique en 2019^[124]. Les auteurs réalisent une comparaison de l'Ikejime (décérébration, saignée, démyélinisation) avec l'asphyxie à l'air libre et la congélation à vif (-7,7 °C) dans un bain de glace sans saignée. Les expérimentateurs ont recours à 2 points de saignée en même temps pour favoriser une vidange directe et massive.

Il n'y a que 3 poissons pour chaque lot et cela ne permet pas de mettre en évidence une différence significative pour l'analyse sensorielle par un panel de testeurs. Il n'y a pas de saignée pour les poissons tués par asphyxie et congélation. Cela se comprend parfaitement dans la mesure où le recours à ces pratiques est en général guidé par une logique de gain de temps, ce qui implique de ne pas investir du temps pour saigner le poisson. Cependant, cela empêche de tirer des conclusions sur l'effet de l'Ikejime sur la viande au sens strict puisqu'il est mêlé à celui de la saignée.

L'Ikejime apporte une « mort apparente » plus rapide en moins de 5 minutes sur les 3 poissons testés. L'asphyxie donne lieu à une mort apparente en 11 à 15 minutes. La congélation à vif intervient en 6-10 minutes mais il n'y a aucune évaluation de l'état de conscience au-delà des comportements spontanés. Il n'y a pas de critères précis, de tests des réflexes, de recherche de signes neurologiques spécifiques comme l'abolition du réflexe vestibulo-oculaire (VOR). Pour les poissons congelés cela pose un problème : à une température si basse ils doivent avoir déjà commencé à durcir ou à se raidir. Ils pourraient congeler sans pour autant être inconscients.

Cette publication plaide en faveur de l'Ikejime comme méthode plus respectueuse du bien-être mais n'a pas la robustesse suffisante pour donner des conclusions tant au niveau statistique qu'au niveau des moyens d'évaluation de la souffrance. Ces moyens d'évaluation sont très subjectifs et mal définis. Les auteurs proposent par exemple de recourir à des mesures biochimiques du stress avec des hormones du stress par exemple^[124].

La seconde étude, la plus ancienne, est celle de Mishima et al. (2005). En dépit d'échantillons de petite taille (n = 4) les auteurs arrivent à des conclusions similaires à la comparaison de l'asphyxie avec la commotion chez la truite pour la comparaison de l'asphyxie (AS) à l'Ikejime complet (IK) chez *Trachurus japonicus* de Wills et al. (2006)^[158] (cf. p. 98). Les poissons ayant eu une « mort violente » par asphyxie (AS) comparés à ceux dont la moëlle épinière a été détruite (IK) voient leur [IMP] augmenter beaucoup plus vite que celle des IK dans les premières 48 h *post mortem*. Leur K-

value augmente plus vite dans les premières 48 h et la concentration en acide lactique augmente plus vite dans les 18 h *post mortem*, mais ensuite elle se stabilise à un même plateau^[145]. Les résultats montrent clairement que la décérébration épargne le stock d'ATP. Cette expérimentation inclut deux autres groupes : un ayant eu **seulement une décérébration** et un autre ayant été plongé dans l'eau glacée pendant 10 minutes avant d'être achevé par décérébration. Les résultats obtenus ne sont pas suffisamment robustes pour permettre de prouver des différences significatives entre le groupe des poissons IK (décérébration + démyélinisation) et les deux autres que nous venons d'évoquer. Cela aurait pu permettre de corroborer l'intérêt de la démyélinisation en plus de la décérébration seule en confirmant que la démyélinisation permet d'épargner encore davantage le stock d'ATP. Par ailleurs nous apprenons que la démyélinisation ralentit l'acidification de la viande par l'acide lactique. La K-value augmente aussi plus lentement au cours des 24 premières heures et est plus faible à 48 h que celle des autres groupes (décérébration comprise). La destruction médullaire semble donc impacter positivement la fraîcheur sur les premières 48 heures en ralentissant la dégradation du poisson par les phénomènes autolytiques.

b) Décérébration seule

Dans la plupart des études d'envergure sur le sujet, c'est la **décérébration seule (« spiking », « coring »** en anglais) qui domine le tableau. Nous suggérons que ces résultats peuvent être rapprochés de l'Ikejime car la décérébration en est une partie et suffit à induire l'inconscience.

i. Études sur le niveau d'inconscience induit, la souffrance.

Nous avons déjà évoqué que l'évaluation de l'activité cérébrale par l'ECG (éventuellement avec les VERs) est la méthode de référence de l'évaluation de l'état de conscience à l'abattage selon More et al. (2018)^[88]. La méthode de Kestin, van de Vis et Robb (2002) fait aussi référence pour évaluer les réponses aversives spontanées (en réaction à la peur, la douleur) et l'état de conscience. Nous avons utilisé le tableau XXI pour comparer les différentes méthodes d'abattage à l'Ikejime du point de vue du bien-être.

Tableau XXI : Comparaison de l'évaluation comportementale et par électroencéphalogramme de l'abolition de la conscience pour différentes méthodes d'abattage ©Kestin et al., 2002^[93].

Espèce	Méthode d'abattage	Temps moyen en minutes avant la perte des			
		Comportements spontanés	Réponses aux stimuli	Réflexes	VERs
Truite	Commotion	0	0	0	0 ¹
	Narcose au CO ₂	4,5	5,7	5,8	4,7 ¹
	Électronarcose	0	0	0	0 ¹
Saumon	Commotion	0	0	0	0 ²
	Narcose au CO ₂	1,6	1,7	6,6	6,1 ²
	Saignée par branchie	2,2	2,8	3,6	4,7 ²
	Décérébration	0	0	0	0 ²
	Électronarcose	0	0	0	0 ³
Daurade	Asphyxie dans l'air	4	7,5	14	5,5 ⁴
	Boue de glace	5	10	10	5 ⁴
	Électronarcose	0	0	0	0 ⁴

Espèce	Méthode d'abattage	Temps moyen en minutes avant la perte des			
		Comportements spontanés	Réponses aux stimuli	Réflexes	VERs
Anguille	Électronarcose	0	0	–	0 ⁵

VERs : Visual evoked responses ; ¹ Kestin et al. (1995) ; ² Robb et al. (2000) ; Observations non publiées ; ⁴ D. H. F. Robb, M. O'Callaghan, S. B. Wotton, M. Tejada, S. C. Kestin, observations non publiées, ⁵ van de Vis et al. (2001)

Nous observons que :

- Le bain saturé en CO₂, l'asphyxie à l'air libre et l'immersion dans une boue de glace sont associés à un maintien de la conscience oscillant entre 4,7 et 6,1 minutes⁵¹ en moyenne. L'intensité du stimulus est maximale puisqu'il provoque la mort dans tous les cas et la durée est très importante. La souffrance ressentie (intensité x durée)^[88] est donc maximale avec ces méthodes.

- Chez le saumon la capacité de l'animal à montrer des réflexes et la persistance de la conscience sont très raccourcies dans le temps suite à la saignée. Nous supposons que c'est lié à l'hémorragie et à l'asphyxie. C'est un point noir de cette méthode pour le bien être car, en plus de provoquer des souffrances aussi importantes que l'asphyxie au CO₂, elle empêche l'opérateur de tester efficacement l'état de conscience. Il peut avoir, à tort, l'impression de limiter la souffrance. Avec le CO₂ les réflexes perdurent plus longtemps mais les réactions et comportements spontanés sont encore plus vite arrêtés. Peut-être à cause de la toxicité nerveuse du CO₂ dans le sang.

- L'asphyxie dans la boue de glace semble (pour la daurade) permettre des réflexes nerveux après la perte de conscience. Le moment de survenue de la perte de conscience d'après l'ECG est synchrone de l'arrêt des comportements spontanés. Si la souffrance dure, elle n'est pas masquée.

- L'électronarcose, la commotion (« percussion ») et la décérébration (« spike ») induisent une **inconscience immédiate, synchrone des signes comportementaux et neurologiques**. La souffrance est en théorie **minimale**. Il faut cependant avouer que la décérébration n'est pratiquée que sur le saumon dans une seule expérience ce qui doit conduire à rester prudent quant à une absence de différences avec l'électronarcose et la commotion. Des résultats de la décérébration par un poinçon creux donnent des résultats semblables avec une perte immédiate des comportements spontanément initiés et une perte moyenne des VERs vers 30 secondes^[13]. Un autre essai expérimental avec une aiguille captive, et l'injection d'air (3 bars) par un pistolet pneumatique dans la brèche pendant 1,5 s, mené par Lamboij et al. (2002)^[188] sur 53 anguilles (*Anguilla anguilla*) sous ECG, vient en renfort de ces observations.

Sur 42 individus avec des ECG exploitables 76,2 % ont mis 11 (± 8) s pour être inconscients d'après l'analyse de l'ECG spontané. 21 % ont montré un encéphalogramme ne traduisant aucune activité cérébrale immédiatement après la décérébration, c'est-à-dire une inconscience immédiate. Les auteurs ont estimé que 93 % (p < 0,05) des anguilles pouvaient être efficacement étourdies par décérébration. Il nous semble que compte tenu des difficultés de contention (compréhensibles avec cet espèce) évoqués par les auteurs, ce chiffre insiste sur l'efficacité de la destruction du cerveau pour induire une inconscience complète des poissons devant être mis à mort^[188].

Si nous nous intéressons en détail à l'étude sur le saumon de Robb et al.^[90] que nous venons d'évoquer nous constatons que la méthode supposée correspondre à la décérébration de l'Ikejime est un peu différente. La destruction du cerveau est réalisée avec un boulon creux propulsé dans la tête avec un pistolet pneumatique. Cette technique induit beaucoup de tirs « ratés » d'après les auteurs : 5 tirs de piètre efficacité sur 10 et un tir supplémentaire exclu des résultats car ayant

51 NB : Sur la figure 8 les points entre les chiffres sont des virgules.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

complètement manqué le cerveau. Si nous faisons abstraction de ces résultats de tirs « ratés » la décérébration semble une méthode très intéressante. La technique pour y parvenir ici n'est peut-être simplement pas la bonne. Elle ne rend peut-être pas correctement compte de la fiabilité de l'Ikejime manuel, avec un tegaki adapté et un opérateur entraîné^[161,181].

La comparaison repose sur les critères comportementaux et l'activité cérébrale supposés rendre compte du degré d'aversion et de l'état de conscience du poisson face aux différentes méthodes. Nous avons résumé ces résultats dans le tableau XXII.

Tableau XXII : Comparaison des méthodes d'abattage entre elles chez le saumon atlantique (*Salmo salar*) d'après Robb et al. (2000)^[90].

		Saignée par l'artère branchiale	CO ₂ : Immersion dans une eau saturée en CO ₂	Commotion cérébrale avec un pistolet pneumatique pour l'abattage des petits animaux (comme un matador miniature)	Destruction du cerveau avec un boulon creux (supposé mimer l'Ikejime)
Comportement	À la sortie de l'eau	Quelques coups de queue		Quelques coups de queue	Quelques coups de queue
	Coups de queue	Nombreux et vigoureux	Vigoureux	Un ou deux sur les tirs « ratés »	Lors des tirs « ratés »
	Secouement de tête	Nombreux et vigoureux	Vigoureux		réponse variable la pire étant des mouvements pendant 30s.
	Trémulation musculaire			Bref après les tirs réussis.	
	Réponse globale	Réaction de forte aversion pendant 4 minutes. Parfois 7 min avant arrêt complet des réactions.	Inconscience partielle pour 2/10 pendant 9 minutes dont 4 de saignée.	Seule la sortie de l'eau pose problème. Mort instantanée.	Seule la sortie de l'eau pose problème. Mort instantanée. 5/10 « ratés » + 1 échec complet.
Conscience (VERs)	Vitesse de la perte de conscience	283 (± 32) ^a	367 (± 32) ^a	97 (± 53) ^b	102 (± 29) ^b

VERs : Visual Evoked Responses (cf. p. 51).

^a : significativement différents de ^b; p-value < 0,01.

Les méthodes dites de **commotion et de décérébration** sont **très semblables** en leurs effets chez le **saumon** d'après cette étude. Même si le modèle de « l'Ikejime » ne convient pas selon nous, l'expérience permet de constater que la décérébration (quand elle est réussie) se distingue très positivement de la seule saignée et de la méthode d'asphyxie dans l'eau au CO₂ dont le seul avantage est **l'absence de nécessité de sortie du poisson de l'eau**.

ii. Études sur la souffrance et la qualité

Sorensen et al. (2004) publie un article comparant la viande et le stress après commotion cérébrale « percussion » avec la « concussion » + décérébration avec une pique « spiking » chez le saumon (*Salmo salar*), après 10 jours de jeûne dans une eau à 5-6 °C^[123].

Après abattage les poissons étaient conservés sur glace dans une chambre froide. L'analyse sensorielle a consisté en l'évaluation sensorielle de 14 critères sur 2 filets après cuisson à 5 stades (J1,J2,J3,J4,J5). Le panel de 8 goûteurs n'a pas mis-en-évidence de différence de goût, d'odeur ou de texture entre les méthodes d'abattage à l'exception du goût d'eugénol déjà évoqué plus tôt (cf. p. 77).

À 1,5 et 10 minutes post-application de la méthode d'abattage les auteurs ont attribué une note de niveau de conscience avec la grille de la méthode de Kestin, van de Vis et Robb, (2002)^[93]. Ces niveaux de conscience étaient d'autant plus élevés qu'était forte la réponse à des stimuli divers (aiguille sur le nez, pichenette sur la queue et stimulation avec une pile de 6V DC). Les résultats sont résumés dans le tableau XXIII.

Tableau XXIII : Résumé d'une comparaison de la décérébration, la commotion, l'asphyxie au CO₂ et la saignée d'après Sorensen et al. (2004)^[123] avec la méthode de Kestin, van de Vis et Robb, (2002)^[93] chez *Salmo salar*.

	Anesthésie avec l'Eugénol	Commotion	Commotion + Décérébration	CO ₂	Saignée par les artères branchiales
Score de conscience à 1,5 minutes	≈0/2	0/2	0,4/2 mais 0/2 en enlevant les « ratés »	1,1/2	1,8/2
Score de conscience à 10 minutes	< 0,4/2				0,6/2
Analyse sensorielle (après conservation sur glace)	« Saveur d'eugénol » dans la viande cuite	Pas de différence significative			

L'expérimentation met en évidence des différences significatives en faveur d'un bien-être accru avec l'eugénol et la commotion. Ce que les auteurs ont qualifié de « Spiking », le simili Ikejime, donne lieu à de bons résultats quand il est réussi mais en pratique il y a eu beaucoup de « ratés » donc les résultats sont peu conclusifs quant à la décérébration. De plus, le mélange commotion + décérébration est étonnant. Il est impossible avec cette méthode de conclure à un effet de la décérébration seule puisqu'elle est précédée de la commotion.

Nous notons aussi que le pas de temps (3,5 minutes) est important. Peut être passons nous à côté d'autres différences entre les méthodes. Les auteurs ne rendent pas compte de l'évaluation systématisée des comportements spontanés ou des réflexes cliniques (VOR et mouvements operculaires) des poissons. Ils indiquent juste que les poissons tués par le CO₂ ou la saignée continuaient aussi de présenter des comportements spontanés et des réflexes.

Dans leur revue de littérature de 2002 Robb et Kestin proposent une évaluation synthétique des effets des méthodes qu'ils utilisent d'une part sur le bien-être et d'autre part sur la qualité. Ils la résument dans le tableau XXIV.

Tableau XXIV : Résumé des impacts négatifs sur le bien-être et la qualité pour différentes méthodes d'abattage du poisson d'après Robb et Kestin (2002)^[30].

Méthode d'étourdissement/ mise-à-mort	Degré d'impact négatif sur le bien-être	Degré d'impact négatif sur la qualité de la viande
Asphyxie à l'air libre	Élevé	Élevé
Asphyxie eau glacée	Élevé	Faible
Saignée	Très élevé	Élevé
Narcose au CO ₂	Élevé	Élevé
Éviscération	Très élevé	Élevé
Décapitation	Très élevé	—
Anesthésie	Très faible	Très faible
Bain anoxique (eau dégazée ou saturation N ₂)	Élevé	—
Commotion	Faible	Faible
Décérébration (≈ Ikejime)	Faible	Faible
Balle dans la tête	Faible	Faible
Électronarcose	Très faible	Faible

— : absence de suffisamment de données

En septembre 2004, Poli présente les travaux de son équipe sur les méthodes d'abattage du bar (*Dicentrarchus labrax*) au congrès de la WEFTA (West European Fish Technologist's Association⁵²)^[101]. Elle et son équipe ont procédé à la comparaison expérimentale disponible à ce jour la plus exhaustive des méthodes d'abattage des poissons : Eau glacée (WI), Asphyxie (AS), Eau saturée en CO₂ (GC), Électronarcose dans l'eau 2 minutes 4 V, 50 Hz courant alternatif (EL), **Décérébration par un pic dans la tête** (SP), Commotion (CO), Eau glacée saturée avec 100 % de diazote (N₂) (WI-N₂), ou 100 % CO₂ (WI-100GC), ou 40 % N₂ et 60 % CO₂ (WI-60GC), ou 60 % N₂ et 40 % CO₂ (WI-40GC) sur la base d'une multitude de paramètres comportementaux, hématologiques, de qualité de la viande, etc. De nombreux tableaux de résultats sont disponibles dans la publication et permettent de faire de très riches analyses. Nous nous concentrerons sur une étude succincte du classement des méthodes pour le bien-être. Pour cela nous nous appuyerons sur les données de l'évaluation de la conscience du tableau XXV. Nous étudierons également les paramètres biochimiques du sang sur la base du tableau XXVI.

52 Association des techniciens aquacoles d'Europe de l'ouest en français.

Tableau XXV : Comparaison de la réaction aux stimuli externes chez le bar pour différentes méthodes d'abattage ©Poli et al. (2004)^[101].

Méthode	Comportement du poisson	Perte/absence de réaction aux stimuli externes après application de la méthode d'étourdissement (en minutes)
WI	Étourdissement lent et peu violent	20,0 (± 5,5) (Essai 1)
GC	Agonie violente pendant la 1ère minute	7,0 (± 1,4) (Essai 1)
EL	Non évalué	2
AS	Agonie prolongée et violente	70,0 (± 27,6) (Essai 1)
CO	Lutte violente avant la mort	0
SP (≈IK)	Lutte violente avant la mort	0
WI-N2	Étourdissement lent et non violent	17,0 (± 1,0) (Essai 4)
WI-60GC	Agonie violente pendant les 30 1ères secondes	3,5 (± 0,5) (Essai 6)
WI-40GC	Agonie violente pendant les 30 1ères secondes	3,5 (± 0,5) (Essai 6)
WI-100GC	Agonie violente pendant les 30 1ères secondes	3,5 (± 0,5) (Essai 6)

La mise à mort par commotion et par décérébration sont équivalentes ici aussi ce qui confirme les résultats de Robb et al. (2000)^[90], Kestin et al. (2002)^[93] et Robb et Kestin (2000)^[30] vus précédemment. Pour l'électronarcose ce tableau ne conclut pas à une égalité avec la commotion et la décérébration comme Kestin et al. (2002) incite à le faire, peut-être du fait de la différence des paramètres des courants imposés lors de l'électronarcose. L'électronarcose reste tout de même ici aussi très rapide. Les méthodes avec des saturations en CO₂ dans l'eau froide sont rapides (3,5 minutes) mais la souffrance induite pendant les 30 premières secondes semble intense. Avec une eau à température normale le temps est doublé (7 min) comme le temps d'agonie violente. Le bain anoxique (saturation en N₂) d'eau glacée semble générer une souffrance moins intense mais de longue durée (17 minutes). L'eau froide seule semble une stimulation négative moyennement intense mais elle se prolonge 20 minutes durant au profit d'une souffrance globale donc assez élevée^[30] comme le disent Robb et Kestin (2002)^[30]. Il faut néanmoins se rappeler que chez la daurade les réflexes sont les derniers signes de conscience à disparaître après les VERs comme en rendent compte Kestin et al. (2002)^[93] (respectivement 10 et 5 minutes).

Faute d'étude des VERs rien ne garantit que le tableau XXV reflète parfaitement la durée de maintien réel de la conscience.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Tableau XXVI : Comparaison des méthodes d'abattage du bar à l'aide des paramètres sanguins rendant notamment compte de la souffrance ©Poli et al. (2004)^[101].

Paramètre sanguin	Essai	WI	AS	CO	SP (≈IK)	GC	EL	WI-100GC	WI-60GC	WI-40GC	WI-N ₂	rsd	significativité
Cortisol (ng/mL)	2	21,9	40,1	35,8	85,3	63,8	82,3					39,6	ns
	3	24,3 ^b	32,5 ^b	31,6 ^b	38,3 ^b	8,2 ^b	112,3 ^a					35,8	**
	4	23,1 ^b			47,6 ^a				10,8 ^b		19,0 ^b	10,6	***
	6	23,1 ^{bc}						43,5 ^{ab}	19,6 ^c	47,4 ^a		17,1	*
Glucose (mg/dL)	2	151,7 ^b	350,0 ^a	112,2 ^b	114,8 ^b	148,8 ^b	165,8 ^b					48,0	***
	3	116,8 ^c	250,6 ^a	82,6 ^{cd}	74,0 ^d	74,0 ^{cd}	157,8 ^b					28,1	***
	4	106,8			124,9				119,0		109,0	15,0	ns
	6	226,6						201,2	212,6	209,0		59,1	ns
Lactates plasmatiques (mg/dL)	2	67,0 ^b	123,8 ^a	64,0 ^b	97,0	97,6	92,8					26,9	*
	3	62,8 ^b	104,0 ^a	50,2 ^{bc}	33,0 ^c	47,8 ^{bc}	99,6 ^a					17,8	***
	4	51,0 ^b			69,9 ^a				47,0 ^b		49,6 ^b	9,4	**
	6	93,0						72,6	59,6	125,0		36,1	ns
Hématocrite (%)	3	36,0 ^b	50,6 ^a		25,6 ^c	33,6 ^{bc}	48,8 ^a					6,6	***
	4	33,4			26,8 ^b				33,0		38,6 ^a	5,0	*
	6	35,8						44,4	42,8	41,4		5,4	ns

* : 0,01 < p-value < 0,05; ** : 0,001 < p-value < 0,01; *** : p-value < 0,001 ; ns : non significatif ; ^{a,b,c} : lettre différente en exposant implique différence avec p-value ≤ 0,05.

Les résultats biochimiques du tableau XXVI ne rendent pas toujours bien compte des constatations faites précédemment. En plus du stress, des phénomènes liés à la température, aux mouvements du poisson, etc. entrent en ligne de compte. Les résultats sont assez différents selon les essais. Il semble que l'électronarcose soit associée à des lactates (97 mg/dl) et un taux de cortisol (112 ng/mL) élevés dans le plasma. Pour l'asphyxie à l'air libre la lactatémie est aussi élevée (124 et 104 mg/dL). L'hématocrite et la glycémie après usage de ces deux méthodes sont aussi significativement plus élevées. Il semble que l'asphyxie et l'électronarcose soient génératrices d'un stress physiologique important. Celui qui est lié à l'asphyxie dure beaucoup plus longtemps mais l'électronarcose n'est peut être pas si anodine en termes de souffrance si le poisson n'est pas immédiatement inconscient. Les qualités de cette technique pour amoindrir les souffrances à l'abattage sont donc bel et bien largement dépendantes des paramètres de l'engin d'électronarcose (courant, volume d'eau, nombre de poissons, gamme de poids et de taille prévues des poissons, conductivité de l'eau, etc.). Ce qui nous conduit à la question suivante : ce constat préfigure-t-il de possibles impacts négatifs de l'électronarcose sur la qualité de la chair ?

Dans le cas de la décérébration, il est difficile de dégager des tendances claires des résultats. Nous pouvons constater que le taux de lactates sanguins associé à la décérébration est plus faible qu'avec l'asphyxie ou l'électronarcose.

L'eau glacée provoque une augmentation des taux de glucose par rapport à l'asphyxie mais pour la lactatémie nous sommes face à la situation inverse. C'est cohérent avec une forte consommation d'énergie due aux comportements aversifs du poisson asphyxié dans l'air en

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

comparaison à celui abattu dans une boue de glace plus calme. Mais quid de l'état émotionnel du poisson ? Est-il pour autant meilleur ?

Pour conjuguer ces aspects de bien-être avec ceux de qualité, Poli et al. ont cherché à établir plusieurs scores de nuisance. Ils les ont ensuite compilés pour proposer un classement global des meilleures méthodes bien-être et qualité confondues. Ils notent le degré **de nuisance croissante de 0 à 100** (100 = score le plus mauvais) (cf. tableau XXVII). Ce tableau et ce score sont beaucoup plus précis que la classification à 4 modalités de Robb et Kestin (2002)^[30]. Le nombre de méthodes évaluées n'est cependant pas aussi important.

Il en ressort que selon Poli et al. **l'asphyxie à l'air libre à température ambiante est la pire méthode** car elle est longue (plus d'une heure) et provoque des réactions très violentes du poisson pendant les 3 premières minutes. De plus, concernant la qualité, elle pousse le poisson à consommer ses réserves énergétiques de sorte que la *rigor mortis* s'installe plus vite. Les auteurs ont conclu que cette méthode est associée à une **conservation moins longue**.

La méthode dans l'eau froide permet une conservation des réserves cellulaires d'énergie des poissons. À 3 heures *post mortem* les groupes asphyxie, commotion et CO₂ ont des index de *rigor* plus élevés (85-100 %) que la méthode censée équivaloir à l'Ikejime (la décérébration par un pic) (60 %) ou l'eau glacée (45 %).

Tableau XXVII : Résumé des résultats analytiques des 6 expérimentations par un « score de nuisance » ©Poli et al. (2004)^[101].

	WI-60GC	WI-N ₂	WI	CO	WI-40GC	SP (=IK)	GC	WI-100GC	EL	AS	Correlation
Durée avant la mort	5,7	24,3	31,4	0,0	5,7	0,0	10,0	5,7	2,9	100,0	0,733*
Hématocrite du sang	48,0	50,8	36,3		62,3	0,0	30,3	74,6	92,6	100,0	0,659ns
Cortisol sanguin	0,0	4,6	9,6	22,5	39,2	51,0	25,3	34,5	100,0	25,7	0,412ns
Glucose sanguin	33,7	5,7	26,2	0,0	55,0	3,5	11,8	51,2	31,7	100,0	0,714*
Lactates sanguins	4,9	0,0	25,0	9,9	100,0	22,6	30,6	30,5	61,8	85,3	0,636*
Lactates musculaire au moment de la mort			0,0			30,7	45,4		57,1	100,0	0,962**
pH oculaire au moment de la mort	43,9	24,0	0,0	14,6	36,6	6,5	53,7	70,7	13,4	100,0	0,623ns
pH musculaire au moment de la mort	0,0		12,4	74,3	60,0	55,7	48,6	28,6	35,7	100,0	0,664*
ATP au moment de la mort	0,0		47,8	27,6	19,9	29,7	61,9	50,8	64,5	100,0	0,905***
IMP au moment de la mort	0,0		39,8	60,6	9,0	30,2	61,7	15,5	61,8	100,0	0,801**
HxR au moment de la mort	0,0		5,7	13,6	0,0	19,8	11,5	0,0	12,4	100,0	0,876***
AEC au moment de la mort	0,0		49,6	43,6	15,4	37,2	73,1	33,3	78,2	100,0	0,847**
Index de <i>rigor</i> 3 jours <i>post mortem</i>	9,5	17,7	7,7	64,7	46,3	0,0	96,5	100,0	78,8	100,0	0,683*
Survenue maximum de contraction isométrique	41,1	25,4	15,0			21,9	0,0		89,9	100,0	0,776*
Évaluation par un testeur à 10 jours <i>post mortem</i>	60,0		83,0		0,0	80,0		66,0	53,0	100,0	0,417ns
Compacité musculaire à 6 heures après la mort			0,0			100,0	33,3		87,0	86,1	0,522ns

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

	WI-60GC	WI-N ₂	WI	CO	WI-40GC	SP (≈IK)	GC	WI-100GC	EL	AS	Correlation
Fraîcheur selon la valeur K à 9 jours <i>post mortem</i>	100,0		0,0		63,6			75,1			-0,123ns
Score synthétique de l'UE à 7 jours <i>post mortem</i>	0,0	50,7	47,1		8,8	54,7	58,8	3,4	81,8	100,0	0,735*
Score synthétique de l'UE à 10 jours <i>post mortem</i>	5,8		35,3		0,0	66,0		57,7	61,5	100,0	0,834*
Score final de démerite moyen	20,7	22,6	24,8	30,1	32,6	33,9	40,8	43,6	59,1	94,3	

* : 0,01 < p-value < 0,05; ** : 0,001 < p-value < 0,01; *** : p-value < 0,001 ; ns : non significatif. La dernière colonne correspond à la corrélation (et la significativité) entre le paramètre évalué sur cette ligne et le score final.

Ce travail nous renseigne aussi sur les paramètres les plus pertinents pour évaluer la méthode la moins nuisible à la qualité et au bien-être. Quand la corrélation n'est pas significative le critère de la ligne n'est donc pas prédictif du score global des méthodes d'abattage. Certains paramètres de stress le sont (glucose, lactates, temps avant la mort). Des critères de qualité sont également très corrélés à ce score final, comme la [ATP] et ses métabolites, le pH musculaire, l'index de *rigor* et les scores synthétiques de l'UE.

L'**électronarcose** et les méthodes dans l'**eau glacée** ou **normale avec du CO₂ à 100 %**, comme celles avec de l'eau glacée et 40 % CO₂/60 % N₂, la **décérébration** avec un pic et la **commotion** ont des **scores de nuisance intermédiaires**. Il semble que l'**eau glacée seule ne produise pas un stress majeur** corroborant les hypothèses sur la possibilité d'obtenir une sorte d'anesthésie du poisson avec le froid^[156]. L'abattage avec **60 % CO₂/40 % N₂ serait la méthode la moins nuisible** indiquant un réel **bénéfice au mélange du CO₂ avec l'azote minoritaire**. La durée avant l'obtention de l'inconscience passe ainsi de **20 à 4 minutes environ**.

Ce travail nous donne la classification synthétique suivante par ordre de mérite des méthodes d'abattage chez le bar (stress et qualité confondus) : **Asphyxie dans l'eau glacée saturée avec 40 % N₂ et 60 % CO₂ > Eau glacée saturée avec 100 % N₂ > Eau glacée > Commotion > Eau glacée saturée avec 60 % N₂ et 40 % CO₂ > Décérébration > Eau saturée en CO₂ > Eau glacée saturée en CO₂ > Électronarcose > Asphyxie à l'air libre**.

Avec seulement 4 niveaux de classification le classement que suggère Robb est aussi moins fin (cf. tableau XXIV). Cet aspect permet probablement d'expliquer pourquoi il ne trouve pas de différence entre l'eau saturée au CO₂ et l'asphyxie à l'air libre contrairement à Poli.

Nous retenons de l'analyse de ces études plusieurs éléments importants :

- Peu d'expérimentations donnent des renseignements sur l'ikejime *stricto sensu*. Nous disposons de données intéressantes sur la décérébration mais les méthodes de décérébration varient.

- Les données disponibles sur la décérébration la placent comme une méthode parmi les moins négatives pour le bien-être et la qualité des poissons.

- La décérébration semble équivalente à la commotion.

- La place de l'électronarcose est encore à préciser au niveau de la qualité mais il semble qu'en termes de respect du bien-être elle soit proche de la commotion et de la décérébration.

- L'asphyxie à l'air libre semble être de loin la plus mauvaise méthode avec une dégradation forte des indicateurs physiologiques et comportementaux de bien-être et une durée de conservation raccourcie.

Partie 1 – Étude bibliographique : L'Ikejime, une méthode d'abattage parmi d'autres

Nous nous demandons néanmoins, si les méthodes évaluées correspondent bien à la réalité de la pratique de l'Ikejime par les professionnels en France. L'absence de la méthode Ikejime complète (décérébration + déméduation) et manuelle, telle que décrite dans le guide de bonnes pratiques et par les professionnels rencontrés^[14,181,190], appelle d'autres recherches sur ce thème.

C- Avis officiel sur l'Ikejime de l'EFSA.

1) Sur la qualité

Le « spiking » désigne la composante décérébration de l'Ikejime. Les poissons tués par « spiking » ont une activité physique réduite au moment de la mort ce qui induit une acidification *post mortem* ralentie de la viande et donc une mise en place plus lente de la *rigor mortis*^[42].

2) Sur le bien-être

Selon l'EFSA^[42] l'Ikejime serait seulement utile sur des poissons de grande taille pour lesquels il n'y a pas déjà de dispositif d'abattage percussif développé. Car la méthode serait identique et aussi difficile à réaliser que l'abattage percussif. La mort par décérébration (insertion manuelle d'un pic dans le cerveau) ne devrait, selon eux, pas être utilisée car elle serait trop lente à réaliser. Ils mettent en avant le temps qui peut s'écouler entre la capture/remontée à bord des thons et la mise à mort avec la technique (10 secondes à 1 minute). Si des témoignages vont dans ce sens, à propos de la difficulté et des dangers qu'il peut y avoir avec l'Ikejime des thons, une contention adéquate doit permettre de solutionner ces difficultés^[161].

L'EFSA insiste sur la nécessité d'utiliser des outils spécifiquement conçus pour l'Ikejime. Pourtant de nombreux professionnels fabriquent eux-mêmes leurs outils ou détournent des objets comme les pics à glace^[14,178,181,186]. Le tegaki peut être « fait maison ». Mais il est indispensable que l'outil réponde aux caractéristiques de **salubrité** des installations et matériels ayant un **usage agroalimentaire**^[186]. Pour la déméduation, les fils à mémoire de forme semblent très intéressants pour faciliter le travail et diminuer le risque de pénétrer dans la chair par effraction du canal vertébral...

Selon l'EFSA la précision justifierait d'appliquer la technique uniquement sur des poissons de plus de 10 kg avec un dispositif de contention individuelle^[42]. Il ne faut pas mélanger les questions de taille et de technique, la précision avec la valeur ajoutée, ce sont des choses bien différentes. Premièrement, contrairement à ce qu'avance l'EFSA et selon les professionnels interrogés^[14,181], la taille n'empêche pas la réalisation de la technique dans de bonnes conditions. Cette conclusion de l'EFSA s'appuie uniquement sur l'expérience de décérébration de Robb et al. (2000)^[90], avec la technique mécanique conçue pour l'occasion qui ne ressemble pas à l'Ikejime manuel^[14,178]. Deuxièmement, la technique est chronophage et le temps dépendra assez peu de la taille du poisson. Cet investissement doit être valorisé dans le prix de vente. Il est clair qu'il ne pourra pas l'être pour une sardine de 15 g comme pour un bar de 3 kg.

Enfin, tout comme nous, l'EFSA relève un manque de données pour évaluer l'Ikejime, notamment sur le fonctionnement de la technique chez beaucoup d'espèces.

D- Conclusion

Les conclusions de l'EFSA sont assez peu élogieuses pour l'Ikejime. Mais au regard des publications que nous avons étudiées, l'Ikejime semble être une méthode intéressante (comme la commotion, ou l'électronarcose) pour diminuer la souffrance et améliorer ou maintenir certains standards de qualité du poisson conventionnel. Les données nombreuses à se concentrer sur la décérébration ne rendent pas complètement compte du potentiel complet de l'Ikejime s'il dépend

réellement de la déméduation comme certains le suggèrent. Nous allons étudier l'Ikejime complet (avec déméduation) dans notre partie expérimentale.

Par ailleurs nous nous demandons si l'usage d'outils standardisés comme l'Ikigun® est un atout ou non. La diversité des conditions de pratique (en mer, à terre) et d'espèces, de taille des poissons, etc. n'est peut-être pas propice à la standardisation. Nous avons vu que les étourdissements/mises à mort ratés avec des pistolets pneumatiques sont fréquents^[90]. L'abattage avec un tegaki manuel n'est-il pas plus avantageux ? C'est lui que nous allons étudier puisqu'il est utilisé sur le terrain^[14,176,181].

V- Conclusion

Cette partie bibliographique présente un état des lieux des méthodes d'abattage utilisées à ce jour pour les poissons. Nous avons constaté que les pratiques de l'Ikejime sont diverses. Pour autant nous manquons de données pour rendre parfaitement compte de cela. En France une filière apparaît mais elle est encore peu structurée. Celle-ci s'inscrit dans une démarche de niche, avec devant elle de bonnes perspectives de développement malgré tout, en complément d'une offre traditionnelle.

Il est clair que le bien-être a, notamment lors de l'abattage, une importance grandissante dans notre société occidentale. Les poissons, quelque peu délaissés par ces préoccupations récentes, sont de plus en plus l'objet de réflexions quant à leurs souffrances. La réglementation en vigueur est assez peu contraignante sur ce sujet. Si beaucoup de progrès sont encore à faire, la filière Ikejime est une des illustrations de l'intérêt des acteurs de la pêche pour un plus grand soin des poissons comme êtres vivants et comme matière première.

Nous avons constaté que toute technique d'abattage, quel que soit son « raffinement », est stressante pour le poisson. Mais certaines sont effectivement moins source de souffrances que d'autres^[28]. Ces souffrances impactent aussi la qualité du poisson et à cet égard toutes les techniques ne se valent pas non plus. La décérébration semble apporter des bénéfices semblables aux meilleures techniques qui sont actuellement employées. La déméduation chez *Trachurus japonicus* change la cinétique de certains marqueurs de qualité y compris par rapport à la décérébration seule mais nous n'avons aucune idée de son impact éventuel sur le stress, de l'aspect sensible de ces modifications sur la fraîcheur ou la texture. Aussi, considérant que c'est cette déméduation qui fait toute l'originalité de l'Ikejime, il est précipité et inadapté de mettre un point final à l'évaluation de cette méthode sans la pratiquer entièrement. La partie expérimentale de ce travail de thèse présente ainsi une comparaison de l'asphyxie, la commotion, l'électronarcose et l'Ikejime. Nous confronterons les résultats obtenus sur le stress et la qualité du poisson à la bibliographie. Nous résumerons aussi les réponses à un questionnaire que nous avons diffusé auprès des pratiquants de l'Ikejime pour mieux connaître leur démarche et continuer de dresser l'état des lieux de la pratique en France.

Partie 2 - Étude expérimentale

VI- Questionnaire pour un état des lieux des pratiques

A- Matériel et méthodes

1) Contexte et objectifs du questionnaire

a) Contexte

Comme nous l'avons vu précédemment (même s'il est difficile de prédire son évolution en volume et en chiffre d'affaires) l'Ikejime est une pratique en expansion^[185] qui fait de plus en plus parler d'elle. Sa connaissance se répand dans les milieux professionnels^[185,191,192,196,203] mais également auprès du grand public grâce à des reportages etc.^[17,204,205]. Pour autant les efforts de structuration sont récents^[196]. Sa mise en œuvre est par conséquent inachevée. Les derniers rapports sur le sujet datent de février et juin 2019^[176,185]. Aussi il nous a semblé opportun de dresser un nouveau bilan, et si possible, de compléter la vision apportée par ces précédents travaux.

b) Objectifs

Nous avons construit ce questionnaire afin de mieux connaître les pratiquants de l'Ikejime et de compléter l'état des lieux que nous avons cherché à faire de l'Ikejime en France.

Il concerne les amateurs comme les professionnels. Il s'attache à dénombrer les pratiquants de l'Ikejime, à caractériser leur diversité (professionnel, amateur, mareyeur, pêcheur, etc.), l'ancienneté de leur pratique de l'Ikejime, les volumes d'activité, leurs motivations (bien-être, qualité), leur modes de formation (autodidacte, compagnonnage, formation professionnelle), leurs connaissances quant à la structuration de la filière Ikejime, ses référentiels, les méthodes et les outils utilisés, les modes de valorisation. Enfin nous souhaitons connaître les avis des pratiquants sur les perspectives d'avenir pour la pratique.

2) Matériel et méthodes

a) Type d'étude

Il s'agit d'un questionnaire **Googleform® en ligne**⁵³ composé de **75 questions** réparties au sein de 22 rubriques. Le temps de réponse a été estimé entre **30 et 40 minutes**. Il a été diffusé par **courriel** et le **réseau social Facebook®**. Dans un souci de pertinence, les 2 premières réponses ont été recueillies auprès de professionnels reconnus qui ont suggéré chacun des modifications de formulation/d'organisation du questionnaire afin de l'améliorer ; ce qui a été fait avant de le diffuser plus largement.

b) Critères d'efficacité

Nous avons prévu des espaces de commentaires pour suggérer des réponses supplémentaires et demander un **retour critique sur le questionnaire**. Des retours critiques positifs ou l'absence de commentaires ont été interprétés comme une manifestation de satisfaction.

53 Le questionnaire est accessible via ce lien : <https://forms.gle/n3xAQ3EY4arEuqeAA>.

Partie 2 - Étude expérimentale

c) Participants

i. Lieu de l'essai

Notre étude se limite à la **France**.

ii. Dates de l'essai

Le questionnaire a été testé et finalisé au cours des mois de mars et avril 2022 puis diffusé à partir du 1^{er} septembre 2022. La dernière réponse a été enregistrée le 10 octobre 2022.

iii. La population visée

Le questionnaire s'adresse à toute personne utilisant une technique qu'il qualifie d'Ikejime. Nous l'avons diffusé auprès de professionnels renommés du **Grand ouest**, de responsables de la fédération nationale de pêche en France, de poissonniers, d'**amateurs et/ou professionnels partie prenante de la filière** en cours de structuration et/ou en réseau avec leurs pairs. Un magasin de pêche spécialisé dans l'Ikejime (Hookook®) a aussi diffusé le questionnaire auprès de ses **clients et de ses nombreux contacts dans la filière** par le réseau social internet Facebook®. Le questionnaire a totalisé **25 réponses**.

d) Récolte des données et analyses statistiques

Vu le faible nombre de réponses nous n'avons pas réalisé d'analyse statistique.

B- Résultats et discussion

Comme attendu, notre questionnaire a touché peu de personnes. Nous allons nous attacher à décrire les répondants, les techniques qu'ils mettent en œuvre, les variations de leur démarche autour de l'Ikejime, etc.

1) Profil des répondants

L'objectif était de mieux connaître les pratiquants de l'Ikejime. Notre questionnaire s'adresse aux amateurs comme aux professionnels. Il s'attache à caractériser la diversité des pratiques (professionnel, amateur, mareyeur, pêcheur, etc.), des volumes d'activité, des motivations des pratiquants, etc.

a) Professionnels et particuliers

La population des répondants est essentiellement **amateur (21/25 soit 84 %)** contrairement à ce que nous avons supposé au départ. Ceci est très probablement dû à la diffusion assez large du questionnaire par la marque Hookook® auprès de sa communauté Facebook®. Les personnes pratiquant l'Ikejime de « loisir » sont le plus souvent des pêcheurs amateurs, parfois plongeurs sous-marins.

Les professionnels ayant répondu sont **deux moniteurs guides de pêche, un pêcheur professionnel et un mareyeur**. La diffusion par la toute **jeune association nationale « Filière Ikejime »** n'a pas suffi à attirer ces répondants. En revanche, il semble que l'Ikejime dans l'aquaculture ne soit pas du tout représenté dans la population de nos répondants. Seulement deux d'entre eux déclarent abattre des poissons d'eau douce ou marins d'élevage et ce sont des amateurs. Il y a 5 occurrences de poissons « d'eau douce sauvages » et une majorité des répondants qui utilise la technique sur les poissons marins sauvages (24/25, 96 %). Nous ignorons d'ailleurs s'il y a de nombreux aquaculteurs à pratiquer l'Ikejime en France. C'est surtout la **pêche qui fait parler de la technique**^[31,192,195,197].

Il aurait été **intéressant de voir si cette technique d'abattage attire davantage les jeunes ou les personnes plus âgées** en réalisant une pyramide des âges des pratiquants, en la comparant à la pyramide des âges des pêcheurs professionnels (population plutôt vieillissante^[206]).

Partie 2 - Étude expérimentale

b) Zone de diffusion du questionnaire

Le questionnaire a notamment touché des **personnes pêchant dans l'Atlantique**. La Manche et la Méditerranée sont moins représentées. Un seul des répondants pêche en Mer du Nord. Un autre sondé pêche en Thaïlande mais également en Bretagne. Nous avons donc conservé sa réponse. Il n'y a aucun répondant des départements et collectivités d'Outre-mer. La **Bretagne** représente au moins 13 répondants sur 25 (**52 %**). Cette répartition géographique peut s'expliquer par le développement de réseaux de contacts dans le Finistère, le bassin de la Loire et la Charente-Maritime pendant nos travaux. Mais nous ne pouvons ignorer qu'**un emploi à la pêche sur deux** en France se trouve en **Bretagne, Pays de la Loire ou Nouvelle Aquitaine**^[207]. Même s'il y a probablement une surreprésentation des répondants de ces régions là dans notre étude ce n'est pas totalement dissonant avec la réalité de la pêche française, le dynamisme de ces territoires tournés vers la mer et **fers de lance dans le développement de l'Ikejime**^[194,197,208].

c) Une pratique récente

Une large **majorité des répondants (21/25 soit 84 %) font de l'Ikejime depuis moins de 5 ans**. Les professionnels ayant répondu pratiquent depuis moins de 10 ans et au moins 2 ans. Chez les particuliers les réponses s'échelonnent entre au moins une année de pratique et jusqu'à plus de 15 ans de pratique pour 1 répondant (parmi les 21 amateurs). Nous voyons bien que l'Ikejime est une pratique récente, voire très récente en France.

d) Motivations

La motivation des pratiquants de l'Ikejime est-elle une affaire de bien-être animal ou de qualité de la chair ? À la question à choix multiples : « Votre intérêt pour l'Ikejime était-il d'abord centré sur : » les répondants ont d'abord avancé « **le bien-être animal** » (**22/25, 91,7 %**) puis « **la qualité organoleptique du produit fini** » (20/25, 83,3 %). La « durée de conservation allongée/baisse du nombre d'approvisionnements hebdomadaires » est le troisième aspect le plus cité mais loin derrière les deux premiers (8/25, 33,3 %). Si la valorisation commerciale, la recherche de meilleurs débouchés sont des aspects cruciaux qui apparaissent souvent pour les professionnels, ils forment un tout et ne sont jamais les seules motivations.

Auprès de leurs clients, les professionnels mettent en avant le **respect du bien-être animal**, les **qualités organoleptiques** (avec le goût umami), la possibilité de faire **maturer le poisson**, **l'installation lente et la prolongation de la rigor mortis**, une **qualité plus homogène** et le **jeûne avant l'abattage** (pour ceux qui le pratiquent).

e) À la place de quoi ?

À une écrasante majorité, dans notre échantillon, l'Ikejime est une méthode de remplacement d'une autre méthode. Par le passé, 24 répondants sur 25, soit **96 %, utilisaient une ou plusieurs techniques dites « traditionnelles »**.

La saignée était une pratique assez répandue pour nos répondants avant qu'ils se mettent à utiliser l'Ikejime (8/24, 33,3 %). Encore 8 personnes sur 24 déclarent avoir utilisé la décérébration sans démyélinisation avant de débiter l'Ikejime complet. Nous avons interprété comme « décérébration » les pratiques décrites comme suit : « poinçonnage du cerveau », « mort cérébrale », « Ikejime, mais je ne pratiquais pas le shinkeijime, ni la saignée ». Nous dénombrons 7 occurrences de termes tels que « maillet », « coup sur la tête », « gourdin », qui indiquent que la commotion était aussi parmi les habitudes les plus répandues (7/24, 29,2 %). Avant, les répondants avaient aussi recours à l'asphyxie (5/24, 20,8 %). Par le passé, l'asphyxie sur lit de glace a été utilisée par 1 de nos répondants, soit 1/5 (20 %) des personnes ayant eu recours à l'asphyxie.

Partie 2 - Étude expérimentale

Nous constatons que **les personnes qui pratiquent aujourd'hui l'Ikejime utilisaient précédemment souvent la saignée, la décérébration, ou la commotion**. L'asphyxie était **probablement sous-représentée** par rapport à des techniques plus soucieuses du bien-être et ou de la qualité du poisson. Un **groupe témoin dans la population d'amateurs de la pêche** permettrait de savoir quelle proportion d'entre eux **utilisent l'asphyxie** par rapport au groupe des seuls adeptes de l'Ikejime. L'asphyxie est souvent considérée comme la méthode la plus répandue d'abattage du poisson pour la pêche et l'a longtemps été pour l'aquaculture^[10-13]. Cependant, il faut bien avouer que l'échantillon que nous avons est essentiellement constitué d'amateurs. Nous imaginons volontiers que ceux-ci peuvent plus librement (pas de contrainte économique, état d'esprit de loisir...) accorder du temps à une méthode d'abattage chronophage en remplacement de l'asphyxie. Il faudrait des chiffres dans la population des pêcheurs professionnels en comparaison.

Le **terme** « mort cérébrale » comptabilisé comme « décérébration » **peut être trompeur** et il pourrait désigner la commotion, voire une autre méthode qui provoque cette mort cérébrale. Néanmoins, il nous a semblé que c'était l'option la plus probable et cela ne change pas nos conclusions (une seule occurrence de ce terme). Nous avons souhaité ne pas contraindre les répondants à un choix multiple sur cette question pour essayer de cerner au mieux les possibilités employées. Bien souvent, les personnes ont pratiqué plusieurs méthodes et avec des variantes qui leur sont propres. Ce mode « réponse courte » ne nous a pas empêché d'interpréter nos résultats, mais comme nous l'avons évoqué en partie 1 **la terminologie est un vrai soucis dans la collecte de données sur l'Ikejime**.

f) Espèces concernées

Les poissons les plus souvent cités dans la liste de ceux qui sont Ikejime par les répondants à notre questionnaire sont répertoriés dans le graphique de la figure 13. Elle nous permet de constater que le **bar et le lieu jaune**, les deux **plus fréquemment cités par nos sondés**, sont aussi les deux espèces en tête des ventes « Ikejime » en criée en 2018 (cf. p. 87). La plupart (66,6 %) des 30 premières espèces vendues en « Ikejime » en criée en 2018 sont explicitement citées par nos répondants. Malheureusement la fréquence de citation ne vaut pas volume de pêche, aussi nous ne pouvons pas davantage comparer les chiffres des ventes en halles à marée avec nos résultats. À la question : « Pour vous certaines espèces de poisson sont-elles à exclure de la démarche Ikejime ? » une majorité des répondants estiment que non. Sur 2 professionnels qui le pratiquent pour la vente de poisson (pas comme guide de pêche), 1 sur 2 pense que « oui ». Le motif invoqué est : « Pour des raisons biologiques qui empêchent d'espérer une qualité constante de ce poisson en Ikejime ». Dans le cas présent, c'est la décompression des espèces à vessie natatoire qui est invoquée. En nous entretenant avec cette professionnelle nous avons appris qu'il n'est pas question d'une exclusion de principe mais qu'il faut redoubler de vigilance, former correctement les personnes qui vont pêcher, sélectionner le poisson pour correctement **décompresser sa vessie natatoire** immédiatement à la remontée à bord, et **détecter les poissons inaptes à l'Ikejime**^[14].

Partie 2 - Étude expérimentale

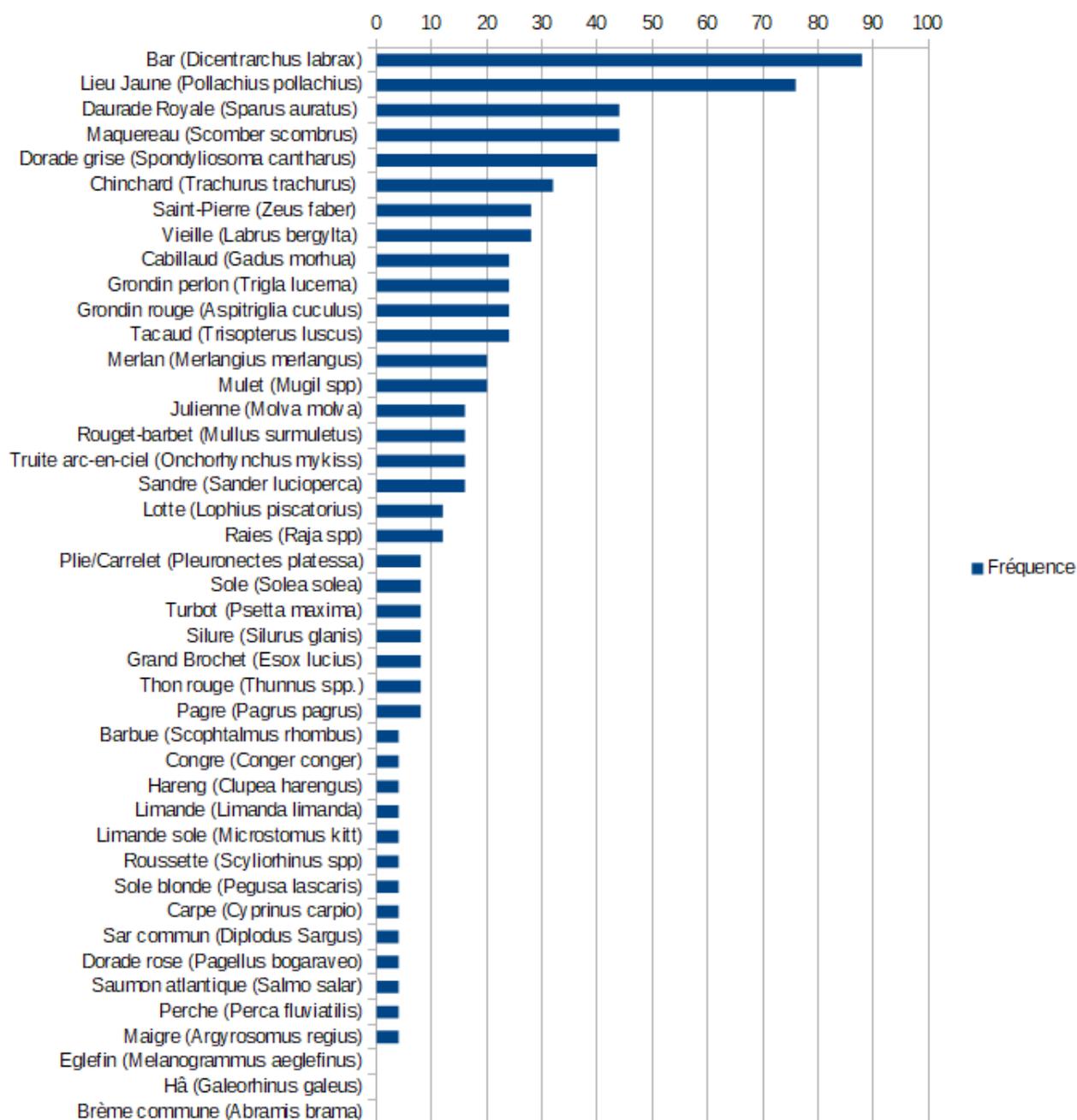


Figure 13 : Graphique des fréquences (en %) de citation de chaque espèce de poisson Ikejime par les 25 sondés de notre étude.

Nos répondants sont essentiellement **amateurs** et le questionnaire a été rempli par seulement **deux professionnels de la vente de poisson Ikejime**. Les **répondants** au questionnaire sont **concentrés sur la façade atlantique**, mais cela reste cohérent avec le **dynamisme de ces territoires** dans le **développement de l'Ikejime**.

L'implantation de l'Ikejime en France est un **phénomène récent**.

Les sondés se sont intéressés à l'Ikejime avant tout pour des raisons de bien-être du poisson, et aussi pour rechercher une qualité supérieure de la viande. Au près de leurs clients, les professionnels valorisent le **respect du bien-être animal**, les **qualités organoleptiques**, la possibilité de faire **maturer le poisson**, l'installation lente et la prolongation de la **rigor mortis**, une **qualité plus homogène** et le **jeûne avant l'abattage**.

Les techniques utilisées par nos sondés avant de débiter l'Ikejime étaient la **saignée**, la **décérébration** seule, ou la **commotion**. L'**asphyxie** est **minoritaire**. Il faudrait comparer avec un échantillon de pêcheurs pratiquant toujours ces anciennes méthodes.

Les **espèces** qui sont Ikejime par la **majorité de nos sondés** sont le **bar** et le **lieu jaune**.

2) Une diversité de techniques

Nous souhaitons faire un point sur les méthodes et les outils utilisés. Nous voulions également savoir comment se forment la majorité des gens qui font de l'Ikejime (autodidacte, compagnonnage, formation professionnelle).

a) La technique (enchaînement décérébration + déméduation + saignée)

Nous avons évoqué les nombreuses variantes possibles de l'Ikejime. Notre questionnaire nous permet de conclure que **la technique majoritaire parmi nos répondants c'est l'enchaînement : décérébration + déméduation + saignée (21/25, 84 %)**. La séquence **décérébration + saignée + déméduation** est la technique choisie par un professionnel (destination vente) et deux amateurs, soit 3/25 (12 % de l'effectif des répondants). Sur 25, 3 répondants (12 %) n'utilisent pas ou pas systématiquement la déméduation, et un de ces 3 là n'associe pas la saignée à la décérébration. Nous pouvons en conclure que les méthodes utilisées sont diverses mais que la plupart des personnes utilisent deux techniques très proches, voire la **même technique avec deux variantes**. Nous n'avons pas interrogé les sondés sur la pratique de la déméduation en faisant pénétrer le fil par la queue ou par le crâne. Cela pourrait être intéressant.

Parfois **un même pratiquant de l'Ikejime utilise plusieurs techniques** et change, notamment « selon les espèces [de poisson] ».

Il ressort de ce questionnaire que **la plupart des sondés** disent utiliser la **même technique de mise à mort** que celle décrite dans le rapport sur l'Ikejime de 2019 et le guide de bonnes pratiques^[176,178]. Les différences se jouent probablement sur le traitement ultérieur du poisson, la vitesse avec laquelle il est Ikejime, etc. Ce sont finalement **les opérations annexes qui peuvent beaucoup varier**. Nous aurions dû poser des questions sur la procédure de refroidissement du poisson, etc. En revanche, nous avons interrogé les sondés sur la saignée qui peut être classée parmi ces opérations annexes.

b) La saignée

Elle est **systématiquement pratiquée** par 21 sondés sur 25, soit **84 %**. Les personnes indiquant la pratiquer « la plupart du temps » sont 12 % et seule 1 personne déclare saigner « parfois » les poissons qu'il Ikejime. Aucun répondant n'a choisi l'option « Non jamais ». La **saignée semble donc incontournable** dans l'esprit des adeptes de l'Ikejime. La saignée par l'ouïe

Partie 2 - Étude expérimentale

est de loin la plus fréquente puisqu'elle est pratiquée par 100 % des répondants. Pour 25 % des sondés la saignée à la queue est parfois pratiquée en plus et/ou à la place de celle par l'ouïe.

La façon d'organiser la saignée n'est pas renseignée mais il semble que nos répondants la considère nécessaire au même titre que les rédacteurs du guide de bonnes pratiques de l'Ikejime^[176,178] ou que les recommandations du guide de l'Ikejime de la marque Hookook®^[15].

La saignée fait partie de ces opérations dont la simple énonciation ne dit pas grand-chose. Une grande diversité de pratiques peut se cacher derrière l'utilisation de ce terme.

c) Le matériel utilisé

Analysons maintenant les réponses courtes à la question : « Quels outils utilisez-vous comme **tegaki** pour la décérébration ? ». Certains répondants utilisent plusieurs outils.

Le **tegaki courbe** du commerce est choisi par 12 personnes sur 25 soit **48 %** (la marque Hookook® est largement majoritaire). Les **outils droits**, de type « pic à glace », « poinçon », « tournevis limé en pointe » servent de tegaki à 11 répondants sur 25 soit **44 %**. Un seul pic est un outil acheté dans commerce, la plupart du temps ce sont des pics faits maison avec des objets détournés (tournevis, poinçon, etc.). Les utilisateurs de **couteaux** pour décérébrer le poisson sont 4 sur 25, soit **16 %**.

Dans ces outils nous retrouvons la **dichotomie** que nous avons décrite en première partie : acheté **dans le commerce** (artisanal ou industriel) *versus* « **fait maison** » et **courbe versus droit**. Le **courbe et le droit** sont utilisés par **autant de personnes**. Il semble vraisemblable que ces résultats soient impactés par la surreprésentation des clients/partenaires de la marque Hookook® qui a diffusé le questionnaire dans son réseau. Les outils du commerce et les **tegaki courbes qu'ils commercialisent sont probablement surreprésentés**.

Pour la déméduation les réponses sont très variées et difficiles à agréger. Les catégories que nous avons proposées n'ont pas systématiquement été associées aux objets utilisés. Certains vont parler de fil inox pour des alliages à mémoire de forme plus complexes, etc. Nous **aurions du faire une distinction plus claire entre les outils spécifiques du commerce et les objets détournés** par la personne sondée, « faits maison ». Cela illustre aussi un point central dans l'étude de l'Ikejime : il y a une **vraie difficulté** quant à la **définition des outils, des techniques...**

Le **fil de nylon** (fil de pêche ou fil de coupe de débroussailleuse type « coupe bordure ») n'est utilisé que par **2 personnes (8 %)**. Le câble en acier inoxydable avec gaine n'est utilisé que par 1 personne. Le **câble sans gaine est utilisé** par 9 sondés sur 25 (**36 %**). Et les « tige », « fil » métallique ou « aiguille », qui désignent le même outil, sont employés par 7 voire **8 répondants (28 %)**. Le fil nylon recommandé dans le guide des bonnes pratiques pour sa facilité de nettoyage ne fait donc pas l'unanimité. La tige à mémoire de forme lui est préférée.

Nous avons interrogé les sondés sur **l'hygiène autour des outils**. Parmi les sondés, 23 sur 25 (92 %) utilisent plusieurs fois le même outil de déméduation. Le nettoyage des instruments se fait **sans détergent et/ou désinfectant pour 11/25 (44 %)**. Ceux qui déclarent **laver leurs outils après chaque séance d'utilisation** (« partie de pêche », « sortie [en mer] », « séance », etc.), sont **23 sur 25 (soit 92 %)**, dont 1 qui le fait « entre chaque poisson ». Une seule personne a indiqué « rarement » et une a indiqué « le plus possible », ce qui est un peu flou. Nous aurions gagné à poser une question à un seul choix possible plutôt qu'une question à réponse courte. Nous nous interrogeons sur la pertinence du choix d'un câble (plusieurs brins) sans gaine plastique autour par bon nombre des répondants. Bien nettoyé il n'est peut-être pas problématique mais nettoyé seulement à l'eau comme par beaucoup nous pouvons nous interroger sur un éventuel risque sanitaire. Comme cela est recommandé dans le **guide des bonnes pratiques** du **CDPMEM 56** et **par son rédacteur principal (Erik Vallée) l'hygiène doit être une préoccupation de premier ordre**. Si nous nous conformons aux prescriptions de l'industrie agro-alimentaire, les manches plastiques et

Partie 2 - Étude expérimentale

les outils facilement nettoyables sont à privilégier^[178,186]. L'usage d'un détergent semble être un minimum pour nettoyer correctement les outils. L'assortir d'une désinfection ne peut pas nuire (elle n'a aucun sens si elle n'est pas précédée d'une détergence mécanique et ou chimique efficace).

d) La formation

Nous avons interrogé les sondés sur la façon dont ils avaient appris l'Ikejime : « Comment vous êtes-vous formé à l'Ikejime ? ». Le sondé pouvait choisir une ou plusieurs réponses. Il était question de déterminer le lieu (France, Japon, pays tiers) et les sources/modes de formation (internet, autodidacte, formation spécifique, compagnonnage informel). **L'apprentissage autodidacte (« tout seul ») et par internet ont tous les deux été très souvent cités (15/25, 60 %).** Parmi les répondants, 4 sur 25 soit **16 % se sont formés à l'étranger** (dont 2 au Japon). Le **compagnonnage** est cité par 7 personnes (28 %). L'apprentissage au cours d'une **formation dédiée** ne concerne que 3 répondants sur 25 (**12 %**).

La **formation autodidacte** avec, supposons-nous, le soutien d'internet est donc le **moyen de formation numéro un de nos sondés**. Ils sont une population d'**amateurs** et pas des professionnels. Cela impacte peut-être nos résultats mais il faut dire que les professionnels répondants ne se démarquent pas. C'est assez logique car les formations voient le jour depuis peu et les premiers à avoir implanté la technique en France l'ont fait *ex nihilo*, forcément de manière assez « solitaire ».

Nous avons aussi interrogé les répondants sur leur connaissance d'un guide de bonnes pratiques commandé par le comité des pêches du Morbihan en 2019^[178]. Les sondés sont au nombre de 8 (32%) à avoir connaissance de l'existence de ce guide de bonnes pratiques. Nous avons bien précisé dans la question « édité en 2019 par HALIOCEAN et IVAMER pour le compte du comité des pêches du Morbihan » mais il reste envisageable que certains d'entre eux aient confondus avec le guide de l'Ikejime de la marque Hookook^{®[15]}. La plupart (7/8, 87,5 %) de ceux qui connaissent son existence l'ont lu. Les personnes qui ne connaissaient pas son existence sont **19/20 à souhaiter le lire si la possibilité leur en est donnée**. Nous pensons que c'est le signe d'un **réel intérêt pour** des données fiables et des **supports de formation**. Il aurait été intéressant d'interroger les personnes sur leur intérêt pour des formations en présentiel.

La **technique majoritaire** pratiquée parmi nos répondants c'est l'enchaînement :
décérébration + déméduation + saignée.

La **saignée est indissociable de l'Ikejime** pour une large majorité des personnes ayant répondu.

La saignée se fait par **l'ouïe et/ou parfois par la queue.**

Parmi nos sondés, l'usage du **tegaki courbe est légèrement majoritaire** mais peut-être surreprésenté. Les outils droits type « **pics à glace** » arrivent en **deuxième position**. Le **câble sans gaine plastique** autour est l'outil numéro 1 de nos répondants pour **déméduller** leurs poissons. La définition des outils est une des illustrations de l'enjeu qu'il y a à **définir précisément les techniques, pratiques et outils pour l'Ikejime.**

La formation à l'Ikejime de nos sondés est majoritairement **autodidacte** et **repose beaucoup sur internet**. Les personnes sondées sont intéressées par des données fiables sur l'Ikejime.

3) Les professionnels et les particuliers ?

Nous aurions souhaité que notre étude nous permette de voir s'il existait ou non des différences claires entre les amateurs et les professionnels sur la technique, sa mise en œuvre, la vision de la méthode, des perspectives de développement de l'Ikejime. Hélas, le **très faible nombre de répondants professionnels commercialisant leur poisson Ikejime** ne le permet pas.

Partie 2 - Étude expérimentale

Dans notre échantillon de sondés, l'Ikejime à terre est la pratique utilisée par les deux professionnels destinant leurs poissons à la vente. La technique permet-elle d'obtenir un meilleur produit comme ses promoteurs le revendiquent^[31] ? Une prochaine étude de l'Ikejime pourrait s'employer à le démontrer.

Nous pouvons nous demander si la pratique de **l'Ikejime à terre ne rajoute pas du stress au poisson**. En effet, le stress dû à cette variante est peut-être accumulé dans le temps ce qui l'empêcherait d'être aussi bénéfique que l'Ikejime pratiqué immédiatement à la remontée du poisson sur le bateau. Là aussi il faudrait le démontrer. Mais la pratique à terre est parfois nécessaire pour abattre les poissons de manière non traditionnelle. Un des deux répondants professionnels vendant des poissons est mareyeur et non pêcheur. L'Ikejime à terre lui permet de proposer un « service d'abattage » à ses pêcheurs partenaires. Ces derniers n'ont **pas forcément le souhait/la possibilité d'Ikejime à bord pendant la pêche**^[14]. Il nous semble donc que l'Ikejime à terre **ne remplace pas** forcément **l'Ikejime à bord**. Il permet aussi à des poissons normalement abattus avec des méthodes traditionnelles d'être tués par Ikejime. À ce titre, même s'il crée de nouveaux **stress potentiels** (conservation en viviers, transport, prolongation/développement de la douleur liée aux lésions causées par l'hameçon, etc.) il reste très vraisemblablement **un plus pour le bien-être** par rapport aux **méthodes traditionnelles**. Même s'il était prouvé que les bénéfices pour le bien-être sont moindres qu'avec l'abattage Ikejime à bord, les avantages de la technique sont aussi à apprécier au regard des différents bénéfices attendus sur la qualité (intérêt de la mise à jeun, etc.). Si **l'amélioration de la qualité est accrue, l'acceptabilité de la méthode peut rester la même aux yeux de certains**.

Nous avons collectés trop **peu de réponses de professionnels** pour en tirer des généralités et une comparaison avec les particuliers. **L'Ikejime à terre soulève des questions très intéressantes** : diminue-t-il le bien-être par rapport à l'Ikejime à bord ? Accroît-il bel et bien la qualité ?

4) Esprit d'ouverture

Les sondés déclarent avoir déjà « recherché d'autres alternatives que l'Ikejime à l'abattage classique des poissons » pour 7 d'entre-eux (28 %).

À la question « **S'il était prouvé qu'une autre méthode que l'Ikejime permet de diminuer encore le stress/la souffrance au moment de la mise à mort, seriez-vous prêt à la mettre en œuvre ?** » **24 (96 %) ont répondu « oui »**. Les conditions évoquées à ce changement pour une autre méthode sont de deux ordres. Il faut que cette méthode de remplacement de l'Ikejime soit : 1) **Pratique et accessible** (peu de matériel, rapide, peu coûteuse, facilité de s'y former. 2) **Efficace** (produit d'aussi bonne, voire meilleure qualité qu'avec l'Ikejime).

Cet intérêt spontané pour d'autres méthodes et l'acceptation de remettre en cause l'Ikejime sont intéressantes. Il serait pertinent de voir si les professionnels l'acceptent aussi bien que les pêcheurs amateurs. Les deux professionnels faisant de la vente de poisson Ikejime insistent tous deux sur la nécessité d'un **réalisme économique quant à l'utilisation de quelque technique d'abattage que ce soit**. Elle doit être faisable et le surcoût qu'elle peut engendrer doit pouvoir être répercuté sur le prix de vente final. Nous le comprenons bien car si le particulier peut accepter de donner de son temps pour une cause animale plus juste ou une amélioration de la qualité indépendamment d'une notion de coût, le professionnel ne le peut pas^[14,181]. Cela nous ramène également à l'importance du **consentement à payer du consommateur** (cf. p. 40).

Partie 2 - Étude expérimentale

5) Perspectives pour l'Ikejime.

Quand il est question d'Ikejime et de démarche de qualité autour d'une production, se pose toujours la question de savoir si cette technique est réellement meilleure, à quels égards, et si elle est généralisable. À la question : « **Partagez-vous le constat que cette méthode n'est pas applicable à toutes les formes de pêche et à la majeure partie de la production de poisson professionnelle ?** » **80 % des répondants disent « oui »**. Les spécialistes de la question sont nombreux à estimer qu'elle **restera**, et même parfois doit rester, **une niche**^[14,181,186]. Il s'agit d'un produit de luxe. Tous les poissons ne peuvent pas rentrer dans cette démarche au risque d'être « déceptifs » et de dévaloriser la filière^[31,194,197]. Les poissons qui ne répondent pas à toute l'exigence de ce procédé particulier ne sont **pas de mauvaise qualité** mais ils ne peuvent pas prétendre avoir le même usage et doivent être vendus dans le **circuit conventionnel**. Il existe une autre raison que nous avons déjà évoqué, certains métiers de la pêche ne peuvent pas fournir, ou très difficilement, des poissons aptes à être Ikejime du fait des techniques utilisées, des volumes pêchés, etc.

6) La filière

Lors de la création du questionnaire début 2022 nous n'avions pas connaissance du projet^[194] puis de la création au premier semestre de l'association Filière Ikejime^[197]. Nous ne l'avons donc pas évoqué dans le questionnaire. Mais c'est aussi le reflet d'un **processus de fédération balbutiant des acteurs**. La difficulté à avoir connaissance de ce type de démarche de création de filière, l'absence de site officiel de l'Ikejime en France, sont autant de signes que **du travail reste à faire pour donner une visibilité contrôlée de la pratique en France**. Nous savons cependant qu'un **travail de fond est en cours** pour atteindre ces objectifs, pour **donner de la visibilité** à la pratique, la **valoriser** au mieux et la **protéger des dérives internes**.

7) Critique du questionnaire

En plus des biais ou des défauts de notre questionnaire déjà abordés au cours de la présentation des ses principaux résultats nous pouvons dresser un rapide bilan des critiques faites par les sondés à la fin du questionnaire dans l'espace dédié. Le questionnaire à été perçu comme trop généraliste, pas assez ciblé sur une catégorie (professionnels *versus* amateurs). Il était « **un peu long et redondant** », ce que d'autres nous ont confirmé lors de discussion informelles après le questionnaire.

Le format interrogatoire oral nous permettant de remplir le questionnaire en direct avec la personne **par téléphone ou lors d'un entretien en direct a en revanche toujours donné lieu à des discussions agréables et des retours positifs**. C'est probablement cette forme qu'il aurait fallu privilégier mais elle aurait demandé beaucoup plus de temps. Nous pensons qu'elle n'aurait pas forcément convenu à tout le monde dans la mesure où il fallait pouvoir dégager un créneau et prévoir un rendez-vous... Si certains se sont inquiétés de la sorte : « Beaucoup de questions ouvertes qui vont ralentir considérablement le traitement » nous pensons que les questions ouvertes à réponse courte étaient plutôt une force du questionnaire. Elles n'ont pas toujours facilité le traitement mais nous ont permis de mieux appréhender la diversité des pratiques de chacun ce qui est compromis quand le cadre du questionnaire est trop « rigide ».

Une personne a proposé d'interroger le répondant sur son sentiment de compétence « peut-être demander si la personne pense être bien formée à l'Ikejime ». Cela aurait pu être fait. Nous avons cherché à l'évaluer indirectement en interrogeant la personne sur le nombre de poissons tués ainsi chaque année, ou les bénéfices liés à l'Ikejime. C'était aussi l'intérêt que nous voyons à distinguer les amateurs des professionnels.

D'autres remarques positives ont été enregistrées : « Bon courage », « Très bien », « RAS⁵⁴ ».

C- Conclusion

À la lumière de ce questionnaire nous retenons **l'intérêt des pêcheurs amateurs pour la démarche Ikejime**, et **l'intérêt de tous les sondés pour le respect du bien-être du poisson et la qualité du produit**. Toutefois si la démarche veut revendiquer aller au-delà du bien-être animal lors de la mise à mort, il est impératif qu'elle respecte un certain nombre de **standards d'hygiène et de qualité**. En la matière si le bon sens et la rigueur de certains amateurs sérieux peuvent très probablement permettre d'obtenir des produits de qualité « professionnelle », nous pouvons tout de même craindre que certains savoirs-faire manquent aux autodidactes amateurs pour obtenir un produit Ikejime de la meilleure qualité possible à tous les coups. La production de poisson pour la consommation et le grand public semble davantage une affaire de professionnels avec de nombreuses exigences sanitaires. Un **amateur** peut sûrement **atténuer les souffrances** de son poisson **avec l'Ikejime** et il nous semble bon de l'encourager. Mais toute personne voulant répondre aux standards de qualité d'un poisson « premium », qu'il soit Ikejime ou non, devrait avoir à cœur de **se former auprès de personnes aux compétences reconnues**. Plusieurs points n'ont pas été abordés dans notre questionnaire (réfrigération, éviscération, etc.) et sont essentiels pour répondre à la question que nous soulevons. Il faudrait aller au-delà du simple questionnaire déclaratif pour avoir une évaluation précise des pratiques des amateurs et des professionnels. Les démarches de la filière, pour proposer les supports de formation adéquats afin d'éviter les dérives, notamment en termes d'hygiène des produits, et pour être en mesure de bien distinguer un produit de qualité professionnelle « garanti » d'un produit « amateur » nous semblent répondre à cet enjeu.

Le taux élevé de réponse des pêcheurs amateurs qui sont probablement plus libres d'investir du temps dans cette démarche nous laisse penser que la technique a de belles perspectives de développement auprès de ce public. Afin de mieux mesurer les perspectives de développement de l'Ikejime il serait intéressant de questionner pêcheurs et amateurs sur leur niveau de familiarité avec l'Ikejime.

Enfin nous souhaitons souligner une difficulté que nous avons rencontrée à plusieurs reprises dans la construction du questionnaire et l'interprétation de ses résultats. Il y a souvent des confusions dans la terminologie qui permet de décrire l'Ikejime ce qui complexifie grandement son étude et rend souvent **plus fructueux les échanges oraux** que les questionnaires à distance.

VII- Comparaison des 3 méthodes d'abattage, l'asphyxie sur glace, la commotion et l'électronarcose avec l'Ikejime

A- Matériel et méthodes

1) Contexte et objectifs de l'expérimentation

a) Contexte de l'expérimentation Ikejime

Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, le bien-être animal devient une préoccupation sociétale croissante qui s'accompagne de fait d'adaptations de la part du monde professionnel. Si cette réflexion a d'abord touché essentiellement les mammifères domestiques, les poissons étant quelque peu laissés pour compte, il y a fort à parier que leur sort émeuve de plus en plus les foules dans les décennies à venir.

54 Sigle de « Rien à signaler ».

b) Objectifs et hypothèses

Comme schématisé sur la figure 14 nous avons supposé que l'Ikejime entraînait moins de stress et permettait une meilleure conservation que l'asphyxie qui apparaît comme la méthode la moins respectueuse du bien être animal^[101] mais s'avère être très pratiquée par les pêcheurs (cf. p. 26). Pour des questions éthiques nous avons décidé d'étudier la variante « sur glace » de l'asphyxie (cf. p. 126). Nous avons aussi souhaité comparer l'Ikejime à des méthodes reconnues comme plus « éthiques » et « acceptables » : la commotion cérébrale et l'électronarcose^[60,61,63,64,69,165]. Nous avons fait l'hypothèse que les niveaux de stress engendrés par ces 2 techniques ne seraient pas différents de ceux de l'Ikejime et plus faibles que ceux engendrés par l'asphyxie.

Nous avons vu que la technique d'abattage Ikejime est supposée diminuer la souffrance du poisson lors de la mise à mort. Nous avons mesuré la concentration en marqueurs sanguins du stress dans le *post mortem* immédiat (cortisol, lactates, glucose). Nous avons également étudié l'évolution de la viande pendant sa conservation au réfrigérateur en suivant les dynamiques de croissance bactérienne dans les filets entiers (chair et peau) et en évaluant l'état de fraîcheur des poissons.

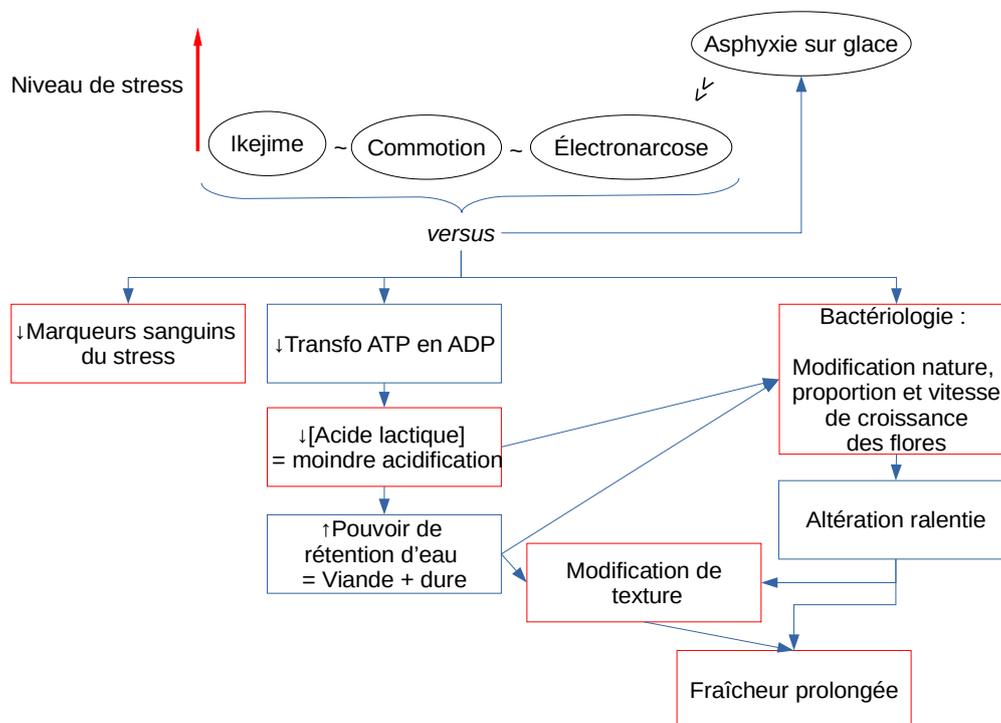


Figure 14 : Hypothèses de travail.

2) Matériel et méthodes

a) Type d'étude

Il s'agit d'une étude contrôlée qualitative et quantitative analytique expérimentale. L'expérimentation est contrôlée puisque nous connaissons les poissons qui ont subi une méthode d'abattage plutôt qu'une autre. La distribution n'est pas déterminée par l'expérimentateur. Elle dépend de la capture du poisson. Celui qui collecte les données et les interprète a conscience de la méthode d'abattage utilisée sur chaque poisson.

Partie 2 - Étude expérimentale

b) Critères d'efficacité

Nous avons souhaité vérifier si l'Ikejime permet bel et bien de respecter davantage le poisson tant au chapitre du stress que de la valorisation de sa viande. Pour le bien être animal le critère d'efficacité principal de la méthode d'abattage est le stress engendré entre la capture et la mise à mort. En ce qui concerne la qualité de la viande, nous nous intéressons à la cinétique de son évolution en termes de texture, de pH, de populations bactériennes et de fraîcheur.

c) Participants

i. Lieu de l'essai : critères de sélection

L'étude a été réalisée en station expérimentale aquacole. Nous avons utilisé des truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), femelles stériles, élevées à la station aquacole dans des bassins de 1000L depuis septembre 2021 (arrivées à 175g). Ce poisson téléostéen est un modèle d'étude très répandu en ichtyologie. C'est un poisson qui représente 96 % de la production française de salmonidés de pisciculture d'eau douce^[209,210]. L'espèce compte pour 82 % de la production piscicole française en 2020^[210]. Ce sont ces raisons qui nous font considérer que cette espèce est adaptée à notre expérimentation.

ii. Dates de l'essai

L'expérimentation s'est déroulée du 6 au 23 mai 2022. Cette période correspondait à l'obtention de truites d'une taille satisfaisante (environ 250 g, soit la taille d'une truite portion^[211]) pour faciliter les différentes méthodes d'abattage (notamment l'Ikejime) et obtenir environ 1 mL de sang (nécessaire aux analyses sanguines).

iii. La sélection des individus de l'étude : taille de l'effectif et allocation

Nous avons utilisé 64 truites arc-en-ciel. Ce nombre a été déterminé avec le souci de réduire au maximum le nombre de sujets de l'expérience. Pour la partie portant sur le stress, l'objet premier de notre étude était de comparer la cortisolémie moyenne des différents lots après abattage. Nous avons procédé à une estimation des valeurs de cortisolémie que nous allions obtenir en nous basant sur la bibliographie. Ces valeurs sont résumées dans le tableau XXVIII.

Tableau XXVIII : Exemples de concentrations de cortisol plasmatique après différents stress chez la truite, la perche, le saumon, le bar et le thon.

Référence	Espèce	Valeurs attendues	
[212]	Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	M1 = 94 (± 59,3) ng/mL (électronarcose) μ2 = 204 (± 113,2) ng/mL (commotion cérébrale)	
[98]		Système eau recirculé	Système eau flot continu
		M1 = 11,8 (± 2,0) ^a ng/mL (base) M2 = 83,8 (± 6,7) ^b ng/mL (isolement puis changement environnement)	M1 = 15,6 (± 5,6) ^a ng/mL M2 = 98,4 (± 9,4) ^b ng/mL
[99]		Évolue entre 25-200 ng/mL dans l'heure suivant le stress	
	Perche commune (<i>Perca fluviatilis</i>)	Évolue entre 20-200 ng/mL dans l'heure suivant le stress	
[213]	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	0-50 ng/mL (stress de manipulation)	

Partie 2 - Étude expérimentale

Référence	Espèce	Valeurs attendues
[101]	Bar commun (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	10,8-112,3 ng/mL (stress de mise à mort)
[214]		100-600 ng/mL (valeurs normales)
[32]	Thon albacore ou listao (<i>Thunnus albacares</i> ou <i>Katsuwonus pelamis</i>)	130 ng/mL

Fort de ces informations nous avons pris des hypothèses de valeurs moyennes obtenues pour nos différents groupes et grâce au logiciel [BiostaTGV Etudes cliniques \(comparaison de moyennes\)](#) ^[215] nous avons obtenu les tailles d'échantillons (n) souhaitables pour avoir des différences de moyennes significatives (cf. Annexe 3).

Nous savons que la mesure du cortisol peut générer 10-15 % d'incertitude intrinsèque (pour un même opérateur, un même jour, dans les mêmes conditions) et l'exemple ligne 1 illustre que les résultats sont toujours à $\pm 50\%$ de la valeur moyenne obtenue.

Considérant toutes ces hypothèses et les résultats obtenus, nous avons jugé nécessaire et suffisant pour les dosages de cortisol d'utiliser des échantillons de 15 poissons par méthode d'abattage. Pour satisfaire à l'analyse des paramètres physico-chimiques des filets post-abattage nous avons rajouté un poisson par lot (cf. p. 131). C'est ainsi que nous avons décidé de mettre à mort $4 \times 16 = 64$ poissons.

Les truites ont été placées par lots de 25 dans 3 bassins distincts 22 jours avant l'expérimentation.

Un lot n'a pas été associé à un bac. En effet, si la population d'un bac a un microbiote différent des autres ou si elle subit un stress pendant la phase d'élevage qui n'affecte pas tous les bacs de manière identique, nous aurions pu avoir un biais pour déterminer d'éventuelles différences entre les méthodes d'abattage. Un ordre d'abattage avec un roulement des places a donc été déterminé. La deuxième et la troisième place de la série étant choisies aléatoirement. La première place a toujours été attribuée au lot asphyxie sur glace. Cette méthode met beaucoup de temps avant de conduire le poisson à la mort (cf. p. 76). Nous avons donc commencé par celle-ci pour ne pas rallonger l'ensemble de la session d'abattage. De plus nous avons présumé que le stress engendré est tellement important que même avec un stress de capture au minimum nous observerions des différences significatives entre l'asphyxie et les autres groupes. Nous avons pris les poissons dans le bac A pour la série 1, dans le bac B pour la série 2, dans le bac C pour la série 3. À chaque série 5 poissons ont été dédiés à chaque modalité sauf pour la dernière série où nous en avons pris 6 par modalité d'abattage. Il restait donc de 5 à 1 poissons dans chaque bac après le prélèvement. L'abattage a été réalisé selon l'ordre indiqué dans le tableau XXIX.

Tableau XXIX : Ordre d'abattage avec ordre de passage équitablement réparti.

	1er	2ème	3ème	4ème
Série 1 bac 1	Lot asphyxie	Lot Électronarcose	Lot Commotion	Lot Ikejime
Série 2 bac 2	Lot asphyxie	Lot Ikejime	Lot Électronarcose	Lot Commotion
Série 3 bac 3	Lot asphyxie	Lot Commotion	Lot Ikejime	Lot Électronarcose

d) Validation du projet par un comité éthique

Le projet référencé *APAFIS #35874-2022031317262890 v4* a été validé par le comité d'éthique en expérimentation animale n°006 et autorisé par le ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation. La plus grande attention a été portée au respect des trois principes de réduction, raffinement et remplacement (règle dite des « 3R »)^[165]. Pour la réduction, une estimation basée sur la bibliographie existante des dosages de cortisol a conduit à formuler des hypothèses sur les résultats des dosages et à en déduire la taille de l'échantillon nécessaire et suffisant pour pouvoir espérer avoir des résultats significatifs (cf. p. 124). Le « raffinement » est passé par une préparation rigoureuse de la séquence d'abattage. Celle-ci a permis de diminuer le risque de « ratés » lors de l'abattage (chute au sol, absence d'induction de l'inconscience etc.). Nous avons aussi fait le choix de réaliser une asphyxie sur glace car il nous a semblé que la présence de glace allait placer les poissons dans un état de conscience altéré diminuant la sensation de douleur et de stress que nous avons néanmoins supposée colossale... Pour le remplacement, la complexité des phénomènes à l'œuvre empêche de se priver du modèle animal vivant. La possibilité d'utiliser des poissons sauvages destinés au commerce a été envisagée. Néanmoins la grande variabilité des captures à la ligne (chaque prise étant particulière en durée, profondeur, poids et donc souffrance) nous a fait craindre de devoir utiliser des échantillons beaucoup plus grands voire de ne pas pouvoir conclure du fait d'un accroissement des biais.

e) Une intervention : l'abattage

L'abattage a eu lieu le 09 mai 2022 au matin après une mise à 70 heures \pm 1h30 avant la mise à mort avec un dernier repas le vendredi 6 mai au matin. Il s'est étalé entre de 8h58 et 11h50 soit 3 heures durant. Nous avons organisé la salle comme décrit ci-dessous et sur la figure 15. Les postes d'abattage ont été mis en place sur une grande paille dans la salle des bacs à poissons. Un bac à débordement avec un courant d'eau continu pour la saignée a été placé à proximité immédiate. Une autre paille a été dédiée à la pesée des poissons et à droite de cette dernière un poste avec une prise d'eau et une poubelle à déchets DASRI⁵⁵ a été préparé pour éviscérer les poissons et ensuite rincer leur cavité péritonéale.

i. Protocole de capture

À chaque fois, l'épuisette a été introduite doucement dans le bac et placée au fond dans un coin. L'opérateur a évité de pourchasser un poisson en particulier et a profité des mouvements des poissons pour en faire entrer un dans l'épuisette et l'extraire du bassin rapidement. Chaque poisson capturé a été placé dans un seau de 10L environ (l'eau provenait du même circuit que celle des bassins). L'épuisette a été utilisée comme couvercle pour éviter les sauts hors du seau. Après capture chaque poisson a été emmené immédiatement au post d'abattage (cf. figure 15).

55 DASRI : Déchets d'activités de soin à risque infectieux.

Partie 2 - Étude expérimentale



Figure 15 : Organisation générale de la salle.

ii. Protocole de mise à mort

ii.i. Ikejime

Nous avons placé l'épuisette sur la table de sorte que la tête de la truite soit du côté de la main dominante de l'opérateur (droite s'il est droitier ou gauche inversement, nous prenons le cas d'un droitier pour la suite). Le poisson a été saisi à travers le filet de l'épuisette avec la main gauche. Nous avons placé le pouce et l'index derrière les ouïes respectivement droite et gauche du poisson puis nous avons soulevé le cadre de l'épuisette pour découvrir la tête du poisson. Nous nous sommes munis du poinçon avec la main droite et nous l'avons positionné sur le crâne juste caudalement à la croisée de l'axe sagittal et de la ligne caudale des yeux. Nous l'avons introduit à 60° de la surface du crâne puis immédiatement incliné en direction de l'intersection entre ligne latérale et bord caudal des ouïes. Le cerveau a alors été détruit par des mouvements pendulaires. Le cliché radiographique et nos observations permettent d'attester de la destruction complète du cerveau comme recommandé par le rapport *Avis du groupe scientifique sur la santé et le bien-être animal (2004)*^[42]. Le poisson a été considéré mort après avoir agité la queue, ouvert les ouïes et la bouche béante. Le poinçon a été retiré et le fil de démyélinisation de 0,8 mm introduit dans le canal vertébral sur une longueur permettant d'atteindre la base de la queue du poisson comme sur l'image radiographique (cf. figure 16). Nous avons décrit plusieurs mouvements de va-et-vient cranio-caudaux pour bien détruire la moëlle épinière et ses connexions. Les premiers va-et-vient se sont accompagnés de tressaillement réflexes du corps du poisson.

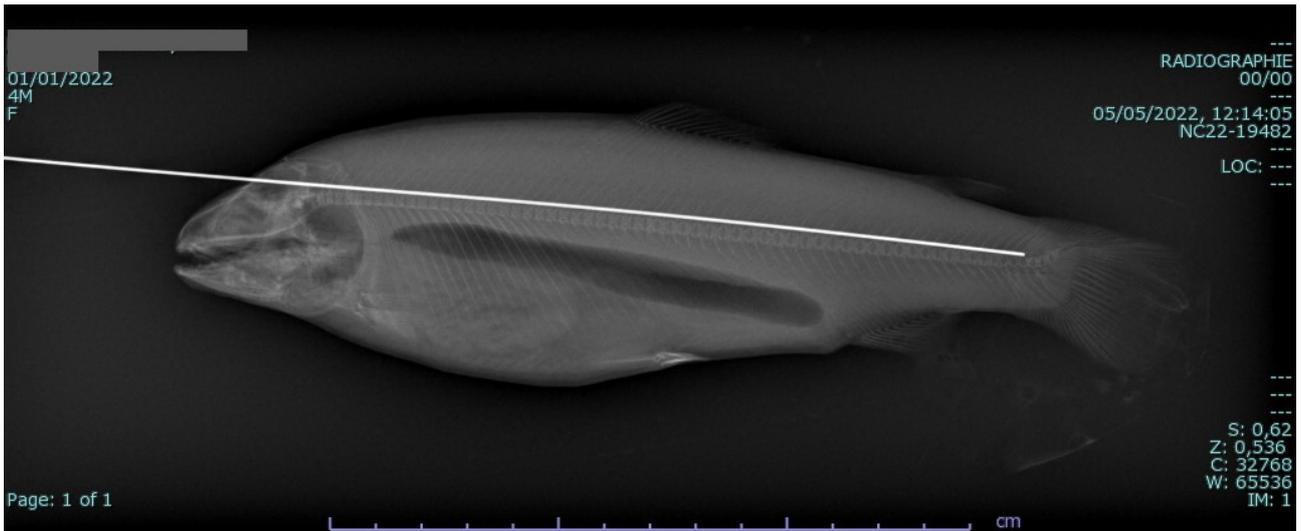


Figure 16 : Cliché radiographique post mortem d'une truite arc-en-ciel mettant en évidence le trajet intra-médullaire du fil de démyélination et le bon emplacement du point d'entrée crânien du tegaki (constantes radiographiques : 45 kV et 2 mAs).

ii.ii. Commotion cérébrale

Nous avons placé l'épuisette sur la table de sorte que la tête de la truite soit du côté de la main dominante de l'opérateur (exemple de la main droite). Le poisson a été saisi à travers le filet de l'épuisette avec la main gauche pour le maintenir sur le flanc. Nous avons fait dépasser la tête du poisson en dehors de l'épuisette du côté de la main droite pour pouvoir lui asséner un coup sec et vigoureux du manche métallique octogonal d'un burin (cf. figure 17) sur le crâne en arrière des yeux. Au besoin nous avons réitéré des coups forts et rapprochés dans le temps pour stopper quand l'animal ne se débattait plus.



Figure 17 : Burin de maçon dont le manche a été utilisé comme outil de commotion cérébrale ©savagecars.ru.

ii.iii. Asphyxie sur glace

Nous avons prélevé 5 poissons à l'épuisette (seuls ou à plusieurs, comme ils venaient spontanément) puis nous les avons plongés dans une poubelle noire remplie avec 20L d'eau. Nous avons apporté cette poubelle à proximité du bac de glace puis les poissons ont été transférés dans ce dernier à l'aide de l'épuisette. Ils ont été mis sur la glace, légèrement recouverts avec celle-ci,

Partie 2 - Étude expérimentale

puis avec une plaque de PMMA⁵⁶ et encore 3-4 cm de glace par dessus ce dernier. Le minuteur a été lancé pour 45 minutes.

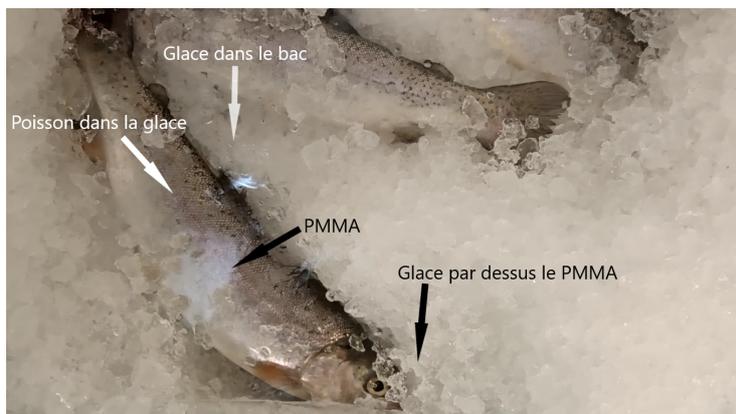


Figure 18 : Disposition des poissons dans un bac de glace recouvert d'une plaque de PMMA et de glace à nouveau de manière à la piéger au frais tout en pouvant les observer ponctuellement.

ii.iv. Électronarcose

Dans notre expérience nous avons choisi d'utiliser l'électronarcose irréversible (cf. p. 73), dont la seule utilisation assure l'étourdissement mais aussi la mort cérébrale du poisson, c'est-à-dire une altération irrémédiable du cerveau compromettant les autres fonctions vitales, sans retour possible à la conscience^[216]. Nous avons prélevé 5 poissons à l'épuisette (seuls ou à plusieurs, comme ils venaient spontanément) puis nous les avons plongés dans une poubelle noire remplie avec 20L d'eau. Nous avons apporté cette poubelle à proximité du bac d'électronarcose rempli d'eau salée à (4,5g/10L). Les poissons ont été transférés dans le bac d'électronarcose à l'aide de l'épuisette. Nous avons lancé le générateur d'électronarcose Fiap Profiwork Fischbetäubung® pendant 180 secondes en imposant un courant continu de 48 V et d'intensité variable de maximum 4 A.

iii. Protocole de prise de sang

Elle a été réalisée entre la mise à mort et la saignée. La mesure des marqueurs sanguins du stress étudiés (cortisol, lactates et glucose) a nécessité la réalisation d'une prise de sang. Elle a été faite dans le sinus veineux caudal^[101] à gauche du poisson 30s à 1min après l'abattage Ikejime (IK), l'électronarcose (EL), la commotion (CO) ou la sortie du bac d'asphyxie sur glace (AS).

Nous avons introduit l'aiguille 2 mm ventralement à l'intersection de la ligne latérale avec une droite passant par la base caudale de la nageoire dorsale et l'anus (cf. figure 19). En cas d'échec ou si un volume de sang insuffisant (< 0,5 mL) a été prélevé nous avons refait la prise de sang.

56 Polyméthacrylate de méthyle ou PMMA : matériau transparent ayant l'apparence d'un verre plastique souvent connu par son nom déposé le plus répandu : Plexiglass®.

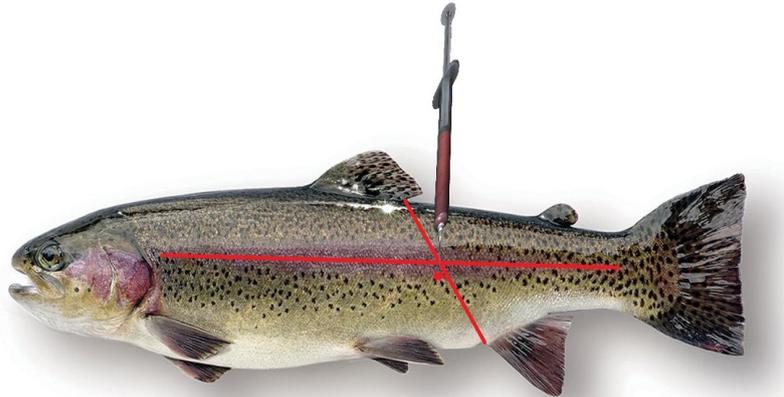


Figure 19 : Point d'entrée de l'aiguille pour la prise de sang dans le sinus veineux caudal sur un truite arc-en-ciel ©smart.servier.com ; ©charlesmurgat.com.

Le sang ainsi prélevé a ensuite été vidé dans le tube hépariné (héparinate de lithium) de 1,5 mL qui a été agité pour répartir l'anticoagulant.

À chaque prise de sang le tube a été identifié avec le lot (IK, AS, CO, EL), et le numéro d'abattage individuel du poisson dans le lot (de 1 à 16). Une étiquette a été fixée au poisson pour l'identifier avec cette fois un symbole pour indiquer le lot et toujours le numéro d'ordre d'abattage dans le lot.

À chaque fin de série de 5 poissons (toutes les 15 minutes au plus) les tubes ont été placés dans une centrifugeuse lancée à 6800 tours minute pendant 4 minutes (soit 2900 G). Les tubes centrifugés ont été apportés toutes les heures au laboratoire central d'Oniris pour dosage du glucose et des lactates. Le plasma restant a été conservé pour analyse de cortisol dans un autre laboratoire de l'établissement (LabOniris).

iv. Protocole de saignée

Elle a été réalisée immédiatement après la prise de sang. Un couteau a été introduit dans l'ouïe droite la pointe vers la commissure labiale gauche pour sectionner l'aorte ventrale. Nous avons associé un écoulement de sang plus ou moins abondant avec la réussite de l'opération. Ensuite le poisson a été plongé dans un bac d'eau froide avec courant d'eau en continu pour finir de saigner. Nous avons utilisé un chronomètre pour avoir un temps de saignée de 5 minutes environ.

v. Protocole d'éviscération

L'abdomen est ouvert sur la ligne ventrale de l'avant de l'anus à l'espace crânial à la ceinture pectorale. L'œsophage est coupé, la partie terminale de l'intestin aussi (juste en amont de l'anus). Les viscères sont arrachés. Les reins sont enlevés à la petite cuillère. La cavité péritonéale est rincée à l'eau douce avec un tuyau ainsi que l'extérieur du poisson.

Partie 2 - Étude expérimentale

f) Récolte des données et analyses statistiques

i. Cortisolémie

Nous avons fait réaliser le dosage de cortisol sur le plasma obtenu comme défini précédemment (cf. p. 129) par un laboratoire utilisant la méthode RIA⁵⁷, Demediatech, sur compteur gamma Wizard 1470®. Un essai dupliqué avec une excellente répétabilité a été réalisé lors de tests préliminaires. Le seuil limite minimal de quantification de la technique est fixé à 10 nmol/L.

ii. Glycémie et lactatémie

Les dosages de glycémie et lactatémie ont été faits sur une fraction du plasma destiné au dosage du cortisol. Ce matériel est analysé en laboratoire par méthode biochimique colorimétrique, sur Randox Daytona +®.

iii. Hémolyse

Le niveau d'hémolyse des échantillons de sang prélevés et centrifugés a été évalué le jour de l'analyse de cortisolémie au laboratoire par le laborantin. Il l'a qualifiée de 3 façons possibles : absente, moyenne : « + » ou élevée : « ++ ».

iv. Dimensionnement et organisation de l'étude post mortem (bactériologique, pH-métrie, texturométrie, fraîcheur)

Nous avons souhaité suivre l'évolution de différents paramètres de qualité évoqués précédemment et résumés figure 14 sur les poissons et leurs filets à différents stades après la mise à mort. Nous avons choisi un nombre limité de poissons, bien **dimensionné pour l'analyse statistique** du marqueur du stress qu'est le **cortisol** plasmatique, de façon à pouvoir mettre en évidence des différences statistiques s'il y en a (cf. p. 124). La taille de cet échantillon n'a pas été déterminée en fonction des valeurs probables des autres paramètres. L'étude des indicateurs de qualité tout au long de la conservation nécessite des **mesures destructives** pour les échantillons. Un poisson entier est nécessaire pour réaliser toutes les mesures. **Chaque poisson** ne pouvait donc **servir qu'une fois**. Nous souhaitons disposer d'**au moins 4 spécimens par groupe d'abattage à chaque stade**, ceci pour être en situation de mettre en évidence, sinon des vérités statistiques, au moins des tendances. Nous voulions **limiter le laps de temps** entre les stades observés pour **éviter de rater trop de variations entre deux stades successifs**. Pour la bactériologie comme pour les autres paramètres il faut **débuter les analyses dès J0**. En effet, pour comparer les effets des méthodes d'abattage au cours du temps, il faut connaître le point de départ. Nous avons donc décidé d'étudier nos poissons aux stades de conservation **J0, J3, J7 et J9** et d'utiliser **64 poissons** au lieu des 60 initialement prévu pour l'étude seule des marqueurs sanguins du stress.

Les poissons conservés au réfrigérateur entre 3-5 °C suite à l'abattage ont été échantillonnés aux différents stades selon le tableau XXX de manière à atténuer les biais éventuellement dus à l'ordre d'abattage en prélevant à chaque fois des poissons issus des 3 séries.

57 RIA : dosage radio-immunologique, de l'anglais Radio-immuno assay. Méthode permettant le dosage d'une molécule au moyen d'un anticorps marqué par un isotope radioactif d'après le Dictionnaire de l'Académie Nationale de Médecine^[216].

Partie 2 - Étude expérimentale

Tableau XXX : Échantillonnage des poissons pour levée des filets aux différents temps post abattage.

	Série 1 (poissons de 1 à 5)	Série 2 (poissons de 6 à 10)	Série 3 (poissons de 11 à 16)
J0	IK5, CO5, EL5 et AS5	IK10, CO10, EL10 et AS10	IK15, CO15, EL15, AS15, IK16, CO16, EL16, et AS16
J3	IK4, CO4, EL4 et AS4	IK9, CO9, EL9 et AS9	IK13, CO13, EL13, AS13, IK14, CO14, EL14 et AS14
J7	IK3, CO3, EL3 et AS3	IK7, CO7, EL7, AS7, IK8, CO8, EL8 et AS8	IK12, CO12, EL12 et AS12
J9	IK1, CO1, EL1, AS1, IK2, CO2, EL2 et AS2	IK6, CO6, EL6 et AS6	IK11, CO11, EL11 et AS11

À chaque stade d'analyse post-abattage chaque poisson prélevé a servi à toutes les mesures et évaluations. Pour chacun des poissons un filet a été utilisé pour la bactériologie et l'autre pour l'analyse du pH et de la texture. La fraîcheur a été évaluée tout au long de l'opération de levée des filets. Les poissons ont été vidés dès l'abattage et rincés à l'eau claire. La manipulation de levée des filets a été réalisée sous hôte microbiologique avec des gants non stériles changés et rincés à l'alcool entre chaque poisson.

Nous avons réalisé la levée des filets avec un couteau régulièrement aiguisé. D'abord par une incision dorso-ventrale caudalement à l'opercule puis en levant le filet en incisant vers la queue, en collant la lame à la colonne vertébrale et avec le moins possible de traits de lame (cf. figure 20).



Figure 20 : Photographie de la levée d'un filet.

Nous avons pris un filet par poisson avec la peau pour la microbiologie (de préférence le premier prélevé car c'était le plus propre). Ce filet a été coupé de manière à prélever un morceau de sa partie crâniale dont le poids est X, X étant compris entre 15 et 20g. L'échantillon microbiologique ainsi prélevé a été placé dans un sac à stomacher. Le reste (la partie vers la queue) a été placé dans une boîte de Pétri et conservé au congélateur en vue d'éventuelles analyses génomiques ultérieures. Il a ensuite fallu ajouter à l'échantillon dans le stomacher un volume de

Partie 2 - Étude expérimentale

$Y \text{ mL} = 4 \times X$ (soit au plus $4 \times 20 = 80 \text{ mL}$) d'eau peptonée. Après avoir bien pensé à l'identifier avec les éléments suivants : lot (IK, AS, etc.), numéro d'abattage du poisson dans le lot, stade de levée filets (J0, J3, J7, J9), un aide a enlevé l'excédent d'air et mis le sac dans le stomacher pendant 5 minutes. Pendant ce temps, nous avons prélevé l'autre filet en entier et nous l'avons placé dans un sac de congélation pour les analyses pH-métriques et texturométriques.

NB : Sur l'ensemble de l'expérimentation la répartition des rôles a été conservée. Une personne a levé les filets et évalué la fraîcheur, une autre a pris les notes et rangé les filets, une troisième a procédé au remplissage du sac à stomacher.

v. Suivi de la fraîcheur

La fraîcheur doit permettre de rendre compte de la dégradation du poisson par l'autolyse et l'altération. Elle a été évaluée lors de chaque levée de filet à partir de J3. Il ne servait à rien de l'évaluer à J0 immédiatement après l'abattage car à ce stade les poissons étaient nécessairement tous frais. L'évaluation n'a porté que sur les poissons dont nous avons prélevé les filets au stade donné pour pouvoir remplir la grille d'évaluation de la façon la plus complète possible. En effet, certains critères nécessitent d'accéder à la chair, de visualiser la colonne vertébrale, etc. De plus, il ne faut pas rompre la chaîne du froid. Nous avons eu recours à une grille de notation construite sur la base du barème de cotation Fraîcheur CEE (cf. Annexe 2). Elle nous a permis de noter de 0 à 3 les différents paramètres (cf. figures 21 et 22). La note croît avec la fraîcheur dans cette grille. Ainsi nous avons attribué au poisson une note de 0 à 21 (nous n'avons pas évalué les catégories : « Organes », « Colonne vertébrale » et « Périgoine »).

Les poissons ont été présentés à l'évaluateur de manière aléatoire mais il avait connaissance de la méthode d'abattage utilisée sur chaque poisson.



Figure 21 : Évaluation de la couleur de la chair. Figure 22 : Évaluation du mucus branchial.

vi. Collecte et analyse des données de pH

Ces données sont mesurées sur les filets conservés à cet effet lors de la levée. Les mesures de pH ont été réalisées avec une sonde pH mètre 3110 WTW® (cf. figure 23). Pour chaque filet, deux incisions au scalpel ont été réalisées dans la chair pour y introduire la sonde pH dans la partie crâniale et caudale du filet. Un point de pH a été lu par filet^[118].

Partie 2 - Étude expérimentale

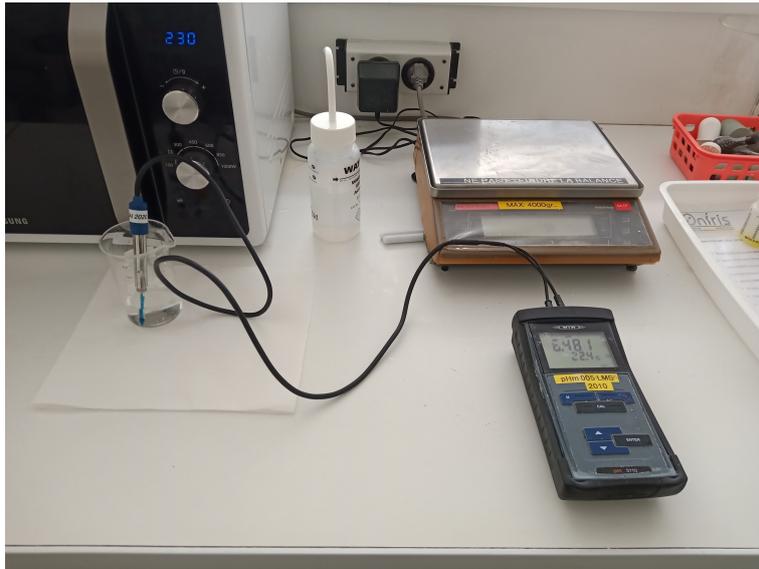


Figure 23 : Sonde pH-métrique 3110 WTW® dans sa solution tampon et pH-mètre.

vii. Collecte et analyse des données de texturométrie

Ces données sont mesurées sur les filets conservés à cet effet lors de la levée. Les mesures ont été réalisées par le département de génie des procédés alimentaires d'Oniris.

Un profil d'analyse de la texture (TPA) a été réalisé (cf. figure 24) en 3 points sur chaque filet (cf. figure 25) grâce à un TA-XT+® (capteur de force 5 kg, cf. figure 26). Une double compression de 50 % a été imposée à une vitesse de 1 mm/s^[140,217] avec une sonde circulaire de 2 cm de diamètre afin de déterminer la cohésion et le collant à partir de la courbe force = $f(\text{temps})$. La force mesurée a permis d'obtenir la courbe contrainte déformation nécessaire à la mesure de la dureté (en Pa), et au calcul du module de Young (en Pa) déterminés sur le premier cycle de compression (partie jaune sur la figure 24). Le premier cycle de relâchement (en bleu) a permis la mesure du collant (en N.s) et la comparaison des deux cycles (jaune et rose) a permis le calcul de la cohésion (sans dimension).

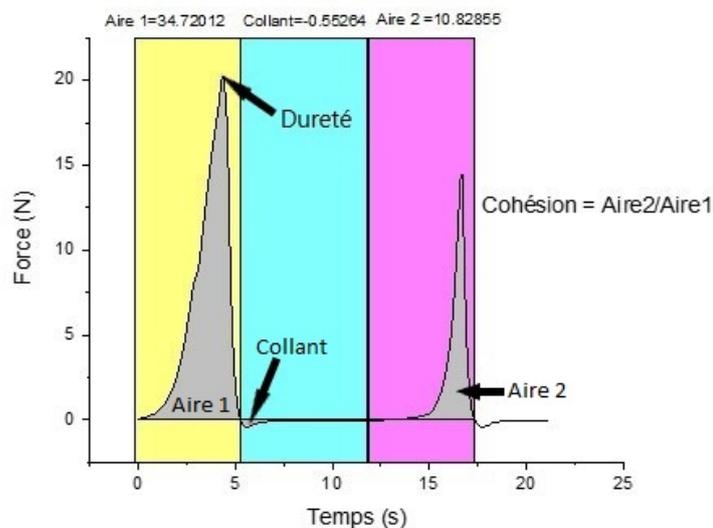


Figure 24 : TPA (Profil d'Analyse de la Texture) réalisé en 3 points sur chaque filet avec un capteur TA-TX+.

Partie 2 - Étude expérimentale



Figure 25 : Position approximative des 3 points de mesure avec le capteur de force sur le filet - ©Kévin Crouvisier-Urion



Figure 26 : Capteur de force 5 kg TA-XT+®

viii. Suivi bactériologique

Nous avons vu qu'une des allégations des adeptes de l'Ikejime est la possibilité de faire mûrir la viande de poisson et de la conserver plus longtemps grâce à cette méthode. Cela suppose une qualité microbiologique irréprochable du produit. À cet égard, nous pouvons envisager que l'altération soit ralentie et/ou modifiée dans ses causes et ses formes, ce qui prolonge la conservation du poisson dans le temps. Si l'altération est pour partie due à des processus de dégradation cellulaires et tissulaires (autolyse etc.) elle est aussi le fruit de l'action des bactéries commensales de l'organisme qui vient de s'éteindre. Il nous a donc semblé indispensable d'étudier l'altération par le prisme des populations de bactéries peuplant le filet tout au long de sa conservation.

Nous avons choisi les flores à étudier en fonction des critères recommandés par la Fédération du commerce et de la distribution (FCD) sur les produits de la mer^[218]. Les poissons Ikejime sont en général consommés frais (cuits ou crus) ou congelés/surgelés. Les catégories les plus proches de cette destination dans le document de la FCD au chapitre « Marée » sont celles du tableau XXXI ci-dessous qui détaille les critères microbiologiques pertinents du point de vue sanitaire.

Partie 2 - Étude expérimentale

Tableau XXXI : Critères sanitaires microbiologiques de la FCD pour des denrées proches des poissons Ikejime (les valeurs seuils sont en UFC⁵⁸/g d'aliment)^[218].

Denrée	Germe	Critère REG EU 2073	Critère MP/MDD LS Réception Distribution (R)	Critère MP/MDD LS à DLC/DDM Distribution (D)
1. Filets de poissons crus frais ou surgelés		FCD		
	ABVT		À rechercher	À rechercher
	<i>Escherichia coli</i>		10	10
	Staphylocoques coagulase +		100	100
	<i>Salmonella</i>		Non détecté dans 25 g	Non détecté dans 25 g
	<i>Vibrio</i> pathogènes		Non détecté dans 25 g	Non détecté dans 25 g
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Non détecté dans 25 g	100	100
	Histamine	200	200	200
2. Préparations à base de filets de poissons hachées crues, carpaccio	Flore aérobie 30 °C		100 000	1 000 000
	<i>Escherichia coli</i>		10	10
	Staphylocoques coagulase +		100	100
	<i>Salmonella</i>		Non détecté dans 25 g	Non détecté dans 25 g
	<i>Vibrio</i> pathogènes		Non détecté dans 25 g	Non détecté dans 25 g
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Non détecté dans 25 g	100	100
	Histamine	200	200	200

L'ABVT est un indicateur apparemment pertinent^[134,148,219] que nous n'avons pas retenu pour des raisons de budget et d'organisation. L'histamine concerne les familles des *Scombridae*, *Clupeidae*, *Engraulidae*, *Coryphaenidae*, *Pomatomidae*, *Scomberesocidae*^[220]. La truite n'appartenant à aucune de ces familles nous n'avons pas retenu ce critère qui néanmoins concerne d'autres espèces faisant l'objet de l'Ikejime comme le thon^[42,157,221]. Le but étant de constater une évolution de la flore présente sur un poisson, nous n'avons pas étudié les micro-organismes devant être absents des poissons de bonne qualité (*Listeria*, *Salmonella*, *Vibrio*)^[131,218]. De plus, la présence de bactéries *Vibrio* n'est pas attendue dans la mesure où il s'agit d'une bactérie préférentiellement retrouvée en mer et dans les estuaires d'eaux chaudes^[222]. Fort de ces données nous les avons

58 UFC : Unité formant colonie. C'est la bactérie (supposément unique) à l'origine d'une colonie de bactéries « filles » que nous pouvons voir macroscopiquement.

Partie 2 - Étude expérimentale

croisées avec les données connues sur les bactéries dont le portage par les truites est quasi systématique (cf. tableau XXXII).

Tableau XXXII : Synthèse des portages bactériens de la truite arc-en-ciel d'élevage^[149,223,224].

Classe/Famille/Genre ou Espèce	Références			Remarque
	Salgado-Miranda et al. (2010) ^[149]	Huber et al. (2004) ^[223]	Nedoluha et al. (2001b) ^[224]	
<i>Aeromonas spp.</i>		✓	✓	Spécifique à l'eau douce
<i>Aeromonas hydrophila</i>		x		
<i>Aeromonas salmonicida</i>				
<i>Enterobacteriaceae</i>		✓		
<i>Edwardsiella spp.</i>				
<i>Enterobacter spp.</i>			x	
<i>Enterobacter cloacae</i>		x		
<i>Escherichia coli</i>	✓			Surtout en eaux chaudes
<i>Klebsiella spp.</i>				
<i>Plesiomonas shigelloides</i>				
<i>Pseudomonas spp.</i>		✓	✓	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>				
<i>Pseudomonas fluorescens</i>		x		
<i>Yersinia spp.</i>			x	
<i>Yersinia ruckeri</i>				
<i>Acinetobacter</i>	x			
<i>Shewanella</i>	✓		✓	
<i>Plesiomonas</i>		✓		
<i>Proteus</i>			x	
<i>Flavobacterium</i>	x		✓	
<i>Brochothrix</i>		x		

Si bien sûr la flore bactérienne d'un filet de poisson varie d'un individu à l'autre^[223] les *Aeromonas* et *Enterobacteriaceae* dominent la flore totale des truites arc-en-ciel dans la majorité des cas. Ces bactéries sont toutes deux membres des gamma protéobactéries^[225,226].

Aeromonas est un genre de bactéries gram moins, dont les formes sont coccobacillaires à bacillaires et qui sont réputées oxydase et catalase positives^[227]. Ce genre appartient à la famille des *Aeromonadaceae*, celle-ci côtoyant les familles des *Vibrionaceae* et des *Enterobacteriaceae*.

Les *Enterobacteriaceae* regroupent entre autre *Escherichia coli* et les genres *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Proteus*, *Salmonella*, *Shigella*, *Serratia*, *Plesiomonas*, *Edwardsiella*^[226,228-232]. Les bactéries

Partie 2 - Étude expérimentale

de la famille des entérobactéries peuvent être de précieux indicateurs de la qualité sanitaire, c'est en ce sens qu'elles sont utilisées par les fabricants d'aliments comme indicateurs de qualité microbiologique. Si de faibles contaminations sont parfois acceptables, un fort excès doit permettre de soupçonner le non-respect des bonnes pratiques d'hygiène et/ou de fabrication^[233]. Fréquemment impliquées dans des infections d'origine alimentaire, elles sont souvent présentes suite à une contamination par la flore fécale^[131,234].

Pseudomonas spp. revêt un rôle particulier dans l'altération des truites et semble un indicateur pertinent pour associer altération, organoleptique et populations bactériennes dans le temps^[150,152]. *P. fluorescens* est un agent d'altération du poisson. Mésophile, il se développe très bien au réfrigérateur à basse température. Il a été identifié par culture dans les filets de truites arc-en-ciel entiers (peau et chair)^[224] ce qui justifie pleinement sa culture.

C'est pour ces raisons que nous avons fait le choix d'étudier les flores suivantes. La flore totale après 72 h à 30 °C sur une gélose PCA^[134,219] (Plate count agar), qui permet plus exactement le dénombrement de la portion revivifiable de la flore mésophile aérobie totale. Cette méthode a été préconisée jusqu'en 2004 par le règlement de la Commission européenne puis abandonnée par l'institution pour certains de ses défauts. Elle apportera tout de même de précieuses informations^[219]. Nous avons cultivé la flore d'entérobactéries pendant 24 h à 37 °C sur milieu Violet red bile glucose agar (VRBG). C'est un milieu sélectif destiné à déterminer la présence et à estimer la quantité d'*Enterobacteriaceae*^[125]. Enfin nous avons mis en œuvre une culture 48 h à 25 °C sur milieu CFC qui nous a permis d'isoler et de dénombrer les *Pseudomonas spp.*^[150,152,224].

Nous avons procédé à la fabrication des milieux de culture et nous les avons coulés dans des boîtes de Pétri au laboratoire selon les recommandations des fabricants des différents milieux utilisés : le milieu PCA (BD Difco® ref. 247940), le milieu VRBG (VWR chemicals® ref. 85949) et le CFC (Biokar diagnostics® ref. BK118 et BK022).

viii.i. Préparation des solutions pour ensemencements des boîtes de Pétri

Nous avons préparé à l'avance de l'eau peptonée^[134] et rempli des tubes de dilution en verre de 9 mL avec celle-ci, puis nous avons stérilisé l'eau restante et les tubes. Nous avons utilisé un porte tube, cinq tubes stériles, cinq pipettes stériles de 1 mL et une de 10 mL. Pour obtenir la solution mère diluée au 1/5^{ème}, le sac contenant l'échantillon de filet a été placé dans le stomacher durant 5 minutes. Nous l'avons ensuite laissé 20 min à température ambiante pour revivification.

Sous hotte stérile nous avons prélevé 10 mL de la suspension mère pour remplir le tube vide t0 de suspension mère (S0). Avec une pipette neuve 1 mL de la S0 a été prélevé dans le tube précédent et il a été ajouté aux 9 mL d'eau peptonée de t1 pour donner (après passage sur le vortex) la suspension S1 correspondant à S0 diluée au 1/10^{ème}. Avec une pipette neuve 1 mL de la S1 a été prélevé dans le tube précédent et il a été ajouté aux 9 mL d'eau peptonée présents dans le tube suivant (t2) pour donner S2 après agitation. Nous avons répété les mêmes manipulations jusqu'à obtenir une suspension S5 diluée au 1/100 000^{ème}.

viii.ii. Comptage après culture à l'étuve

Pour la gélose PCA, nous avons sélectionné la géloseensemencée avec le facteur de dilution qui permet un dénombrement entre 30 et 300 UFC.

Pour la gélose VRBG, nous avons sélectionné la géloseensemencée avec le facteur de dilution qui permettait un dénombrement entre 15 et 150 UFC de colonies rouges de plus de 0,5 mm de diamètre.

Pour les géloses CFC, nous avons sélectionné la gélose appropriée selon le même principe, c'est-à-dire sur des boîtes ne comptant pas plus de 150 UFC^[235]. Par la suite, nous avons recherché l'existence de colonies d'aspects différents. Pour chaque aspect de colonie différent nous avons

Partie 2 - Étude expérimentale

réalisé un comptage séparé. Nous avons réalisé un test à l'oxydase pour chaque phénotype. Toute colonie testée oxydase positive a été étalée puis colorée au gram sur lame. Tout isolat de bacilles **gram négatif** avec un test **oxydase positif** a été considéré comme un **isolat présumé de *Pseudomonas spp.***

Enfin pour toutes les géloses, nous avons calculé la concentration bactérienne moyenne d'une dilution. Les comptages de la gélose rapportés à la concentration et au volume ensemencés nous ont donné le nombre d'UFC par gramme de filet.

Le nombre de gélose et les dilutions à utiliser (cf. tableau XXXIII) ont été évalués au fur et à mesure en fonction des comptages du stade précédent qui permettaient de prévoir quelles dilutions utiliser au stade suivant pour pouvoir faire les comptages dans les conditions prescrites par la littérature et les fabricants (cf. p. 138).

Tableau XXXIII : Nombre de dilutions et de géloses ensemencées.

	16 filets à chaque fois	J0	J3	J7	J9
PCA	Nombre de dilutions/filet	3 (S0, S1,S2)	3 (S0, S1,S2)	3 (S1,S2,S3)	3 (S2,S3,S4)
	Nombre de géloses	16 x 3 = 48	48	48	48
VRBG	Nombre de dilutions/filet	2 (S0, S1)	2 (S0,S1)	2 (S1,S2)	2 (S2,S3)
	Nombre de géloses	32	32	32	32
CFC	Nombre de dilutions/filet	2 (S0 et S1)	2 (S0,S1)	2 (S1,S2)	2 (S2,S3)
	Nombre de géloses	32	32	32	32

ix. Choix des variables explicatives et à expliquer et analyse statistique

ix.i. Variables

Une variable à expliquer (elle peut aussi être qualifiée de « dépendante ») est une variable d'intérêt qu'il faut décrire, expliquer et éventuellement modéliser. Dans notre expérience nous en avons choisi 13 (cf. tableau XXXIV).

Tableau XXXIV : Caractérisation des variables à expliquer.

Nom de la variable	Définition	Type et plage de valeurs	Unité
Cortisolémie	Concentration en cortisol dans le plasma au moment de la prise de sang	Variable quantitative continue comprise entre 22 et 915	nmol/L
Lactatémie	Concentration en lactates dans le plasma au moment de la prise de sang	Variable quantitative continue comprise entre 1,88 et 14,48	mmol/L
Glycémie	Concentration en glucose dans le plasma au moment de la prise de sang	Variable quantitative continue comprise entre 0,61 et 1,48	g/L
Hémolyse	Destruction des hématies du sang	Variable qualitative en 4 modalités 0, 1 ou 2	Sans unité

Partie 2 - Étude expérimentale

Nom de la variable	Définition	Type et plage de valeurs	Unité
Comptage de la flore totale sur gélose PCA	Nombre de colonies visibles sur un milieu PCA après 72 h à 30 °C	Variable quantitative continue comprise entre 50 et $9,45 \cdot 10^7$	Nombre d'UFC/g de filet
Comptage des <i>Enterobacteriaceae</i> sur gélose VRBG	Nombre de colonies visibles sur un milieu CFC après 24 h à 37 °C	Variable quantitative continue comprise entre 50 et $1,5 \cdot 10^7$	Nombre d'UFC/g de filet
Comptage des isolats présomptifs de <i>Pseudomonas spp.</i> sur gélose CFC	Nombre de colonies visibles (bacilles Gram-négatif et oxydase +) sur un milieu CFC après 48 h à 25 °C	Variable quantitative continue comprise entre 50 et $1,5 \cdot 10^7$	Nombre d'UFC/g de filet
Fraîcheur	Note de fraîcheur exprimée en points sur une échelle de 0 à 21	Variable quantitative continue comprise entre 7,5 et 21	Point
Cohésion	Solidité des liens internes due à la structure du produit. Elle est calculée par le rapport de la surface des aires sous la courbe aire 2/aire 1 (cf. figure 24)	Variable quantitative continue comprise entre 0,231 et 0,569	Sans unité
Collant	Mesure de l'adhérence correspondant à l'aire sous la courbe dans la partie bleue de la figure 24	Variable quantitative continue comprise entre 0,123 et 6,21	Newton seconde
Module de Young	Pente de la contrainte en fonction de la déformation	Variable quantitative continue comprise entre 45,8 et 401,2	Pascal
Dureté (en contrainte)	Contrainte (force sur surface) maximale exercée sur le produit	Variable quantitative continue comprise entre $3,4 \cdot 10^4$ et $15 \cdot 10^4$	Pascal
pH	Potentiel hydrogène mesuré en 1 point à l'intérieur du filet. Il reflète l'acidité	Variable continue comprise entre 5,95 et 6,51	Sans unité

Une variable à expliquer dépend d'une ou plusieurs variables explicatives qui déterminent ses variations et qui permettent de la décrire ou de l'expliquer. Celles que nous avons testées sont caractérisées dans le tableau XXXV.

Tableau XXXV : Caractérisation des variables explicatives.

Nom de la variable	Définition	Type et plage de valeurs	Unité
Méthode d'abattage	« Type » ou « modalité » de mise à mort utilisée : Ikejime, Électronarcose, Commotion cérébrale ou Asphyxie sur glace (cf. tableau XII)	Variable qualitative	Sans unité
Temps de prélèvement dans un bac	Durée écoulée entre le prélèvement du xième poisson d'un bac et le prélèvement du premier poisson de ce bac. Plus le temps de prélèvement dans le bac augmente pour les poissons restants, plus ils sont stressés par la capture des congénères pris avant eux	Variable continue comprise entre 0 et 43	Minutes
Bac d'origine des poissons	Numéro du bac ou de la « série » ce qui revient au même	Variable discontinue comprise entre 1 et 3	Sans unité
Stade de conservation	Durée de conservation après abattage avant la mesure de pH ou le comptage des flores bactériennes (J0, J3, J7, J9)	Variable discontinue comprise entre 0 et 9 jours	Jours
Point de mesure (PM)	Localisation du point de mesure de la texture sur le filet par un numéro : 1,2 ou 3 (du plus crânial au plus caudal) (cf. figure 25)	Variable qualitative notée de 1 à 3	Sans unité
Individu	Chaque individu fait l'objet d'une seule mesure à l'exception des mesures de contrainte maximale (ou dureté) qui sont répétées	Variable qualitative codée par IK, AS, CO, EL suivi d'un numéro d'identification individuel par ordre d'abattage de 1 à 16	Sans unité

ix.ii. Le traitement des données

Après un premier traitement avec Classeur LibreOffice® version 6.2.7.1^[236], nous avons procédé à l'analyse statistique de nos résultats sur le logiciel RStudio Desktop® 2022 avec R® version 4.2.1^[237] sous Windows 10. En effet, l'intervention de paramètres explicatifs, comme le temps de prélèvement dans un bac, pouvait perturber les résultats obtenus. Nous devons donc être en mesure d'évaluer l'impact relatif du stress lié au fait de voir des congénères se faire capturer par rapport au stress réellement imputable à la méthode d'abattage.

Précisons ce dernier point. Nous avons conçu cette variable TpsPrtBac pour rendre compte du stress potentiel engendré par la capture des poissons prélevés avant le xième poisson dans un bac donné. Plus le temps passe, moins il reste de congénères avec le poisson x dans le bac. Il a pu éviter la capture et être bousculé par d'autres poissons autant de fois que d'autres poissons ont été capturés avant lui. Après chacun de ces stress son taux de cortisol a pu avoir le temps d'augmenter avant le suivant. Le stress de la manipulation qui conduit à la mort est élevé. Pour autant il est de courte durée avec les trois méthodes CO, EL, IK. Aussi nous avons envisagé que le stress de capture ou post-capture de congénères pouvait aller croissant avec le temps de capture dans un bac et venir « gommer » l'effet éventuellement lié à la méthode d'abattage. C'est pour

Partie 2 - Étude expérimentale

contrecarrer ce défaut de notre protocole qu'il sera nécessaire de passer par une phase de modélisation.

Nous avons utilisé des modèles linéaires à effet mixte pour expliquer les concentrations plasmatiques *post mortem* de cortisol, de glucose et de lactates, le niveau de contamination bactérienne (par la Flore totale, les Entérobactéries et les *Pseudomonas spp.*) des filets, leur texture (par la contrainte maximale), la note de fraîcheur et finalement le pH des filets. Ceci pour les expliquer par la méthode d'abattage (Méthode), le temps de prélèvement dans un bac (TpsPrtBac) et en prenant en compte un effet aléatoire lié au bac d'origine des poissons (Bac). C'est la prise en compte de cet effet aléatoire qui justifie le recours à un modèle linéaire à effet mixte. Le stade de conservation des poissons (Stade) a seulement été utilisé dans l'analyse des caractéristiques décrivant la qualité des filets au cours de leur conservation (bactériologie, texture, pH). Le point de mesure (PM) a seulement été utilisé pour la modélisation des variables texturales puisqu'il ne concerne que celles-ci. En plus du bac, un **effet aléatoire « Individu »** a aussi été pris en compte dans le modèle d'analyse de la texture car les mesures ont été répétées à une même date pour un même individu sur des points de mesures différents répartis le long du filet.

Un modèle linéaire à effets mixtes peut se modéliser sous R à l'aide du package « **nlme** ». C'est un modèle hiérarchique dans lequel le premier niveau modélise la réponse individuelle, le deuxième niveau modélise le comportement des paramètres pour l'ensemble de la population. Par exemple, pour l'étude de l'effet de la méthode d'abattage et du temps de prélèvement dans le bac sur la concentration plasmatique en lactates, le modèle s'écrit :

Au niveau individuel :

$$Lactates_{ijk} = \alpha_i + \beta_{1i} \times TpsPrtBac_{ij} + \beta_{2i} \times Méthode_{ik} + \beta_{3i} \times TpsPrtBac \times Méthode + \varepsilon_{ijkl}$$

À l'échelle de la population :

Les résidus sont notés ε_{ijk} . Ils doivent être indépendamment et identiquement distribués selon une loi $N(0, \sigma^2)$ ou σ^2 est la variance résiduelle du modèle. Les coefficients α , β_1 , β_2 sont appelés effets fixes. Ils sont les estimations ponctuelles des paramètres pour la totalité de la population. Les coefficients a_i , b_{1i} , b_{2i} sont les effets aléatoires. Ils doivent être distribués selon une loi normale.

La significativité de chaque variable explicative des différents modèles a été vérifiée par un test ANOVA⁵⁹ de type III. Le but était de savoir si nous pouvions rejeter l'hypothèse H_0 : « La méthode d'abattage utilisée n'a pas d'influence sur le marqueur de stress ou le paramètre de qualité x ».

La normalité des résidus et des effets aléatoires a été vérifiée et validée pour chaque modèle au moyen de graphiques préconisés par les auteurs des modèles à effets mixtes José C. Pinheiro et Douglas M. Bates (2000)^[238]. Les figures 27 et 28 présentent les graphiques qui permettent de vérifier la normalité et l'homogénéité des résidus du modèle pour le valider. Il s'agit ici de l'exemple du glucose.

59 ANOVA : Analyse de la variance, de l'anglais Analysis of variance.

Partie 2 - Étude expérimentale

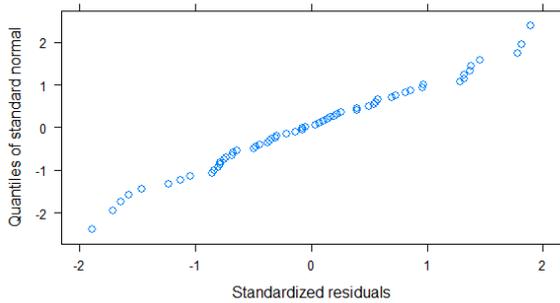


Figure 27: Les résidus du modèle sont alignés sur la première bissectrice ($y = x$). La condition de normalité est vérifiée.

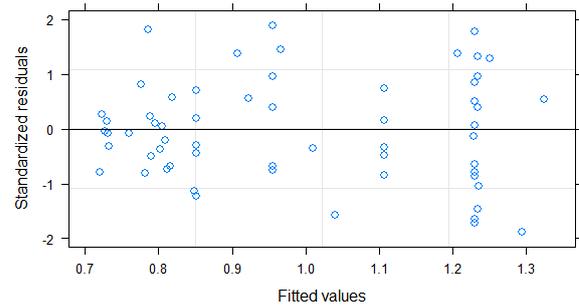


Figure 28 : Les résidus du modèle sont répartis de manière homogène par rapport à $y = 0$. La condition d'homogénéité est vérifiée

Pour les paramètres de qualité (niveau de contamination par les 3 différents types de flores étudiés, texture, note de fraîcheur et pH) nous avons d'abord procédé à une étude statistique tous stades confondus pour mesurer l'existence d'effets globaux liés à la méthode et/ou au stade. Exemple avec le pH :

$$pHTous\ stades_{ijklm} = \alpha_i + \beta_{1i} \times TpsPrtBac_{ij} + \beta_{2i} \times Méthode_{ik} + \beta_{3i} \times Stade_{lm} + \beta_{4i} TpsPrtBac \times Méthode + \beta_{5i} Stade \times Méthode + \beta_{6i} TpsPrtBac \times Stade + \varepsilon_{ijklmn}$$

NB : Pour la texture nous avons le paramètre PM en plus.

Ensuite nous avons procédé à une comparaison des méthodes pour chaque stade avec le même type de modèle que défini précédemment. Exemple au stade J0 pour le pH :

$$pHJ0_{ijk} = \alpha_i + \beta_{1i} \times TpsPrtBac_{ij} + \beta_{2i} \times Méthode_{ik} + \beta_{3i} TpsPrtBac \times Méthode + \varepsilon_{ijkl}$$

NB : Pour la texture nous avons le paramètre PM en plus.

Dès que l'ANOVA permettait de conclure à un impact significatif de la méthode et que le modèle réunissait les conditions de validité nous passons à l'étape finale. Le but ultime était de conclure à l'existence ou non de différences entre les paramètres (de stress ou de qualité) entre les méthodes comparées deux à deux. Pour cela nous avons extrait les paramètres du modèle (avec la fonction « summary ») puis procédé à la comparaison deux à deux des moyennes en fonction des méthodes grâce à un test du package « multcomp » dit « test de comparaison des moyennes de Tukey »^[239]. Pour les critères de qualité dans l'analyse dite « tous stades » (cf. p. 143) nous avons aussi appliqué ce test à la comparaison de l'effet des stades comparés deux à deux. La fonction « allEffects » du package « effects » permet aussi de visualiser les différents effets pris en compte par le modèle. Nous utiliserons parfois sa représentation graphique avec la fonction plot. Sur ces représentations graphiques une absence de chevauchement des barres d'erreur vaut différence significative dans le modèle. En revanche, le chevauchement n'exclut pas la différence significative.

L'hémolyse est la seule variable à expliquer qui soit qualitative. La construction d'un modèle linéaire est très complexe. Faute de temps, nous avons simplifié l'analyse de cette variable. Nous avons mis en œuvre un test de Khi-deux d'indépendance avec la fonction « chisq.test ». L'hypothèse H0 de ce test est : « Dans la population de l'étude, le caractère Méthode d'abattage est indépendant du caractère Niveau d'hémolyse du sang ». Si elle est rejetée, alors nous saurons

Partie 2 - Étude expérimentale

qu'au moins une des quatre méthodes est significativement corrélée à un niveau d'hémolyse préférentielle.

Dans le texte les valeurs sont les valeurs moyennes (μ) suivies de l'erreur standard et rédigé comme suit : μ (\pm erreur standard). Les résultats sont donnés avec 3 chiffres significatifs. Sauf précision contraire le **niveau de significativité** des résultats est de **95 %** (p-value < 0,05). Une lettre ou un symbole **identique** sur un graphique indique une **différence significative** deux à deux entre les modalités qui la portent.

B- Résultats

1) Étude des marqueurs sanguins du stress

a) Le cortisol

i. Données brutes

Nous observons que la concentration en cortisol plasmatique a tendance à être légèrement plus faible chez les poissons après asphyxie sur glace (AS). Le groupe AS se démarque notamment de l'Ikejime (IK) et de la commotion cérébrale (CO), lesquels ont plus de la moitié de leurs cortisolémies supérieures ou égales à celles du dernier quartile supérieur de AS (cf. figure 30).

ii. Traitement statistique

Le modèle additif simple du cortisol suivant réunit les conditions de validité énoncées dans le matériel et méthodes (cf. p. 142) :

$$\text{Cortisol}_{ijk} = \alpha_i + \beta_{1i} \times \text{TpsPrtBac}_{ij} + \beta_{2i} \times \text{Méthode}_{ik} + \varepsilon_{ijkl}$$

Il permet d'obtenir la modélisation décrite par les tableaux XXXVI et XXXVII

Tableau XXXVI : Table d'analyse de la variance du modèle du cortisol plasmatique.

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Référence)	1	53	357	< 0,0001
Méthode	3	53	5,17	0,0033
TpsPrtBac	1	53	68,5	< 0,0001

num ou denDF : nombre de degrés de liberté au numérateur ou au dénominateur

L'analyse de variance permet de constater que le rapport des variances factorielles (F-value) liée à la méthode est significativement supérieur à 1 avec une p-value < 0,01. Ainsi nous pouvons rejeter H0 et dire que la concentration de **cortisol** plasmatique dans le **post mortem immédiat** n'est **pas indépendante** de la **méthode utilisée pour l'abattage**. Le temps de prise dans le bac TpsPrtBac est aussi une variable explicative significative du taux de cortisol (p-value < 0,0001).

La table des effets fixes de chaque variable du modèle cortisol est décrite dans le tableau XXXVII ci-dessous.

Partie 2 - Étude expérimentale

Tableau XXXVII : Table des effets fixes du modèle du cortisol plasmatique.

	Cortisol en nmol/L	Erreur standard en nmol/L	Degrés de liberté	t-value	p-value
AS (référence)	334	39,7	53	8,39	0,0000
CO	-134	61,2	53	-2,19	0,0330
EL	-142	59,5	53	-2,39	0,0204
IK	-110	65,0	53	-1,70	0,0953
TpsPrtBac	14,6	1,76	53	8,28	0,0000

L'EL comme la CO provoquent une baisse moyenne significative de la cortisolémie par rapport à l'AS de respectivement 142 ($\pm 59,1$) et 134 ($\pm 61,1$) nmol/L. Pour l'IK la baisse moyenne est de 110 ($\pm 65,0$) nmol/L mais avec une significativité de seulement 90 % (p -value $< 0,1$). Le TpsPrtBac augmente la cortisolémie de 14,57 ($\pm 1,76$) nmol/L par minute de manière significative.

Avec l'application des corrections du modèle, la comparaison deux à deux des moyennes de Tukey ne met en évidence aucune différence significative à 95 % de confiance entre les moyennes corrigées comparées deux à deux. L'EL a une cortisolémie plus faible que l'AS, mais seulement avec un niveau de significativité de 92 % (p -value $< 0,08$). Cette différence n'est pas reportée sur le graphique car elle est inversée par rapport au diagramme des quartiles des résultats bruts. Nous pouvons la visualiser grâce à la fonction « allEffects » qui représente les valeurs de cortisolémie corrigées en fonction de la seule méthode d'abattage (cf. figure 29). La prise en compte du temps de prélèvement dans le bac (TpsPrtBac) ne suffit pas à mettre en évidence une différence significative entre IK et AS sur le cortisol mais elle bouleverse les résultats bruts obtenus. Bien que les différences ne soient pas significatives l'AS tend à générer une cortisolémie plus forte *post mortem*. C'est exactement l'inverse de la tendance suggérée par les résultats bruts (cf. figure 30).

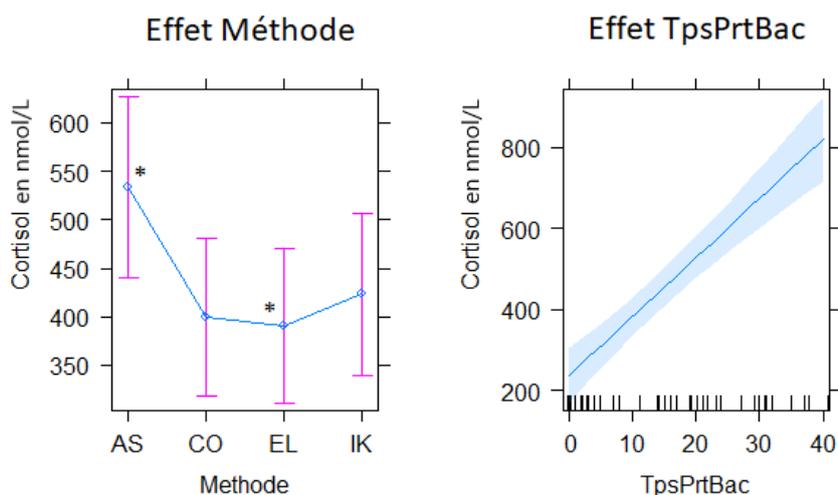


Figure 29 : Représentation graphique des résultats de la modélisation linéaire du cortisol en fonction de la méthode d'abattage et du temps de prélèvement dans le bac. Moyenne \pm Erreur standard ; * : différence à 92 % de confiance.

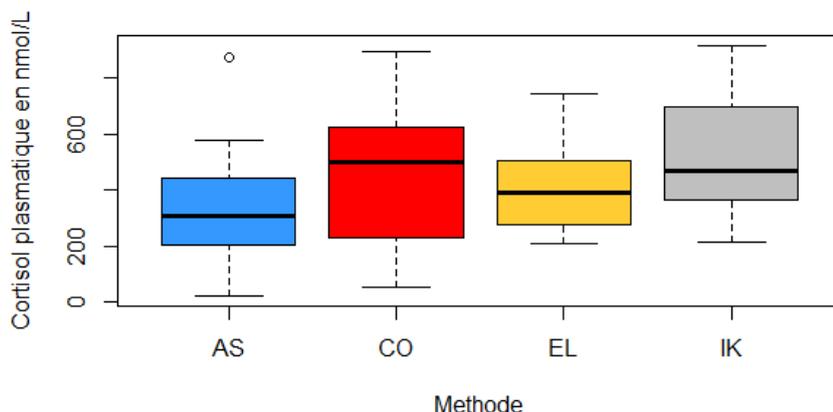


Figure 30 : Diagramme des quartiles des concentrations plasmatiques en cortisol brutes dans le post mortem immédiat en fonction de la méthode d'abattage utilisée. ○ : valeur extrême.

Ainsi la concentration de **cortisol** plasmatique dans le **post mortem immédiat** n'est pas indépendante de la **méthode utilisée pour l'abattage**. Il y a une tendance à la **majoration de l'augmentation de cortisolémie** engendrée par **l'abattage par l'asphyxie sur glace par rapport aux trois autres méthodes**. Même si ce n'est qu'une tendance nous en déduisons le classement suivant de la cortisolémie moyenne, associée à chaque méthode : **AS > IK ≈ CO ≈ EL**.

b) Le glucose

i. Données brutes

Nous observons que les concentrations de glycémie brutes des AS sont largement supérieures à celles des 3 autres méthodes. La CO se démarque avec des taux de glycémies apparemment plus faibles que celles des 3 autres méthodes. EL et IK sont à des niveaux de glucose plasmatique intermédiaires. Il faut noter la grande hétérogénéité des valeurs de concentrations en glucose plasmatique du groupe IK. Les poissons IK présentent un spectre de valeurs plus large que les 3 autres méthodes même si 50 % de l'effectif se concentre sur des valeurs intermédiaires de 0,8 à 1,2 g/L.

ii. Traitement statistique

Le modèle retenu est linéaire additif sans interaction. L'hypothèse H_0 est rejetée dans le cas de la méthode comme dans celui du temps de prélèvement dans le bac. Ils sont tous les deux non indépendants de la glycémie *post mortem* des poissons abattus dans l'expérience (p -value < 0,0001). Selon la modélisation, la glycémie *post mortem* des groupes CO, EL et IK diminue respectivement de 0,62 ($\pm 0,060$), 0,41 ($\pm 0,059$) et 0,43 ($\pm 0,064$) g/L par rapport au groupe AS. En revanche, ce même **taux de glycémie** augmente significativement avec le délai de prélèvement dans le bac. Il **augmente de $9,45 \cdot 10^{-2}$ ($\pm 1,73 \cdot 10^{-2}$) g/L/min** écoulee depuis la capture du premier poisson du bac.

La comparaison des moyennes deux à deux de Tukey (cf. tableau XXXVIII) et le graphique « allEffects » de la figure 31 mettent en évidence que l'EL, la CO et l'IK ont bien des niveaux de

Partie 2 - Étude expérimentale

glycémie significativement plus bas que l'AS. EL-CO et IK-CO sont significativement différents. Seule la différence EL-IK n'est pas significative.

Tableau XXXVIII : Table de comparaison de Tukey de la glycémie en fonction de la méthode d'abattage (différences significatives).

Méthodes et sens de la différence	Différence (\pm Erreur standard) en g/L	p-value
AS > CO	0,623 (\pm 0,060)	< 0,001
AS > EL	0,408 (\pm 0,059)	< 0,001
AS > IK	0,429 (\pm 0,064)	< 0,001
EL > CO	0,215 (\pm 0,0519)	< 0,001
IK > CO	0,194 (\pm 0,0523)	0,00113

Nous visualisons l'effet significatif de TpsPrtBac sur la valeur de glycémie figure 31. Les résultats bruts de la figure 32 sont donc tout à fait confirmés. Cette analyse permet d'indiquer les différences significatives avec les lettres sur les graphiques de la modélisation et des résultats bruts (cf. figures 31 et 32).

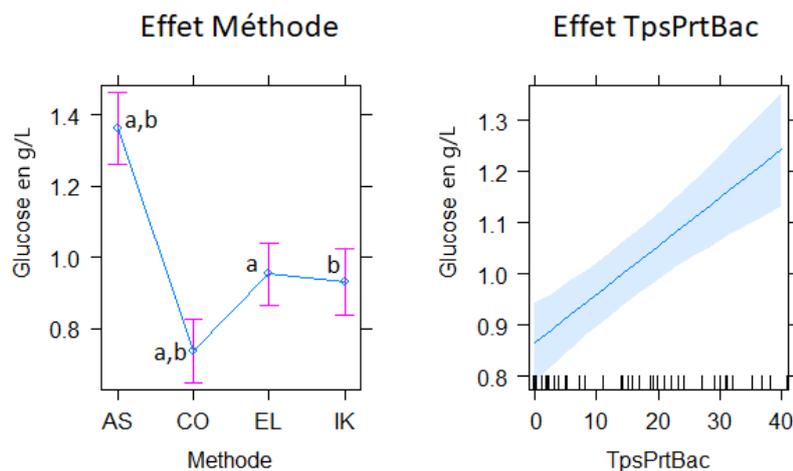


Figure 31 : Représentation graphique des résultats de la modélisation linéaire de la glycémie en fonction de la méthode et du temps de prélèvement dans le bac. Moyenne \pm Erreur standard.

Partie 2 - Étude expérimentale

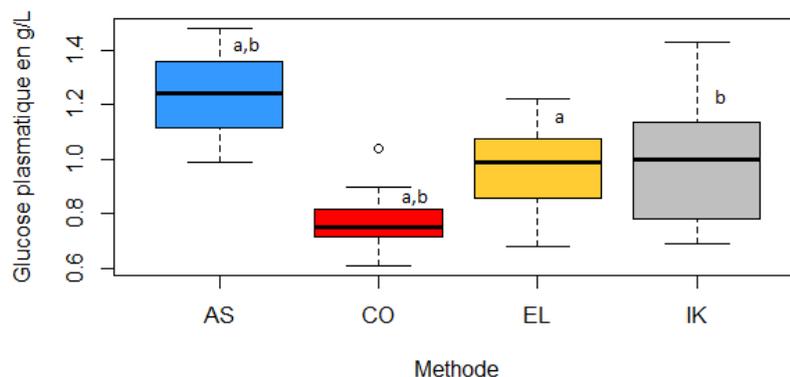


Figure 32 : Diagramme des quartiles des concentrations plasmatiques en glucose dans le post mortem immédiat en fonction de la méthode d'abattage utilisée. \circ : valeur extrême

La **méthode** et le **temps de prise dans le bac** ont un impact significatif sur les valeurs de glycémie *post mortem*. La moyenne des taux de glycémie, associée à chaque méthode, est classée comme suit : **AS > IK \approx EL > CO**.

c) Les lactates

i. Données brutes

L'observation du diagramme de la figure 33 permet de constater que les lactates plasmatiques sont entre 9 et 14 mmol/L chez les lots AS et EL. Ils semblent beaucoup plus faiblement concentrés dans le plasma des poissons CO ou IK. Au sein des deux « couples » (AS-EL et CO-IK) aucune différence ne semble se dégager sur ces données brutes.

ii. Traitement statistique

L'ANOVA révèle que l'hypothèse H_0 peut à nouveau être rejetée pour les deux variables explicatives (Méthode et TpsPrtBac). C'est-à-dire que la valeur de la lactatémie dans le *post mortem* immédiat n'est pas toujours indépendante de la méthode et du temps de prélèvement dans le bac (Méthode : p-value < 0,0001 ; TpsPrtBac p-value < 0,0037). La comparaison des moyennes de Tukey (cf. tableau XXXIX) permet de conclure que seule CO-IK et AS-EL ne montrent pas de différence significative de leur lactatémie sanguine qui soit liée à la différence de méthode d'abattage. Dans la comparaison des moyennes de Tukey la tendance à la diminution de EL par rapport à AS n'a pas de validité statistique.

Tableau XXXIX : Table de comparaison de Tukey de la lactatémie en fonction de la méthode d'abattage (différences significatives).

Méthodes et sens de la différence	Différence (\pm Erreur standard) en mmol/L	p-value
AS > CO	9,09 (\pm 0,639)	< 0,001
AS > IK	8,13 (\pm 0,679)	< 0,001
EL > CO	7,82 (\pm 0,552)	< 0,001
EL > IK	6,86 (\pm 0,561)	< 0,001

Partie 2 - Étude expérimentale

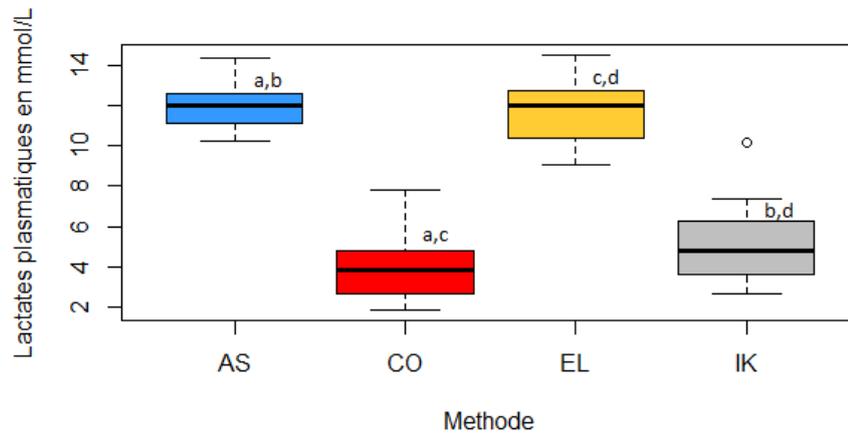


Figure 33 : Diagramme des quartiles des concentrations plasmatiques en lactates dans le post mortem immédiat en fonction de la méthode d'abattage utilisée. \circ : valeur extrême

La **méthode** et le **temps de prise dans le bac** ont un **impact significatif** sur les valeurs de **lactatémie post mortem**. La moyenne des lactatémies, associée à chaque méthode, est classée comme suit : **AS \approx EL > CO \approx IK**.

d) L'hémolyse

i. Données brutes

La fréquence de l'hémolyse du sang prélevé, associée à chaque méthode, est classée comme suit : **CO > EL > IK > AS** d'après la figure 34.

ii. Analyse statistique

Le test de Khi-deux d'indépendance réalisé indique que l'hypothèse H_0 est rejetée (p -value = $2,25 \cdot 10^{-5}$). Cela révèle l'existence d'un lien significatif entre au moins une des méthodes et le niveau d'hémolyse des prélèvements. Avec ce seul test la tendance constatée reste sujette à caution. Rien ne dit que les comparaisons visuelles deux à deux que nous pouvons faire sont associées à une différence significative à chaque fois.

Partie 2 - Étude expérimentale

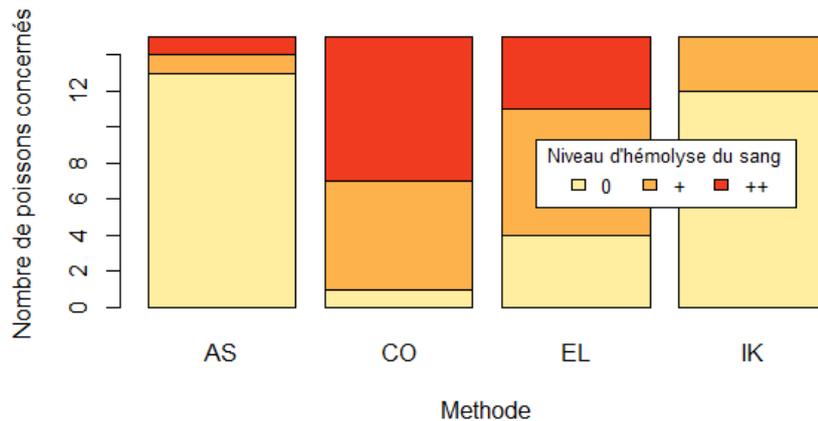


Figure 34 : Diagramme en barres empilées des effectifs associés à un niveau d'hémolyse du sang des prélèvements sanguins selon la méthode d'abattage.

Le **niveau d'hémolyse** des prélèvements sanguins n'est **pas indépendant de la méthode d'abattage**. La fréquence d'hémolyse du sang des prélèvements *post mortem*, associée à chaque méthode, a une tendance à se classer comme suit : $CO > EL > IK > AS$.

2) Étude des marqueurs de qualité de la viande

a) Fraîcheur

i. Analyse tous stades confondus

i.i. Résultats bruts

Comme nous pouvons le lire sur la figure 35 la méthode semble impacter la répartition des notes de fraîcheur tous stades confondus. Les AS et CO ont des notes de fraîcheur qui descendent plus bas que celles des EL et IK.

La figure 36 indique que la fraîcheur semble avoir tendance à diminuer avec la durée de conservation qui augmente. Entre 3 et 7 jours de conservation, la différence ne semble pas très marquée.

i.ii. Analyse statistique

Le modèle prend en compte une interaction entre la méthode et le stade de conservation. Il a une validité discutable en termes de normalité et d'homogénéité de ses résidus mais nous choisissons de l'exploiter.

Il indique que l'interaction Méthode/Stade est significativement liée à la note de fraîcheur obtenue par les filets. Le temps de prélèvement dans le bac n'a pas d'impact significatif. Comme suspecté plus tôt la comparaison deux à deux des moyennes de fraîcheur tous stades confondus ne donne aucune différence significative. La figure 36 indique nettement une tendance à la décroissance de la fraîcheur avec le stade.

Partie 2 - Étude expérimentale

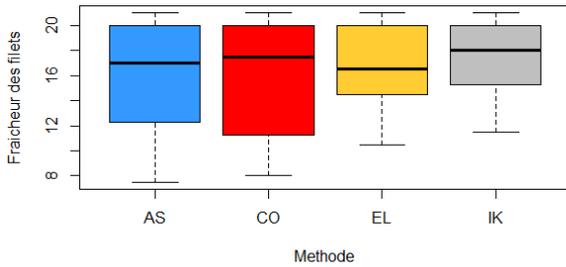


Figure 35 : Fraîcheur des filets sur une échelle de notation de fraîcheur croissante de 0 à 21 d'après la méthode de l'indice de qualité (cf. p. 58) en fonction de la méthode d'abattage tous stades confondus. ○ : valeur extrême

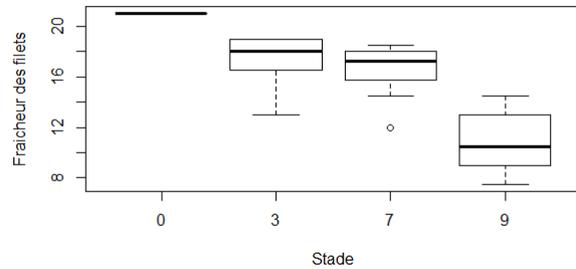


Figure 36 : Fraîcheur des filets sur une échelle de notation de fraîcheur croissante de 0 à 21 d'après la méthode de l'indice de qualité (cf. p. 58) en fonction du stade de conservation (en jours). ○ : valeur extrême

Le graphique « allEffects » de la figure 37 laisse suspecter une absence de différence significative entre les méthodes même pour un stade donné, à l'exception du stade 9. L'augmentation du temps de prélèvement dans le bac, donc du stress de capture des congénères, semble marquer une tendance à la diminution de la fraîcheur mais sans lien significatif. Nous avons vérifié cela par des modélisations stade par stade de l'impact de la méthode et du TpsPrtBac.

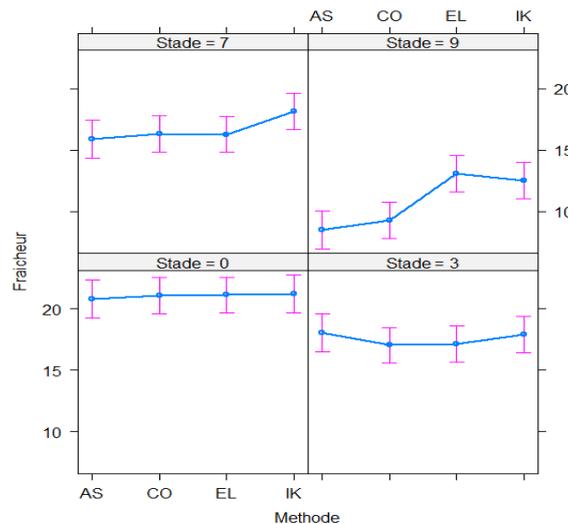


Figure 37 : Représentation graphique des résultats de la modélisation linéaire de la lactatémie en fonction de la méthode et du temps de prélèvement dans le bac. Moyenne \pm Erreur standard.

ii. Stade par stade

ii.i. Résultats bruts

Comme nous l'avions envisagé, il semble à la lecture des graphiques de la figure 38 que la méthode ne soit pas associée à des différences significatives de note de fraîcheur sauf peut-être pour le stade 9. Vérifions cela par la modélisation statistique et la prise en compte de l'effet éventuel du TpsPrtBac stade par stade.

Partie 2 - Étude expérimentale

ii.ii. Analyse statistique

À J0 il n'y a aucune différence entre les notes, la modélisation n'a donc aucun intérêt.

À J3 les conditions sur les résidus sont mal vérifiées et l'ANOVA ne traduit aucun lien entre les variables explicatives et la variable à expliquer (la fraîcheur). Nous en sommes donc restés là.

À J7 il y a une interaction Méthode/TpsPrtBac à prendre en compte dans la modélisation. L'ANOVA indique que c'est elle seule qui a un effet significatif sur la note de fraîcheur. Le modèle et la comparaison deux à deux des moyennes corrigées permettent de conclure à une différence significative entre EL et AS. Il existe une différence entre IK et EL mais avec un niveau de confiance de seulement 90 % (p-value = 0,0915).

Enfin, à J9 l'ANOVA indique un effet significatif de la méthode d'abattage sur la note de fraîcheur. Dans le modèle l'électronarcose et l'Ikejime augmentent respectivement de 4,52 ($\pm 0,935$) (p-value = 0,0009) et 3,90 ($\pm 1,09$) (p-value = 0,0059) points la note de fraîcheur. La comparaison multiple des moyennes permet de conclure à une différence significative des notes de fraîcheur selon la méthode tel que EL > AS, IK > AS, EL > CO, IK > CO (cf. tableau XL).

Tableau XL : Table de comparaison de Tukey de la fraîcheur en fonction de la méthode d'abattage au stade J9 (différences significatives).

Méthodes et sens de la différence	Différence (\pm Erreur standard) en points	p-value
EL > AS	4,52 ($\pm 0,935$)	< 0,001
IK > AS	3,90 ($\pm 1,09$)	0,00169
EL > CO	3,83 ($\pm 0,870$)	< 0,001
IK > CO	3,20 ($\pm 0,884$)	0,00153

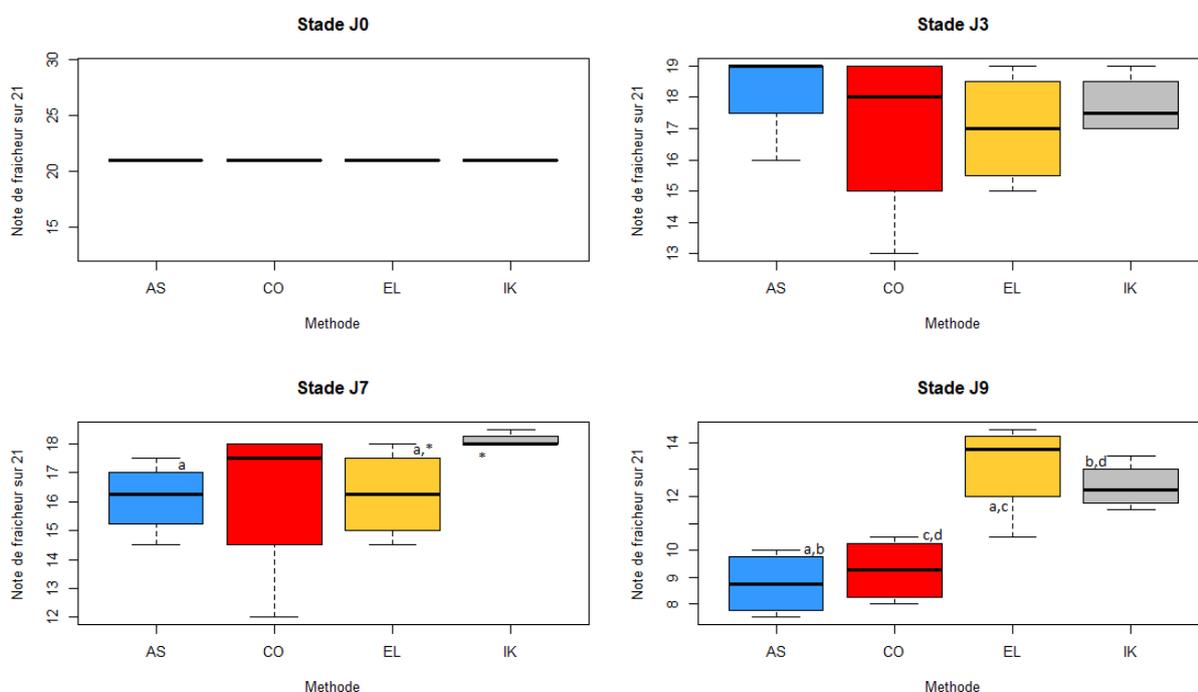


Figure 38 : Graphiques de comparaison des notes de fraîcheur en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7 et J9).* : différence à 90 % de confiance.

Partie 2 - Étude expérimentale

Avec ce protocole nous n'avons pas pu démontrer l'existence d'une différence entre les notes de fraîcheur aux stades de conservations J0 et J3. Les différences sont **statistiquement significatives entre méthodes à J9**. Au stade de conservation le plus avancé (J9) la moyenne de fraîcheur, associée à chaque méthode, est classée comme suit : **EL ≈ IK > AS ≈ CO**.

b) Le pH

i. Analyse tous stades confondus

i.i. Résultats bruts

La figure 40 permet de constater qu'aucune différence selon la méthode d'abattage ne semble exister. Nous notons simplement que les valeurs de pH des filets EL semblent particulièrement dispersées. Le pH est plus faible en moyenne aux stades J3, J7 et J9 qu'à J0. En revanche, il ne semble pas y avoir de différence entre J3, J7 et J9.

i.ii. Analyse statistique

L'ANOVA du modèle additif simple utilisé montre un effet significatif du stade de conservation sur le pH. La méthode n'a pas d'effet significatif. Le temps de prélèvement dans le bac à un effet si nous nous contentons d'un niveau de confiance à 90 %. Dans le modèle le pH diminue entre J0-J3 ou J0-J7, J0-J9 de manière significative. Cependant il est donné plus haut à J7 et J9 qu'à J3. Le temps de prélèvement dans le bac est corrélé (p -value = 0,0908) à une faible augmentation du pH à mesure que les poissons sont exposés au stress de la capture de leurs congénères du même bac (+1,8.10⁻³ unité pH/min). Ces éléments statistiques sont illustrés par la lecture du graphique « allEffects » de la figure 39 ci-après.

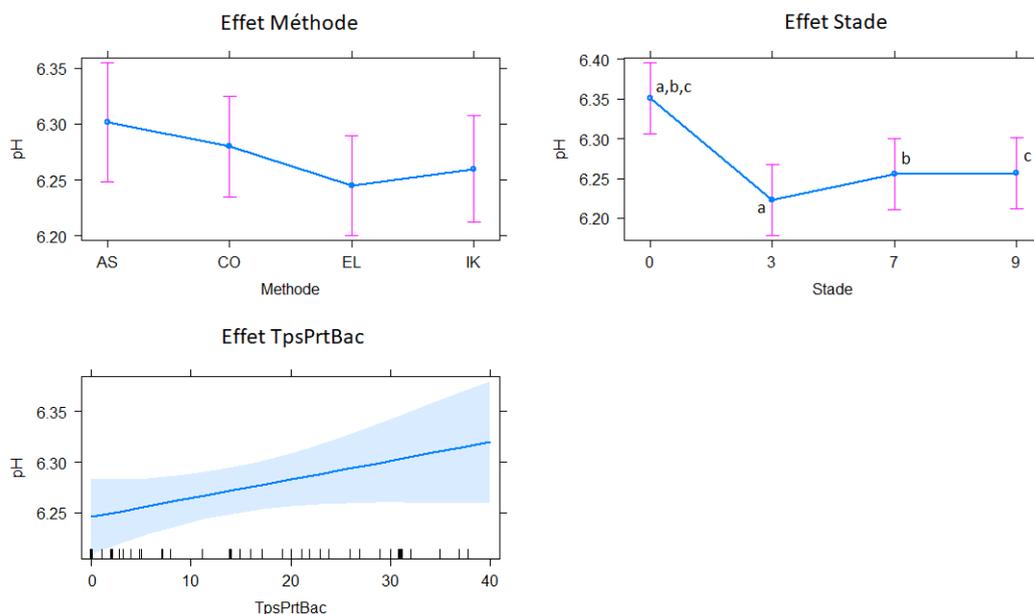


Figure 39 : Représentation graphique des résultats de la modélisation linéaire du pH des filets en fonction de la méthode, du stade de conservation et du temps de prélèvement dans le bac. Moyenne ± Erreur standard.

Le graphique « Stade effect plot » suggère que le stade modifie significativement le pH à la baisse entre J0-J3, J0-J7 et J0-J9 mais il qu'il n'y a pas de différence significative entre J3, J7 et J9 pris deux à deux. La comparaison multiple des moyennes de Tukey le confirme (cf. figure 41).

Partie 2 - Étude expérimentale

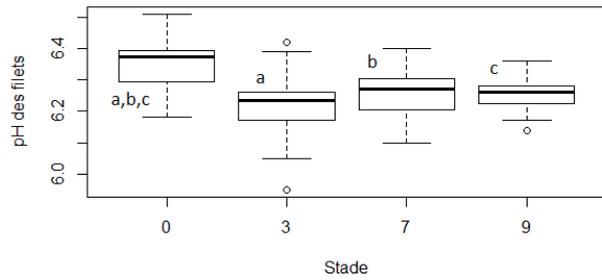
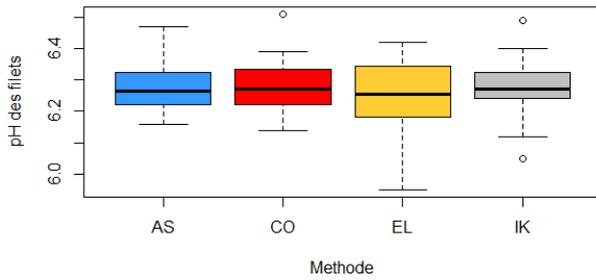


Figure 40 : Diagramme des quartiles du pH des filets à tous les stades de conservation étudiés en confondus (J0, J3, J7, J9) en fonction de la méthode d'abattage utilisée. ○ : valeurs extrêmes

Figure 41 : Diagramme des quartiles du pH des filets toutes méthodes d'abattage confondues en fonction du stade de conservation (en jours). ○ : valeurs extrêmes

ii. Stade par stade

ii.i. Résultats bruts

Lors des 3 premiers stades de conservation il ne semble pas y avoir de différence claire de pH des filets en fonction des méthodes d'abattage. Au 9^{ème} jour de conservation dans notre expérience, l'IK semble avoir un pH plus élevé que les trois autres groupes.

iii. Analyse statistique

À J0 la méthode n'a aucun effet significatif d'après l'ANOVA. Seul TpsPrtBac influe sur le pH (p-value = 0,0230). La comparaison des moyennes deux à deux en fonction de la méthode n'est donc pas pertinente.

À J3 le modèle ne vérifie pas les conditions de normalité et d'homogénéité des résidus. Nous devons nous contenter des résultats bruts et nous constatons qu'ils ne montrent pas de différence.

À J7 comme à J9 ni la méthode, ni le TpsPrtBac n'ont un effet significatif sur la valeur du pH des filets.

Partie 2 - Étude expérimentale

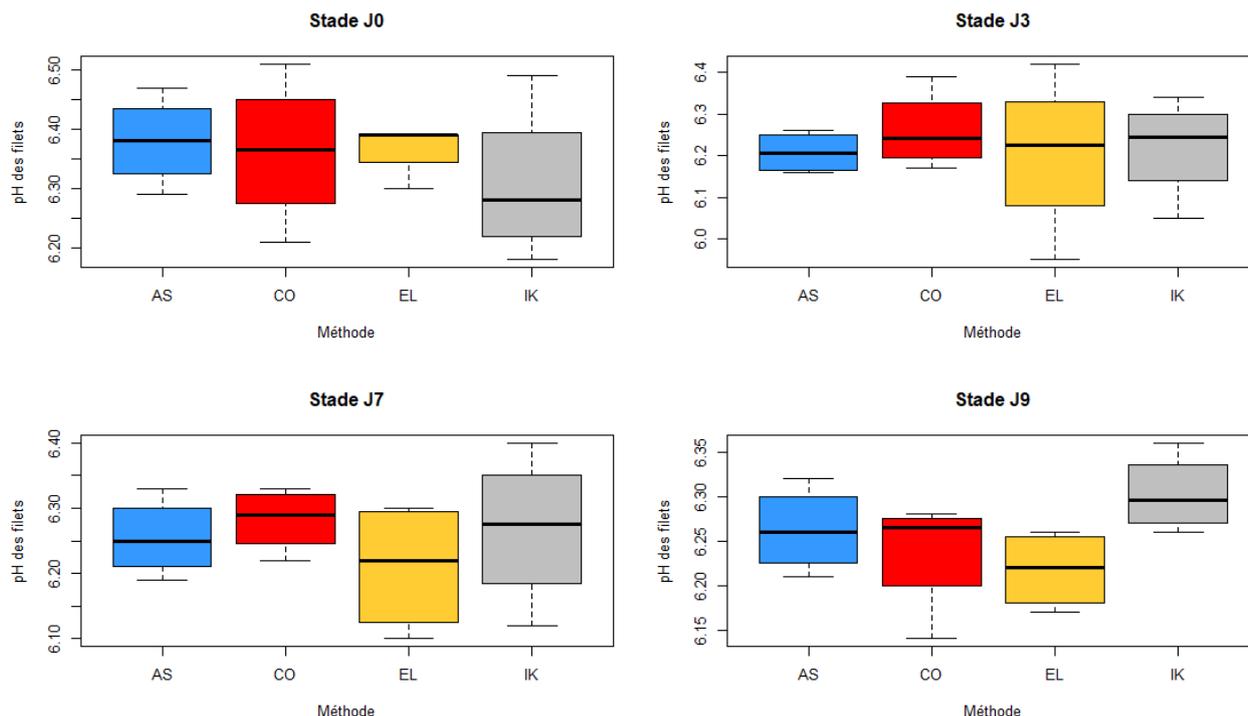


Figure 42 : Graphiques de comparaison du pH des filets en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7 et J9). * : différence à 90 % de confiance.

Aucun des modèles ponctuels à chacun des stades de conservation ne permet de conclure à une différence des valeurs de pH des filets en fonction de la méthode. Le **pH diminue entre J0 et J3 et stagne ensuite**. La moyenne de pH, associée à chaque méthode, a tendance à être classée comme suit (cf. figure 39) : AS > CO > IK > EL (non significatif).

c) La texture

L'analyse texturale par le TPA fournit de nombreuses données. Nous avons collecté les mesures permettant de rendre compte de la dureté, du collant et de la cohésion des échantillons et également de calculer le module de Young. Ici nous nous concentrerons sur trois paramètres seulement. Le module de Young est la pente de la contrainte de déformation en fonction de la déformation epsilon de départ dans la phase dite « plastique » de réaction de l'échantillon à la contrainte. Quand la surface de contact entre le mobile et l'échantillon est irrégulière (ce qui était le cas sur nos filets), la courbe de la déformation présente des artefacts au début. Ces artefacts rendent difficile la dérivation de la courbe par l'analyste. Les données du module de Young n'ont donc pas été interprétées. Nous nous sommes concentrés sur la dureté (ou contrainte maximale à 50 % de raccourcissement), la cohésion et le collant.

i. La contrainte

La dureté est supposée rendre compte de la « mâche » du produit. Nous avons retenu son expression en Pascal. Au plan physique il s'agit donc bien d'une contrainte (une force rapportée à la surface sur laquelle elle s'exerce). Par souci de simplicité nous parlerons souvent de « contrainte » ou de « dureté ».

Partie 2 - Étude expérimentale

i.i. Analyse de la contrainte tous stades confondus

i.i.i. Résultats bruts

De prime abord, en confondant les valeurs de tous les stades, aucune influence de la méthode d'abattage ne se dégage visuellement (cf. figure 43). Sur la figure 44 la dureté semble décroître entre J0 et J7 puis reste relativement stable.

i.i.ii. Analyse statistique

L'ANOVA indique que la méthode n'a aucun impact significatif quand nous mélangeons tous les stades de conservation dans l'analyse. Le stade de conservation a un impact significatif sur la texture à 99 % (p-value = 0,0001), comme le point de mesure (p-value < 0,0001). Le TpsPrtBac joue aussi un rôle si nous tolérons un niveau de confiance à 94 % (p-value = 0,0565).

Avec l'absence d'effet significatif de la méthode selon l'ANOVA, la comparaison des moyennes deux à deux en fonction de la méthode d'abattage n'est pas possible. Nous pouvons en revanche comparer les stades entre eux. Les différences significatives entre les stades sont résumées dans le tableau XLI et répercutées sur le graphique des quartiles de la figure 44.

Tableau XLI : Table de comparaison de Tukey de la contrainte toutes méthodes confondues en fonction du stade (différences significatives).

Stades et sens de la différence	Différence (\pm Erreur standard) en kPa	p-value
J0 > J3	12,1 (\pm 3,50)	0,00312
J0 > J7	18,9 (\pm 3,48)	< 0,001
J0 > J9	11,0 (\pm 3,48)	0,00935
J9 > J7	7,92 (\pm 3,41)	0,0932

■ : significativité à moins de 95 % de confiance

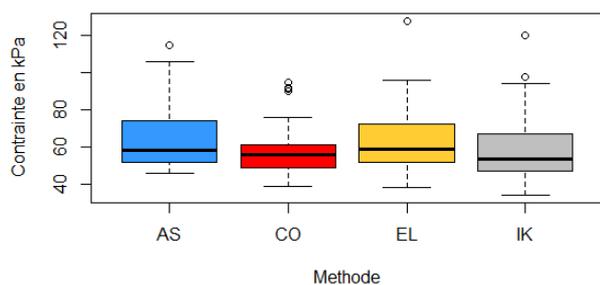


Figure 43 : Contrainte des filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades confondus. \circ : valeurs extrêmes

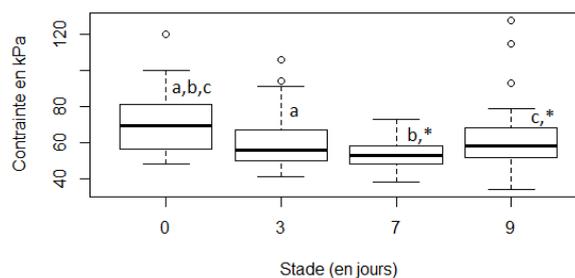


Figure 44 : Contrainte des filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues. \circ : valeurs extrêmes ; * : différence à 90 % de confiance.

Nous ne ferons pas d'analyse statistique stade par stade pour la contrainte. Cette analyse ne serait pas pertinente puisque l'analyse de variance sur le modèle linéaire qui vérifie les conditions d'homogénéité et de normalité des résidus accepte l'hypothèse H0 : « La méthode n'a pas d'effet sur la valeur de contrainte des échantillons ».

La contrainte rend compte de la dureté des échantillons. **Elle n'est pas dépendante de la méthode d'abattage** utilisée dans nos résultats. Nous avons seulement démontré que la **dureté des échantillons diminue** entre J0 et J3 pour se stabiliser jusqu'à J7. Nous trouvons une différence significative entre J7 et J9 traduisant une légère remontée de la dureté à la fin de la conservation au frais.

ii. La cohésion

La cohésion rend compte de la solidité des liens internes à l'échantillon. Plus ses liens sont conservés suite à la première épreuve de raccourcissement à 50 % plus le produit a une cohésion élevée. Un produit dont la cohésion ne serait pas du tout impactée aurait exactement la même aire sous la courbe lors de la première et de la deuxième phase compressive du TPA (cf. figure 24). Elle est calculée sur la base d'un rapport d'aires et donc n'a pas d'unité.

ii.i. Analyse de la cohésion tous stades confondus

ii.i.i. Résultats bruts

La lecture du graphique des quartiles de la figure 45 donne à penser que la cohésion est identique entre AS, CO et EL. L'IK semble avoir des valeurs de cohésion plus resserrées et plus basses. La figure 46 laisse entrevoir une légère tendance à la baisse des valeurs de cohésion au cours du temps mais elle semble relativement bien conservée au cours du temps passé au réfrigérateur.

ii.i.ii. Analyse statistique

La modélisation prend en compte deux interactions : Méthode/Stade et Stade/Point de mesure. L'ANOVA nous indique un rôle significatif de ces deux interactions (respectivement p-value = 0,0361 et 0,0440). Le TpsPrtBac n'a lui pas d'impact significatif sur les valeurs de cohésion. Les interactions significatives dans les effets fixes calculés du modèle sont peu nombreuses et leur interprétation fastidieuse ne serait pas très informative.

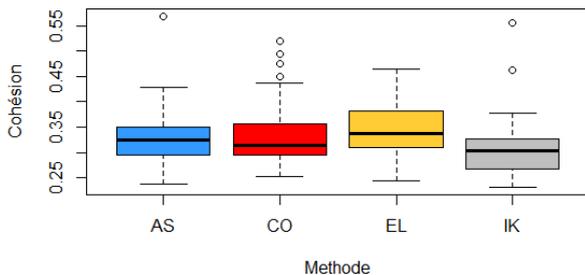


Figure 45 : Cohésion des filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades confondus. ○ : valeurs extrêmes.

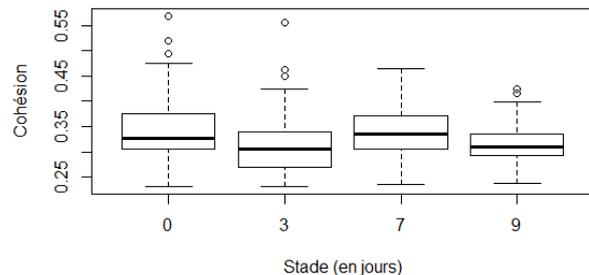


Figure 46 : Contrainte des filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues. ○ : valeurs extrêmes.

En revanche la représentation graphique « allEffects » de la figure 47 nous indique un effet probable de la méthode à chaque stade. Nous allons donc directement comparer les méthodes stade par stade. Pour l'instant, il n'est pas possible de confirmer que l'IK a des valeurs de cohésion plus faibles que les 3 autres méthodes.

Partie 2 - Étude expérimentale

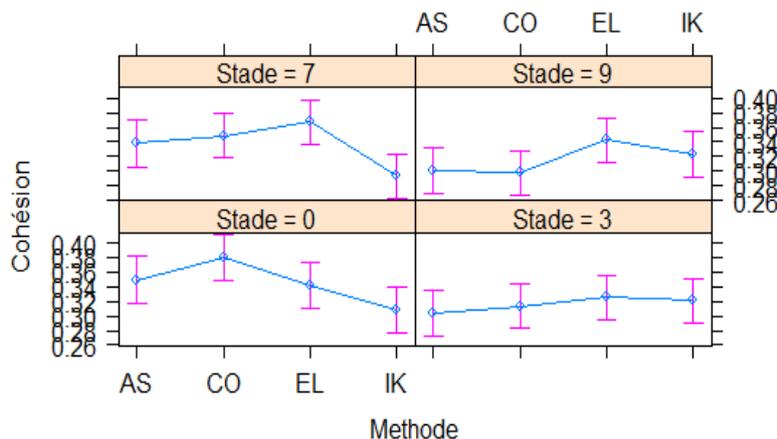


Figure 47 : Représentation graphique « allEffects » de l'effet de l'interaction Méthode d'abattage/Stade de conservation sur la cohésion. Moyenne \pm Erreur standard.

ii.ii. La cohésion à chaque stade

ii.ii.i. Résultats bruts

Au stade J0 CO se distingue par une grande dispersion des valeurs de cohésion de ses échantillons. Il semble que CO ait tendance à avoir des valeurs plus hautes que les 3 autres modalités d'abattage. L'IK semble avoir des valeurs plus basses que AS, CO et EL. Au stade J3 il ne semble pas y avoir de méthode qui se démarque, si ce n'est peut-être l'IK légèrement plus bas en cohésion que AS, CO et EL. Au stade J7 les mesures faites sur l'IK sont largement plus basses, reste à voir si cette différence est significative. Au stade J9 la dispersion pour les valeurs de AS et EL est importante. La cohésion des échantillons IK semble supérieure à CO et inférieure à EL. La dispersion de AS est telle qu'il est difficile de se faire une idée.

ii.ii.ii. Analyse statistique

À J0 la normalité et l'homogénéité sont vérifiées mais la seule relation significative à 95 % avec la cohésion est celle du point de mesure (p-value = 0,0013). L'interaction Méthode/TpsPrtBac a une p-value de 0,0813 seulement, nous nous sommes donc arrêtés là dans l'analyse statistique de l'effet de la méthode. Nous avons réalisé un test de comparaison deux à deux de Tukey pour quantifier l'impact du point de mesure. La tendance est à la hausse de la cohésion dans le sens crânio-caudal du poisson (point 1 vers le 3). Plus le mobile de l'appareil de mesure est placé près de la queue, plus la cohésion est haute (cf. tableau XLII).

Tableau XLII : Table de comparaison de Tukey de la cohésion toutes méthodes confondues en fonction du point de mesure à J0 (différences significatives).

Point de mesure (PM) et sens de la différence	Différence (\pm Erreur standard)	p-value
PM1 < PM2	0,0421 (\pm 0,0171)	0,0387
PM1 < PM3	0,0670 (\pm 0,0174)	< 0,001

Partie 2 - Étude expérimentale

À J3 les conditions de validation du modèle sont vérifiées mais ici encore seul le point de mesure a un effet significatif sur la valeur mesurée (p -value = 0,0008). Comme à J0 la comparaison des moyennes deux à deux en fonction du point de mesure révèle que la cohésion tend à croître dans le sens crânio-caudal. C'est ce qu'illustre bien la figure 48 « allEffects ». Les mesures de cohésion sont significativement différentes entre les points de mesure 1 et 3, et entre les points 2 et 3 (cf. tableau XLIII).

Tableau XLIII : Table de comparaison de Tukey de la cohésion toutes méthodes confondues en fonction du point de mesure à J3 (différences significatives).

Point de mesure (PM) et sens de la différence	Différence (\pm Erreur standard)	p-value
PM1 < PM3	0,0881 (\pm 0,0207)	< 0,001
PM2 < PM3	0,0487 (\pm 0,0207)	0,0483

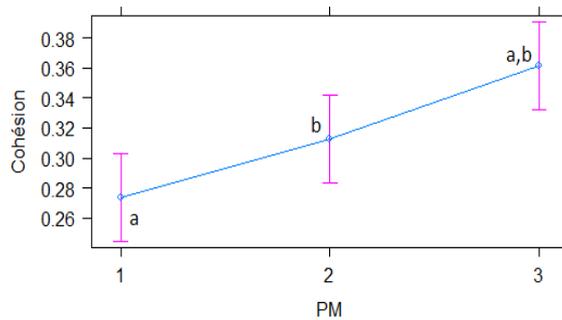


Figure 48 : Représentation graphique « allEffects » de l'effet du point de mesure sur la mesure de cohésion à J3. Moyenne \pm Erreur standard.

À J7 il y a un effet significatif de la méthode et du point de mesure (p -value de respectivement 0,0079 et 0,0087). TpsPrtBac n'a pas d'effet significatif. Les conditions de validité du modèle sont vérifiées. La comparaison deux à deux des moyennes de cohésion en fonction du point de mesure indique que les points 1 et 3 sont significativement différents (p -value = 0,00257) et il y a là aussi une nette augmentation de la cohésion en fonction de la position du PM dans le sens crânio-caudal (cf. figure 50). La comparaison des moyennes de Tukey permet de confirmer une différence significative de **cohésion en fonction de la méthode d'abattage entre IK-CO et IK-EL** à J7 (cf. tableau XLIV et figure 49).

Tableau XLIV : Table de comparaison de Tukey de la cohésion en fonction de la méthode d'abattage à J7 (différences significatives).

Méthode et sens de la différence	Différence (\pm Erreur standard)	p-value
CO > IK	0,0571 (\pm 0,0176)	0,00679
EL > IK	0,00740 (\pm 0,0175)	< 0,001

Partie 2 - Étude expérimentale

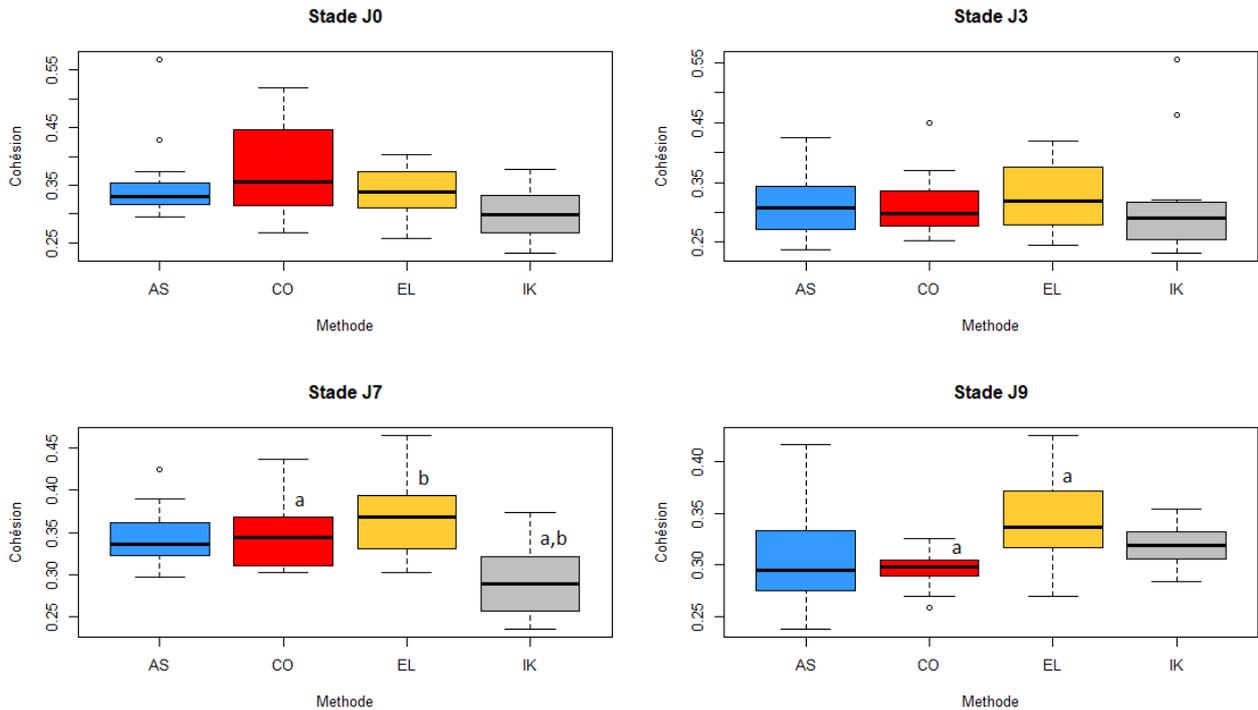


Figure 49 : Graphiques de comparaison de la cohésion des filets en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7, J9). ○ : valeurs extrêmes.

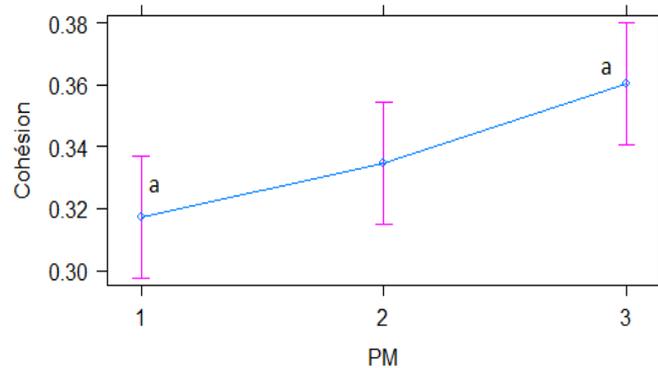


Figure 50 : Représentation graphique « allEffects » de l'effet du point de mesure sur la mesure de cohésion à J7. Moyenne \pm Erreur standard.

À J9 la modélisation vérifie les conditions de sa validité mais ne conclut pas à un effet des variables explicatives à 95 % de confiance. Il n'y a aucune interaction entre les valeurs de cohésion des échantillons et le point de mesure (p -value = 0,4001). Pour la méthode si nous acceptons un niveau de confiance à 92 % il y a un effet (p -value = 0,0733). La comparaison deux à deux de la cohésion en fonction des méthodes donne une différence entre EL et CO tel que $EL > CO$ de 0,0472 ($\pm 0,0166$) (p -value = 0,0229) .

La cohésion semble parfois associée à la méthode d'abattage. Au stade **J7 l'Ikejime a des valeurs de cohésion plus faibles que l'électronarcose et la commotion**. Malheureusement la modélisation statistique ne permet pas de confirmer cette tendance de l'Ikejime à avoir des valeurs plus basses de cohésion que l'asphyxie, l'électronarcose et la commotion. Le point de mesure fait croître la mesure de cohésion à mesure que le mobile est déplacé vers la queue du poisson.

iii. Le collant

La sensation de « collant » est mesurée par l'adhérence de l'échantillon au mobile lorsque la compression est relâchée. C'est une surface sur le graphique TPA, donc le produit d'une force et d'une unité de temps exprimée en N.s.

iii.i. Analyse du collant tous stades confondus

iii.i.i. Résultats bruts

Comme la cohésion, le collant semble être stable pour CO, EL et AS. L'IK se démarque légèrement à la hausse (cf. figure 51 et 52). Aucune différence claire selon les stades ne se dégage sur la figure 52.

iii.i.ii. Analyse statistique

La modélisation prend en compte deux interactions : Méthode/Stade et Stade/Point de mesure. L'ANOVA nous indique un rôle significatif de ces deux interactions (respectivement p-value = 0,0164 et 0,0015). Le TpsPrtBac n'a lui pas d'impact significatif sur les valeurs de cohésion. Les interactions significatives dans les effets fixes calculés du modèle sont peu nombreuses et leur interprétation fastidieuse ne serait pas très informative.

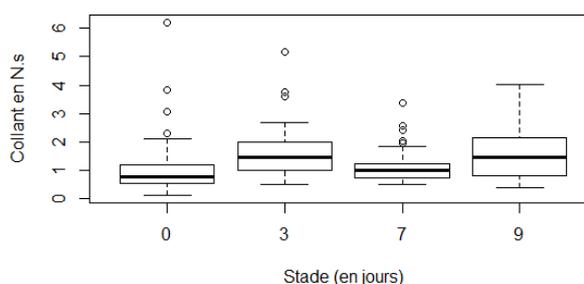
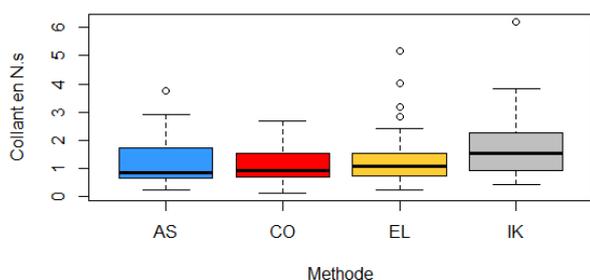


Figure 51 : Collant des filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades confondus. ○ : valeurs extrêmes.

Figure 52 : Collant des filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues. ○ : valeurs extrêmes ; * : différence à 90 % de confiance.

En revanche la représentation graphique « allEffects » de la figure 53 nous indique un probable effet de la méthode à chaque stade. Nous allons donc directement comparer les effets des méthodes, stade par stade, en portant une attention particulière aux stades J0 et J7 où il semble bien que la différence entre l'IK et les 3 autres méthodes puisse se confirmer. Pour l'instant il n'est pas possible de confirmer que l'IK a des valeurs de cohésion plus élevées que les 3 autres méthodes.

Partie 2 - Étude expérimentale

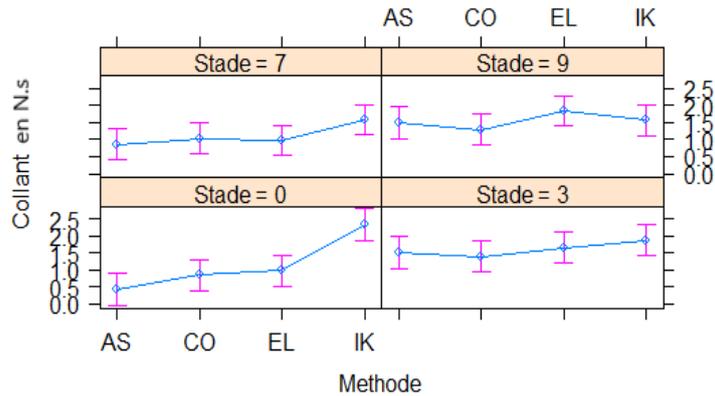


Figure 53 : Représentation graphique « allEffects » de l'effet de l'interaction Méthode d'abattage/Stade de conservation sur le collant. Moyenne \pm Erreur standard.

iii.ii. Le collant à chaque stade

iii.ii.i. Résultats bruts

À la lecture de la figure 55, il semble que de J0 à J7 l'IK soit associé à un collant supérieur à l'AS, la CO et l'EL. Cette différence semble s'estomper entre J7 et J9. À J3 il ne semble pas que cette différence existe avec l'AS. Voyons si l'analyse statistique confirme cela.

iii.ii.ii. Analyse statistique

À J0 l'ANOVA indique uniquement une influence significative de méthode d'abattage (p-value < 0,0058). La comparaison des moyennes avec la méthode de Tukey donne des différences significatives deux à deux. Elles sont résumées dans le tableau XLV et reportées sur les figures 54 et 55.

Tableau XLV : Table de comparaison de Tukey des méthodes au stade J0 (différences significatives).

Méthodes et sens de la différence	Différence (\pm Erreur standard) en N/s	p-value
IK > AS	2,17 (\pm 0,53)	< 0,001
IK > CO	1,58 (\pm 0,41)	< 0,001
IK > EL	1,42 (\pm 0,40)	0,00222

Partie 2 - Étude expérimentale

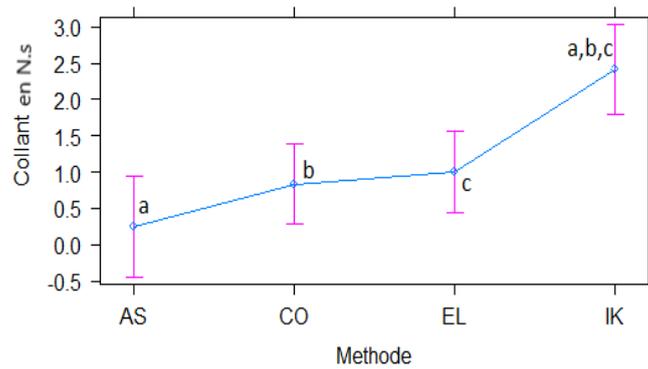


Figure 54 : Représentation graphique « allEffects » de l'effet de la méthode d'abattage sur le collant à J0. Moyenne \pm Erreur standard.

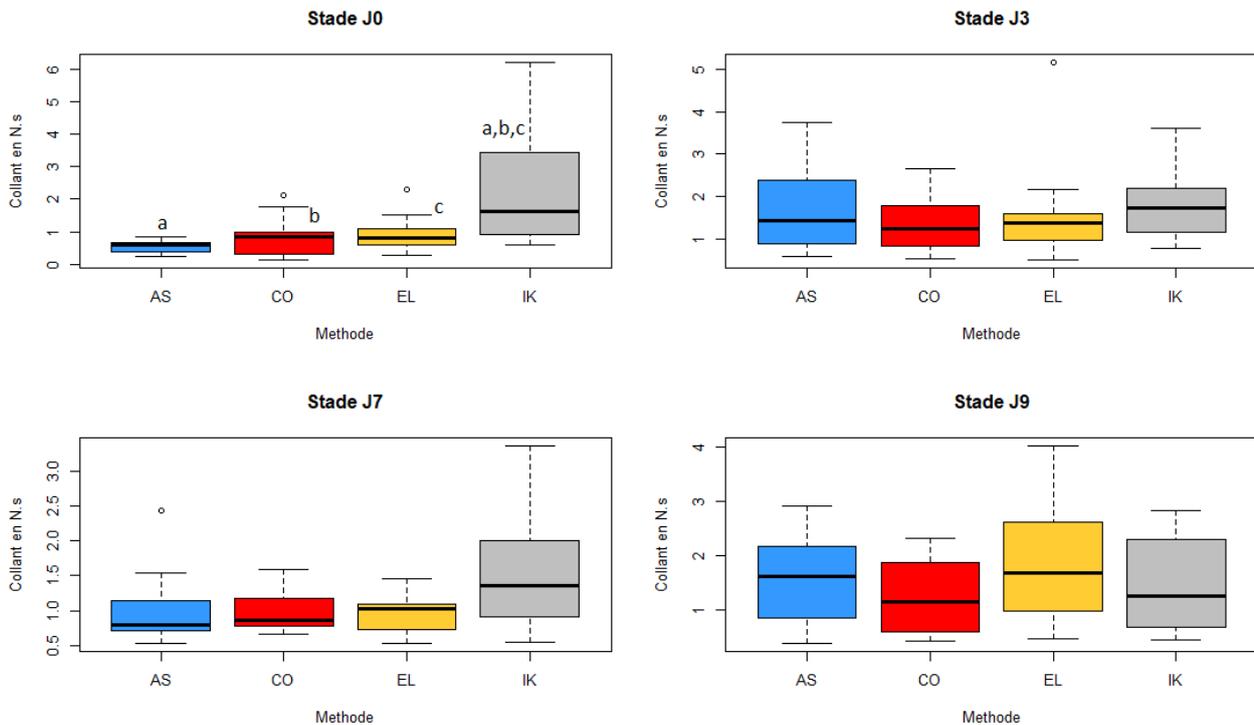


Figure 55 : Graphiques de comparaison du collant des filets en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7, J9). \circ : valeurs extrêmes.

À J3 les conditions de validité du modèle sont vérifiées mais l'ANOVA ne révèle aucun effet significatif des paramètres du modèle, méthode d'abattage incluse. Nous n'irons donc pas plus loin.

À J7 les conditions de validité du modèle sont limitées et l'ANOVA révèle que la méthode n'a pas d'impact significatif sauf à abaisser le seuil du niveau de confiance à 94 % (p -value = 0,0541). TpsPrtBac et PM n'ont pas non plus de lien significatif avec le collant. Nous n'irons donc pas plus loin dans l'interprétation.

Partie 2 - Étude expérimentale

À J9 les conditions de normalité et d'homogénéité des résidus sont vérifiées mais l'ANOVA ne révèle pas de lien significatif entre le collant et la méthode ou le TpsPrtBac.

Le **collant** ne présente de **différence dépendante de la méthode** que pour l'**Ikejime au début de l'évolution post mortem** de la chair. Nous constatons que le **collant** est plus élevé pour l'Ikejime à **J0** de sorte que le collant associé à chaque méthode s'échelonne comme suit : **IK > EL ≈ CO ≈ AS**.

iv. Bilan sur la texture

La **méthode d'abattage** utilisée n'impacte pas la dureté de l'échantillon dans nos résultats. La **dureté des échantillons diminue** entre J0 et J3 pour se stabiliser jusqu'à J7. Au stade **J7 l'Ikejime a des valeurs de cohésion plus faibles que l'électronarcose et la commotion**. Nous constatons que le **collant** est plus élevé pour l'Ikejime à **J0** de sorte que la moyenne du collant, associée à chaque méthode, peut être classée comme suit : **IK > EL ≈ CO ≈ AS**.

d) La bactériologie

i. Flore totale

i.i. Analyse tous stades confondus

i.i.i. Résultats bruts

À l'échelle globale, tous stades confondus, la figure 56 ne permet pas de discerner de différence entre les dénombrements de flore totale en fonction de la méthode d'abattage. Il semble bien en revanche que celle-ci augmente au cours de la conservation au réfrigérateur (cf. figure 57).

i.i.ii. Analyse statistique

La modélisation linéaire et l'analyse de variance nous apprennent que la **méthode d'abattage** et le **stade de conservation** ont un **effet significatif sur la flore totale** qui se développe sur et/ou dans les filets des poissons conservés entiers vidés au réfrigérateur (niveau de confiance à 99 %).

Selon les paramètres du modèle, la méthode IK augmente la flore totale de $0,68 (\pm 0,32) \log_{10} \text{ UFC/g}$ en moyenne par rapport à l'AS. Les stades J3, J7 et J9 sont respectivement associés à des augmentations moyennes de la flore totale de $1,84 (\pm 0,26)$, $4,17 (\pm 0,26)$ et $5,13 (\pm 0,26) \log_{10} \text{ UFC/g}$ de filet.

La comparaison multiple des moyennes de Tukey nous permet d'aller encore plus loin. Elle révèle que tous stades confondus CO a des niveaux de contamination significativement plus faibles en moyenne que l'IK de $0,88 (\pm 0,26) \log_{10} \text{ UFC/g}$ (p-value = 0,00375). Il en va de même pour EL en moyenne $-0,68 (\pm 0,26) \log_{10} \text{ UFC/g}$ par rapport à l'IK.

La comparaison des stades entre eux toutes méthodes confondues permet de constater une différence significative entre tous les stades (p-value < 0,001), y compris entre J7 et J9 (p-value < 0,002) (cf. figure 56).

Partie 2 - Étude expérimentale

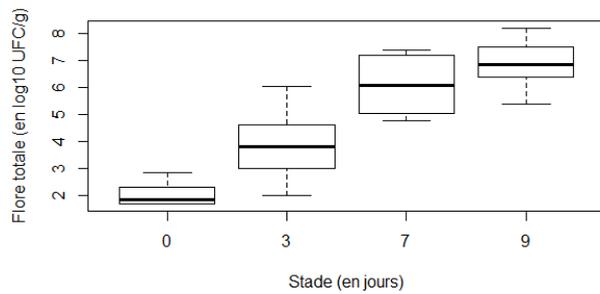
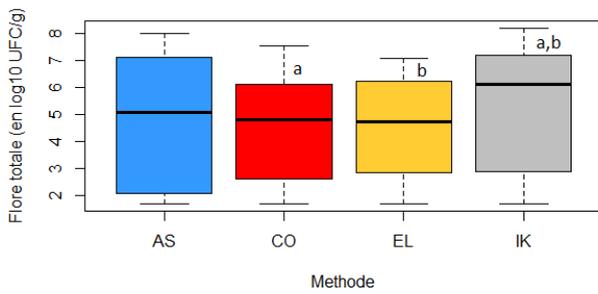


Figure 56 : Flore totale des filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades de conservation confondus. ○ : valeurs extrêmes. Figure 57 : Flore totale des filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues. ○ : valeurs extrêmes ; tous les stades sont significativement différents.

i.ii. Stade par stade

i.ii.i. Résultats bruts

À J0 la contamination semble faible et varie davantage pour EL et CO que AS et IK. Aucune méthode ne semble se démarquer par le niveau de contamination initial associé. Si la contamination initiale ne diffère pas, nous pourrions tirer des conclusions sur les différences éventuellement observées dans les stades ultérieurs. À J3 l'IK et l'EL semblent se démarquer avec des dénombrements bactériens plus importants que pour la CO et l'AS. Aux stades J7 et J9 l'IK conserve des populations de flore totale mésophile qui semblent supérieures à celles des autres méthodes. Il semble que la supériorité des comptages de flore totale de CO et EL par rapport à l'AS à J3 s'inverse dans les deux derniers stades étudiés. Aux stades J3, J7 et J9 l'AS se distingue par une forte hétérogénéité des dénombrements de la flore totale des filets.

i.ii.ii. Analyse statistique

À J0 le modèle ne vérifie pas les conditions de normalité et d'homogénéité des résidus. Aucun impact de la méthode ne peut donc être attesté. Même si le graphique brut des quantiles à J0 (cf. figure 58) ne semble pas indiquer de différence, elle ne peut pas non plus être totalement exclue.

À J3 l'homogénéité des résidus n'est pas vérifiée.

À J7 le modèle est valide et l'ANOVA indique un effet significatif de la méthode d'abattage sur la contamination bactérienne (p -value = 0,0335). Pour CO par rapport à l'AS le modèle indique une diminution significative de la contamination moyenne par la flore totale de $1,31 (\pm 0,622) \log_{10} \text{ UFC/g}$ à un niveau de confiance de 93 % (p -value = 0,0643). La comparaison de Tukey indique que les comptages de flore totale de l'IK sont bien supérieurs à CO et EL respectivement de $1,83 (\pm 0,510)$ et $1,16 (\pm 0,510) \log_{10} \text{ UFC/g}$ avec des niveaux de confiance à 98 % (p -value = 0,00192) et 90 % (p -value = 0,0995).

À J9 la normalité des résidus du modèle n'est pas vérifiée. Nous ne pouvons pas conclure formellement sur la significativité des observations faites à J9.

Partie 2 - Étude expérimentale

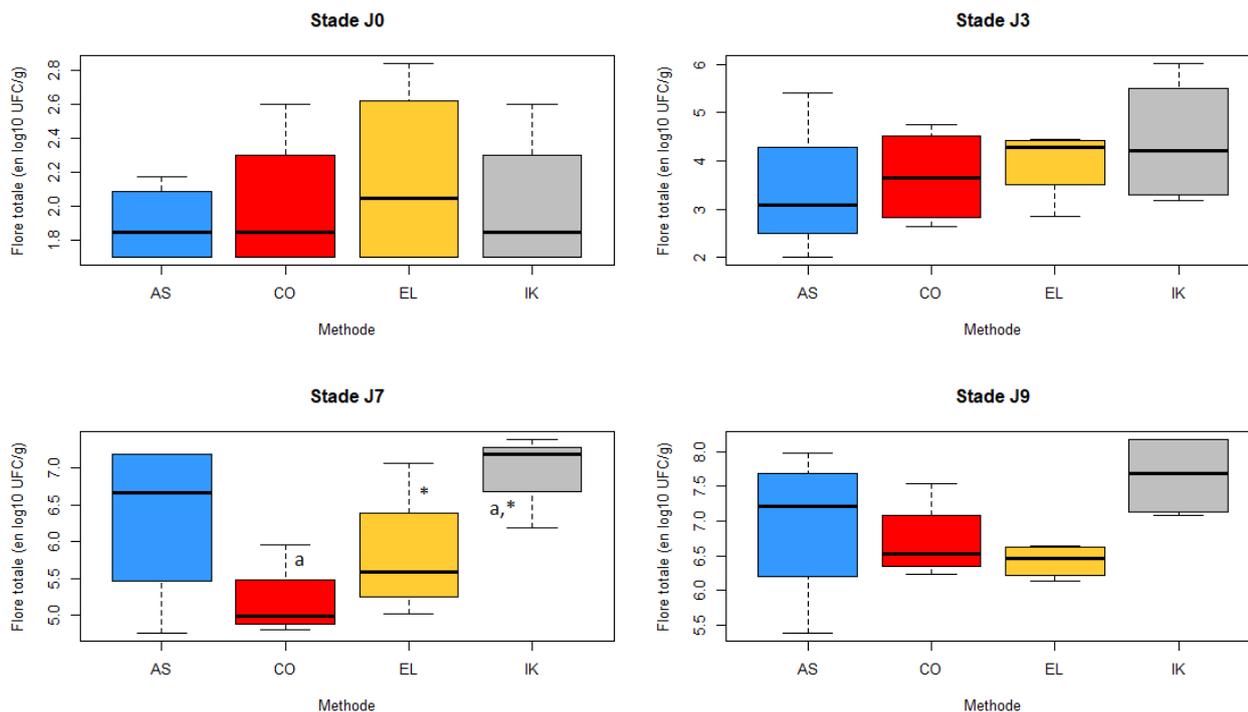


Figure 58 : Graphiques de comparaison de la contamination des filets par la flore totale mésophile aérobie en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7, J9). * : différence à 90 % de confiance.

Tous stades confondus, la méthode d'abattage et le stade de conservation impactent significativement les dénombrements de flore totale. La moyenne de contamination, associée à chaque méthode, est classé comme suit : **IK > CO ≈ EL**. À J3, J7 et J9 les poissons **IK montrent une tendance à être davantage contaminés par la flore totale**. À J7 la **contamination moyenne par la flore totale**, associée à chaque méthode, peut-être classée comme suit : **IK > CO ≈ EL**.

ii. Entérobactéries

ii.i. Analyse tous stades confondus

ii.i.i. Résultats bruts

Nous remarquons que l'IK possède la gamme de contamination la plus large. La médiane des contaminations par l'IK est aussi beaucoup plus élevée que celle des trois autres méthodes (cf. figure 59). Le diagramme des quartiles de contamination par les entérobactéries en fonction du stade (figure 60) semble indiquer que la contamination des filets croît au fil du temps avec peut-être un plateau à partir de J7.

ii.i.ii. Analyse statistique

L'ANOVA nous indique que **la méthode d'abattage et le stade de conservation ont un effet significatif sur le degré de contamination par les entérobactéries** (p-value = 0,0006 et < 0,0001). L'interaction de la méthode avec le stade est significative à un niveau de confiance de seulement 90 %.

Partie 2 - Étude expérimentale

Dans le modèle les stades J7 et J9 sont associés à des augmentations significatives de la contamination en entérobactéries. Ces augmentations sont respectivement de 3,60 (\pm 0,54) et 2,91 (\pm 0,54) log₁₀ UFC/g. Il y a également une interaction significative Méthode IK/Stade J9.

En confondant tous les stades, la comparaison deux à deux des moyennes ne donne **aucune différence en fonction de la méthode** ce qui confirme l'observation faite sur le diagramme des quartiles par méthode (figure 59). Il faudra aller dans le détail des stades pour voir si des différences se dessinent et peuvent expliquer l'effet significatif détecté par l'analyse multiple de variance (ANOVA) du modèle. Les stades J0-J7, J0-J9, J3-J7 et J3-J9 sont différents de 3,60 (\pm 0,539), 2,91 (\pm 0,539), 3,03 (\pm 0,539) et 2,34 (\pm 0,539) log₁₀ UFC/g avec un niveau de confiance de plus de 99 % (cf. figure 60).

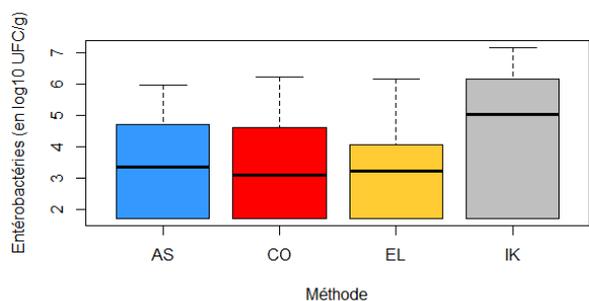


Figure 59 : Entérobactéries dans les filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades de conservation confondus.

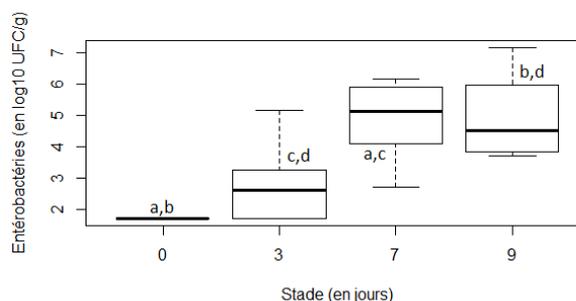


Figure 60 : Entérobactéries des filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues.

ii.ii. Analyse stade par stade

ii.ii.i. Résultats bruts

Nous savons qu'en réalité la contamination au stade 0 était inférieure au niveau médian représenté. Rien ne dit que les contaminations étaient rigoureusement égales comme cela apparaît figure 62. Nous ne ferons aucune analyse statistique de ce stade. Nous partirons du postulat que si la contamination n'était **pas forcément identique**, elle était **faible**, en dessous de notre **seuil de détection de 50 UFC/g** soit environ 1,70 log₁₀ UFC/g.

Au stade J3 l'IK a une médiane plus haute que les 3 autres groupes. Le dénombrement des entérobactéries des filets IK prend des valeurs entre 2 et 6 log₁₀ UFC/g ce qui est très **hétérogène** par rapport à EL, CO et AS. Dans les stades suivants cette hétérogénéité s'estompe mais l'IK a toujours des valeurs de contamination plus élevées. La figure 61 en rend mieux compte mais il faut noter les fortes oscillations des valeurs de contamination bactérienne au fil des stades pour une même méthode. AS qui augmente à 5 log₁₀ UFC/g au stade J7 redescend à une moyenne de 4,5 log₁₀ UFC/g à J9.

Partie 2 - Étude expérimentale

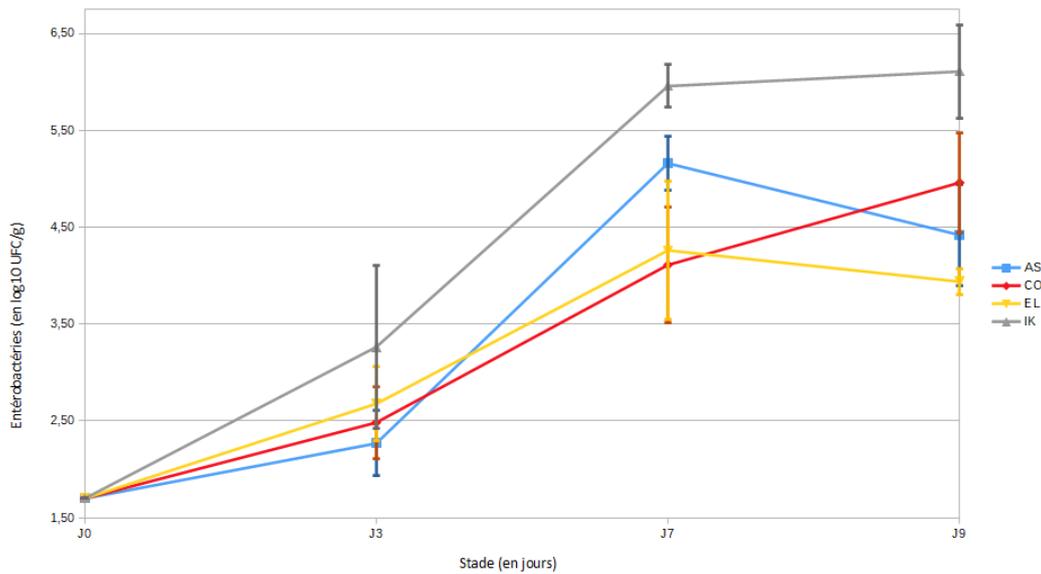


Figure 61 : Evolution des moyennes des dénombrements d'entérobactéries dans les échantillons selon la méthode d'abattage et en fonction du stade de conservation au réfrigérateur. Moyenne \pm Erreur standard ($n = 4$).

Voyons maintenant quelles différences sont réellement significatives après la modélisation et son analyse statistique avec la correction éventuelle qu'elle apporte en fonction du TpsPrtBac.

ii.ii.ii. Analyse statistique

Au stade J0 l'analyse n'est pas pertinente.

Aux stades J3 et J7 le modèle présente des conditions de validation limites. Il ne révèle aucun effet significatif de la méthode ou du temps de prélèvement dans le bac sur le degré de contamination par les entérobactéries.

Au stade J9 la robustesse du modèle est discutable. Son analyse statistique met en évidence un impact significatif de la méthode (p -value = 0,0025). À 95 % de confiance, le temps de prélèvement dans un même bac n'a pas d'effet significatif (p -value = 0,0578). L'IK augmente la contamination de manière significative par rapport à l'AS de $2,37 (\pm 0,510)$ log₁₀ UFC/g. Avec un niveau de confiance plus faible (94 %) CO augmente aussi les comptages à J9 de $1,02 (\pm 0,461)$ log₁₀ UFC/g. Le temps de prélèvement dans le bac après le premier poisson capturé dans ce bac impacte la population d'entérobactéries à la baisse de $0,0301 (\pm 0,0139)$ log₁₀ UFC/g (p -value = 0,0578). La comparaison multiple des moyennes indique quatre différences significatives : $IK > AS$, $CO > EL$, $IK > CO$, $IK > EL$ (cf. figure 62). À J9 la moyenne du niveau de contamination par les entérobactéries, associée à chaque méthode, est classée comme suit : **IK > CO \approx AS > EL \approx AS.**

Partie 2 - Étude expérimentale

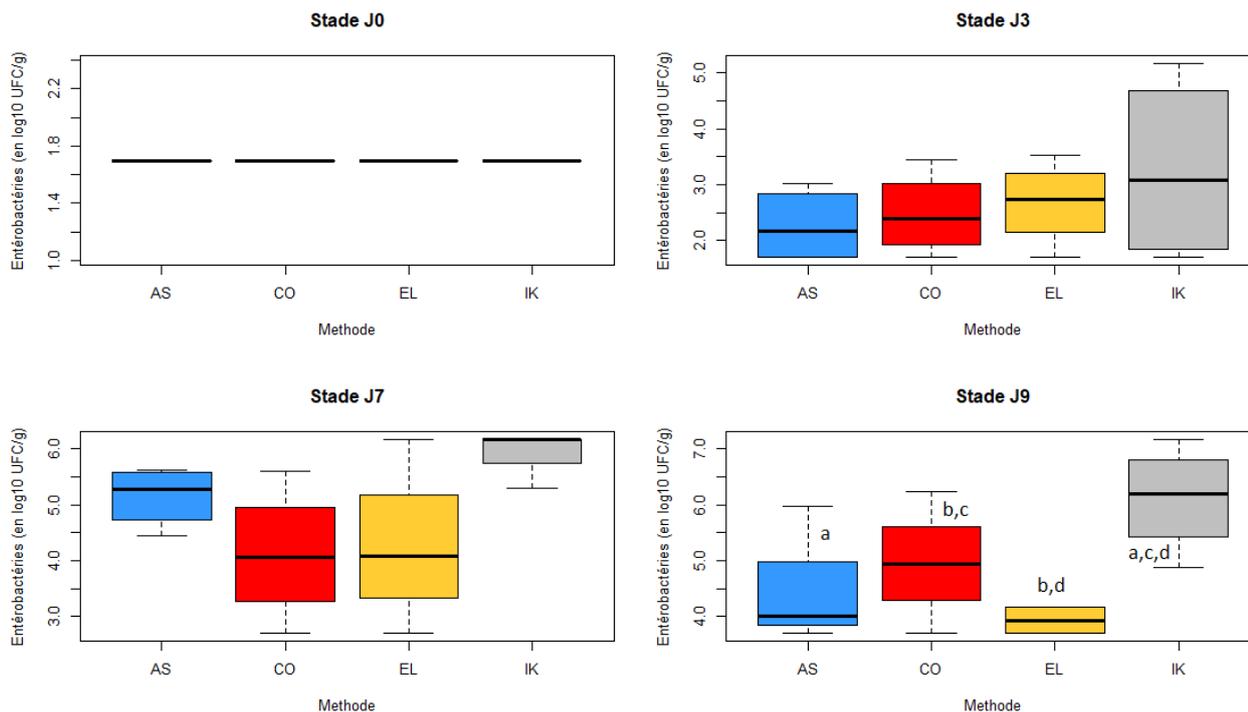


Figure 62 : Graphiques de comparaison de la contamination des filets par les entérobactéries en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7, J9).

Tous stades confondus, la **méthode** et le **stade** ont un **effet significatif** sur le **niveau de la contamination par les entérobactéries**. À **J3 et J7** nous ne mettons en évidence **aucun effet significatif** de la **méthode d'abattage** ou du **temps de prélèvement dans le bac**. À **J9** la moyenne des niveaux de contamination par les **entérobactéries**, associée à chaque méthode, est classée comme suit : **IK > CO ≈ AS > EL ≈ AS**.

iii. *Pseudomonas spp.*

iii.i. Analyse tous stades confondus

iii.i.i. Résultats bruts

L'IK et l'AS prennent des gammes de valeurs plus larges en contamination par les *Pseudomonas spp.*, la répartition des valeurs de CO et EL semble moins hétérogène (cf. figure 63). Au fur et à mesure de la conservation au réfrigérateur et entre chaque stade de conservation les dénombrements de *Pseudomonas spp.* semblent augmenter à la lecture de la figure 64. Nous allons voir si ces tendances se confirment lors de l'analyse statistique des modélisations.

iii.i.ii. Analyse statistique

Malheureusement la modélisation statistique ne vérifie pas les conditions de normalité et d'homogénéité des résidus. Nous ne pouvons donc tirer aucune conclusion de l'analyse ANOVA et des comparaisons deux à deux.

Partie 2 - Étude expérimentale

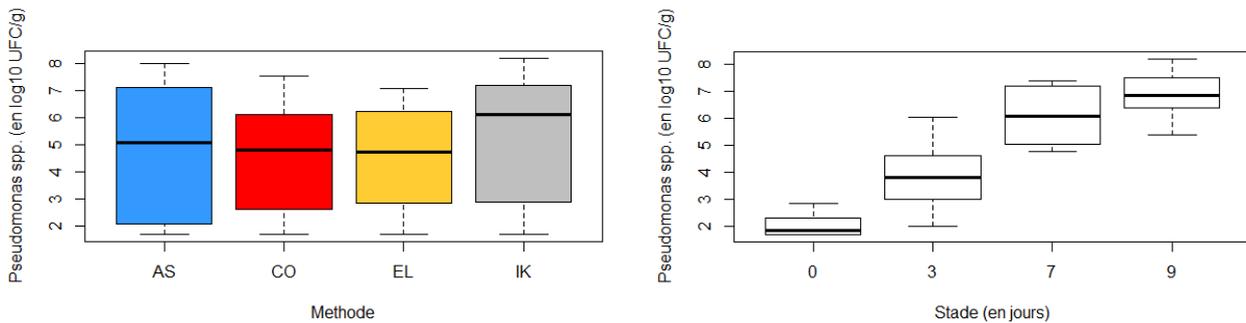


Figure 63 : *Pseudomonas* spp. dans les filets en fonction de la méthode d'abattage tous stades de conservation confondus. Figure 64 : *Pseudomonas* spp. dans les filets en fonction du stade de conservation toutes méthodes confondues.

iii.ii. Analyse stade par stade

iii.ii.i. Résultats bruts

Comme nous l'avons expliqué pour les entérobactéries, la représentation des populations au stade J0 représentée figure 65 nous indique seulement que la contamination était inférieure à la valeur seuil de 50 UFC/g. Nous postulons aussi que ce faible niveau de contamination indique que les autres échantillons sont en situation d'égalité au début de l'évolution qu'ils vont connaître au réfrigérateur pendant 3 à 9 jours.

Au stade J3 l'IK semble davantage contaminé par les *Pseudomonas* que EL, CO et AS.

Au stade J7 la commotion (CO) se distingue par un étalement de ses comptages bactériens sur une gamme de valeurs plus étendue et plus basse que celle des AS, EL et surtout IK (qui concentre toutes ses valeurs au-dessus) trahissant un sous dimensionnement de la gamme des dilutions. Les filets IK semblent plus contaminés que les trois autres, puis AS et EL eux mêmes plus contaminés que CO.

À J9 il semble que les filets IK soient les plus contaminés par les *Pseudomonas* spp., avec ensuite par ordre de contamination décroissante : CO, AS puis EL. Vérifions si ce classement peut avoir une validité statistique.

iii.ii.ii. Analyse statistique

À J3, J7 et J9 les conditions de validité du modèle ne sont hélas pas réunies. Aucune analyse de la contamination par les *Pseudomonas* prenant en compte des effets du TpsPrtBac n'est possible. La significativité des différences observables sur les diagrammes des quartiles (figure 65) par méthode, à J9 notamment, n'est pas démontrée.

Partie 2 - Étude expérimentale

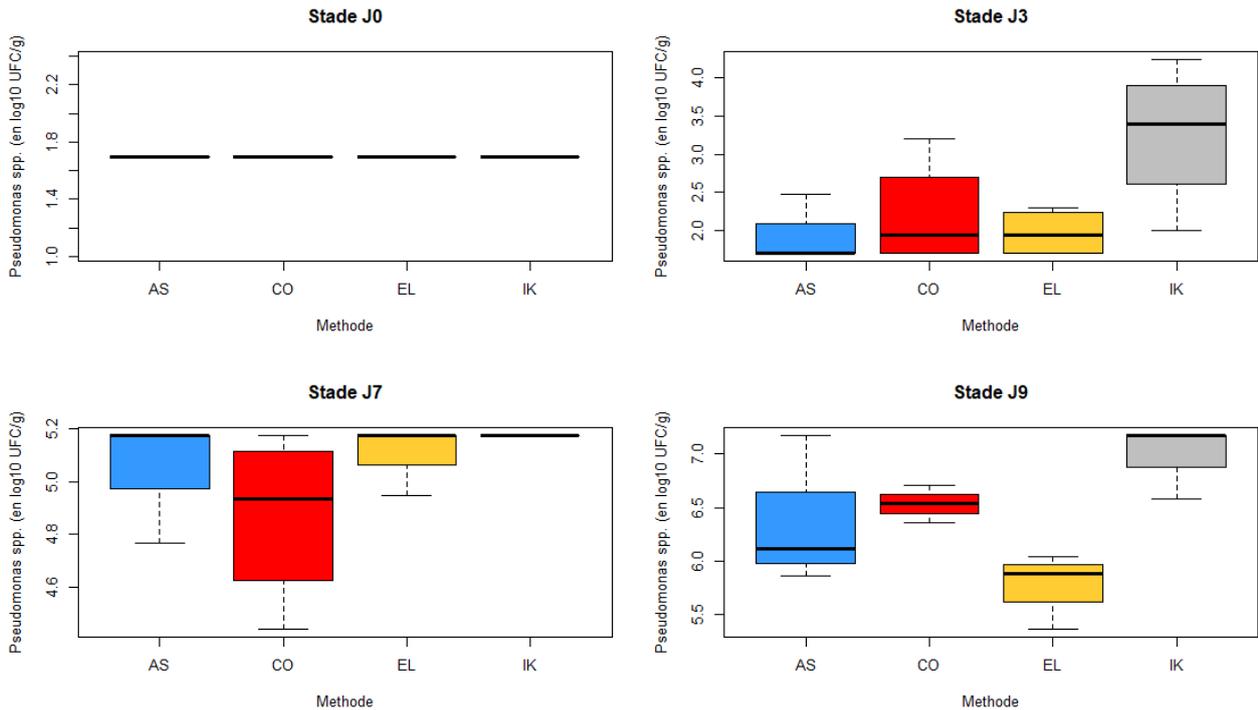


Figure 65 : Graphiques de comparaison de la contamination des filets par les *Pseudomonas* spp. en fonction de la méthode d'abattage aux différents stades de conservation (J0, J3, J7, J9).

La moyenne des niveaux de contamination par les *Pseudomonas* spp., associée à chaque méthode, a **tendance** à se classer comme suit : à J3 IK > CO ≈ EL > AS ; à J7 IK > AS ≈ EL > CO ; à J9 **IK > CO > AS > EL.**

C- Discussion

1) Les marqueurs sanguins.

Les résultats expérimentaux que nous avons devant nous nous permettent de dresser un certain nombre de constats. Nous avons pu démontrer un impact de la méthode d'abattage sur certains paramètres censés traduire le stress du poisson avant sa mort comme la concentration en cortisol plasmatique, la glycémie, et la lactatémie. L'hémolyse des prélèvements est aussi impactée par la méthode dans notre expérience.

a) Le cortisol

Il faut préciser que le cortisol est souvent cité en ng/mL dans la littérature. Nos résultats nous ont été fournis en nmol/L. La conversion peut se faire facilement en utilisant la formule suivante^[166] :

$$\frac{\text{Cortisolémie (en ng/mL)} \times 10^3}{\text{Masse molaire cortisol (en g/mol)}} = \text{Cortisolémie (en nmol/L)}$$

où la masse molaire du cortisol = 362,5 g/mol

Partie 2 - Étude expérimentale

Les cortisolémies que nous avons obtenues sont bien du même ordre de grandeur (32,6 à 563 nmol/L) que les valeurs de la littérature pour la truite arc-en-ciel répertoriées dans le tableau XXVIII.

Contrairement à notre hypothèse de départ les concentrations de cortisol plasmatique brutes des AS sont moins élevées en moyenne que celles des trois autres groupes (cf. figure 30). En effet, le TpsPrtBac des poissons AS est toujours nul, car ils sont capturés en premier dans les 3 bacs. Les poissons AS ne connaissent aucun stress de capture de leurs congénères d'un même bac puisqu'ils sont toujours capturés au début des opérations dans chaque bac (par groupe de 5 ou 6). Les autres poissons ont vu leurs congénères se faire capturer, ont cherché eux aussi à échapper à l'épuisette, et ce d'autant plus que leur TpsPrtBac est élevé. La hausse de cortisolémie engendrée par ce stress pourrait-être d'une importance telle qu'elle masque l'effet de la méthode d'abattage dans les résultats bruts. C'est pour pallier l'effet du TpsPrtBac que la modélisation nous intéresse tout particulièrement.

Selon la modélisation du cortisol en fonction de la méthode et du TpsPrtBac la pratique de l'Ikejime diminue significativement la cortisolémie *post mortem* et dans des proportions similaires à celles de la commotion et de l'électronarcose. Mais aucune différence deux à deux n'est démontrée par le modèle. Les différences observées dans nos résultats ne sont pas de les mêmes et ne donnent pas les mêmes conclusions que les tendances que nous voyons se dessiner pour le cortisol selon Poli et al. (2004) ou Bermejo-Poza et al. (2021)^[101,171]. C'est l'EL qui a la cortisolémie la plus élevée dans les essais de Poli. De même pour Bermejo-Poza dans la comparaison entre refroidissement dans une boue de glace et électronarcose. Chez Poli la décérébration donne des niveaux de cortisol soit non significativement différents soit supérieurs. La commotion ne se distingue pas de l'asphyxie pour le cortisol. Sur la base des résultats de Poli le classement par cortisolémie est : **EL > IK (décérébration seule) ≥ CO ≈ AS**. En se basant uniquement sur la cortisolémie l'AS est donc classée comme peu stressant complètement à l'inverse des tendances que nous observons. Il est possible qu'une part de la différence s'explique par le moment où la prise de sang est réalisée. Ce n'est pas précisé dans leur protocole mais si la prise de sang est faite à la fin de l'AS comme nous l'avons fait alors la durée est comprise entre 40 et 100 minutes ce qui est donc la plupart du temps supérieur ou équivalent à nos 45 minutes avant prise de sang et saignée.

Même si nous devons impérativement réaliser la prise de sang à ce moment-là nous pouvons questionner plus largement l'impact du moment de la prise de sang. En effet, elle devait intervenir avant la saignée qui elle même pour être efficace doit intervenir le plus tôt possible après la mise à mort. Pour autant, il faut examiner l'impact que cela a pu avoir sur nos résultats. Les hormones du stress sont des molécules que l'animal stocke dans ses tissus et qui peuvent être libérées en quelques secondes. Mais il est clair que cette réponse n'est probablement pas maximale en l'espace d'une minute. Les courbes d'augmentation de cortisol chez la truite obtenues par Jentoft et al. (2005)^[99] le confirment (cf. figure 66). D'après la courbe noire continue, il faut entre 30 minutes et 1 heure pour obtenir le pic de cortisolémie chez la truite. Nous ne savons pas quelle est la forme de la courbe réelle entre le point à T0 (l'exposition au stress) et à 30 minutes. Papoutsoglou et al. (1999) ont procédé à ce type de mesure chez la daurade (*Sparus aurata*) avec un pas de temps plus précis de 10 minutes. Ils concluent à un pic à 40 minutes^[104]. Il faut dire que cette mesure a été faite sur des poissons anesthésiés. Mais cela nous permet à minima de penser que pour un même couple intensité-durée d'un stress, qui serait ponctuel (comme dans l'expérience), la cortisolémie peut-être très variable selon le temps laissé à l'organisme pour y répondre avant la prise de sang. Une minute ne permet évidemment pas la pleine expression de l'augmentation de cortisolémie proportionnelle à l'intensité des stress engendrés.

Partie 2 - Étude expérimentale

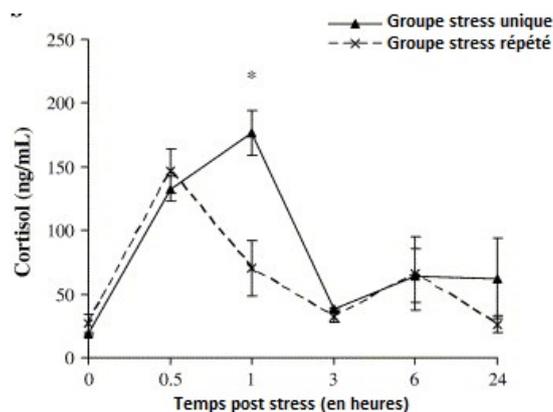


Figure 66 : Cinétique de la cortisolémie après un stress chez la truite en fonction du temps en heures ©Jentoft et al. (2005).

Une minute c'est justement le temps moyen qui devait s'écouler entre la mise à mort et la prise de sang sur les IK ou les CO. Pour les poissons EL l'abattage était plus long (quelques minutes en tout) et pour les AS c'était 45 minutes. Nous pouvons imaginer que ces traitements augmentent la libération de cortisol du fait que l'organisme a le temps de produire le cortisol en réponse à un stress qui peut néanmoins avoir la même intensité. Mais dans ces deux cas les stress se sont prolongés sur toute la durée précédant la prise de sang. L'augmentation peut aussi rendre compte d'un effet cumulatif du stress dans le temps. Ainsi nous mesurons nécessairement trois choses à la fois : l'intensité, la durée de la douleur et le temps qui est donné à l'augmentation du marqueur. C'est un biais mais il semble impossible à dépasser sauf à multiplier comme nous l'avons fait les indicateurs physiologiques de stress. En tout état de cause, des recherches plus approfondies sur ce point seraient utiles pour valider les tendances observées dans nos résultats.

L'effet du temps de prélèvement dans le bac est très significatif et très important. La cortisolémie sanguine augmente de plus de 14,57 nmol/L/min écoulée entre le prélèvement du premier poisson et celui du poisson x considéré. Ainsi, en moins de 10 minutes après le début des captures dans un bac, la cortisolémie des poissons capturés ensuite est déjà (uniquement du fait du stress de capture) supérieure à la différence qui existe entre CO et AS dans le tableau des effets fixes du modèle. Ce paramètre a été partiellement gommé mais nous ne pouvons exclure que l'interférence créée ne persiste plus du tout dans le modèle. À cet égard, une prochaine expérience devrait peut-être privilégier des prélèvements espacés dans le temps pour permettre au stress de capture d'un congénère de s'estomper, à la cortisolémie de redescendre à son niveau de base. Nous avons fait le choix de privilégier une homogénéité de poids, d'âge, de conditions d'élevage, de température de l'eau^[105] car nous savons que ces éléments influent aussi sur les variations du cortisol^[97].

Il faut aussi souligner que ces poissons AS et IK ont été tués par groupe. La prise de sang intervenait donc plus tôt pour le premier que pour le 5ème alors que la mort était survenue au même moment. Pour l'AS cette différence est négligeable (45 minutes d'asphyxie *versus* quelques 2 ou 3 minutes de décalage de la prise de sang). Pour l'électronarcose, l'opération de mise à mort dure précisément 3 minutes (+ 1 minute environ pour le transfert depuis le seau vers le bac d'électronarcose). Le décalage dans les prises de sang devient donc plus significatif. Il faudrait analyser cela statistiquement mais le nombre de poissons et l'incertitude quant à la durée qui a séparé les prises de sang rendrait difficile toute conclusion. À la lecture des taux de cortisol, aucune tendance à une augmentation systématique avec le numéro de prise de sang (1, 2, 3, 4, 5

Partie 2 - Étude expérimentale

voire 6) dans les groupes électronarcose ne vient confirmer cette hypothèse. C'est une incertitude que nous ne pouvons pas trancher.

Le mesure dans le sang du cortisol, selon Seibel et al. reste la mesure la plus précise et de loin. En effet, le prélèvement de sang et son analyse fournissent les meilleures garanties d'une absence de dégradation (ou de contamination externe) de ce corticostéroïde avant dosage par RIA^[97]. D'autant plus que nous avons bien pris soin de centrifuger le sang dans les 15 minutes (maximum) après le prélèvement de sang. Nous savons que le sexe modifie également la cortisolémie^[97] mais ce paramètre n'influe pas puisque nous avons étudié une population de femelles uniquement.

Enfin, en réponse à un même stress, une grande variabilité individuelle des comportements adaptatifs à été mise en évidence. Certains profils sont dits proactifs et d'autres passifs. Les **proactifs** développent de **l'évitement**, de **l'agression** et d'autres **stratégies très actives** pour contre-carrer la source de stress ou ses effets. Les profils dits « reactive » en anglais (**passifs** en français) font reposer le comportement adaptatif au stress sur **l'immobilité et une agressivité très faible**. Ces **profils comportementaux** sont **associés au niveau de réponse de l'axe HPI au stress**. Les proactifs sont des poissons avec un faible niveau de réponse de l'axe HPI au stress. Les poissons passifs ont un niveau élevé de réponse de l'axe HPI au stress^[38]. La cortisolémie peut donc être directement impactée par ces profils. Nous ne pouvons savoir s'ils ont été répartis équitablement entre les groupes de chaque méthode d'abattage. Les poissons asphyxiés étaient toujours prélevés en premier. Peut être que cela a sélectionné des poissons faciles à capturer, des profils de réactivité au stress particuliers ? Plus passifs face au « danger » et donc moins sujets au stress de la capture ?

b) Le glucose

Le glucose est influencé par la méthode d'abattage. L'AS présente des niveaux de glycémie largement supérieurs à ceux de CO, EL et IK. IK et EL sont eux-mêmes générateurs d'une glycémie plus élevée que CO. Nous proposons le classement suivant par glycémie et donc stress engendré : **AS > IK ≈ EL > CO**. Selon ce même critère les résultats de Poli permettent de proposer le classement selon le stress associé à chaque méthode : **AS > EL > CO ≥ IK (décérébration seule)**. Les résultats de Poli diffèrent par la place de l'électronarcose et par l'importance des écarts en valeur absolue entre les méthodes. Dans nos travaux comme dans ceux de Poli et al. la CO et l'IK sont dans un mouchoir de poche alors que l'EL et l'AS se démarquent plus à la hausse chez leurs bars que chez nos truites. C'est peut être le fait de différences physiologiques entre les deux espèces ou la façon de pratiquer chaque méthode. Les paramètres de l'électronarcose (120 s à 24 V et 50 Hz AC *versus* nos 180 s à 48 V et 4 A AC) peuvent jouer un rôle significatif dans ces différences. Nous pensions également que la mise à mort en groupe permise par l'EL était un avantage pour déstresser les poissons. Nous avons donc procédé à l'EL par groupe de 5. Rien ne précise si Poli et al. ont procédé individu par individu, ou bien en groupe. S'ils ont réalisé l'électronarcose poisson par poisson cela peut aussi expliquer une glycémie plus élevée rendant compte d'un stress plus intense.

Quant à la cinétique, les enjeux avec le glucose plasmatique sont les mêmes qu'avec le cortisol. Chez la daurade d'après Papoutsoglou et al. (1999)^[104] elle atteint un pic après un stress ponctuel au bout de 40 minutes comme le cortisol plasmatique. Aussi ce marqueur complète le cortisol mais ne suffit pas à corriger le biais dont souffre sa mesure du fait de son immédiateté. Une part des différences entre les résultats de Poli et les nôtres peut s'expliquer par ce point crucial de la durée des méthodes d'abattage et du moment de la prise de sang. L'AS a en effet durée entre 40 et 100 minutes contre 45 minutes (avant prise de sang et saignée) pour nous. Avec une durée parfois multipliée par deux il est logique que Poli enregistre une glycémie moyenne

Partie 2 - Étude expérimentale

pour l'AS entre 2,5 et 3,5 g/L contre environ 1,2 g/L pour nous. Mais il ne faut pas non plus exclure que l'AS sur glace ait joué son rôle de raffinement en atténuant le stress.

c) Les lactates

Constatant un impact significatif de la méthode nous avons proposé le classement suivant de la moyenne des lactatémies et du stress reflété supposé, associés à chaque méthode : **AS ≈ EL > CO ≈ IK**. Ce classement est exactement le même que celui que nous pouvons proposer à partir des résultats de Poli et al. Il semble cohérent avec les conclusions du marqueur glucose, et avec les tendances observées pour le cortisol, pour la position de l'AS comme méthode la plus stressante : **AS > IK ≈ EL > CO**. L'ordre IK-CO n'est pas bousculé non plus mais c'est l'électronarcose qui pose question. En effet, la lactatémie des poissons EL est semblable à celle du groupe AS et pourrait laisser croire que cette méthode est donc plus stressante que dans nos hypothèses à l'aune des deux indicateurs précédents (cortisol et glucose). Poli rend bien compte de cette variabilité du degré de nuisance de l'électronarcose selon les indicateurs utilisés^[101]. Mais l'électronarcose contient en son fonctionnement même une explication à cette augmentation de lactates qui se distingue des répercussions physiologiques de l'intégration des signaux de douleurs et d'un état émotionnel négatif que nous avons cherché à mesurer. Nous pouvons le soupçonner car le traitement électrique des carcasses *post mortem* est utilisé dans les abattoirs^[240]. Nous savons qu'il est de nature à accélérer l'évolution naturelle de la viande après la mort chez les mammifères^[241,242]. Il permet de hâter la *rigor mortis* et réduit le risque de « cold shortening »⁶⁰ principal phénomène à l'origine de la dureté de la viande rouge^[240].

Chez les poissons la stimulation électrique *post mortem* peut-être utilisée pour mimer les effets d'une activité physique modérée ou soutenue sur la viande^[132,242,243]. Le champ électrique qui est imposé lors d'une stimulation électrique provoque une contraction musculaire qui a pour corollaire la consommation des réserves de ces muscles. Il y a une glycolyse anaérobie une accumulation de lactates et logiquement une diminution de pH dans le muscle^[242]. Cette baisse de pH est confirmée par Robb et al. (2000)^[243].

La *rigor mortis* est plus précoce et plus forte chez les poissons aux carcasses desquelles des chocs électriques sont imposés^[132,242,243]. Comme chez bovins cela accélère le processus de vieillissement^[241]. Donc même si EL améliore le stress psychologique nous pouvons retrouver des effets physiologiques semblables à ceux du stress avec cette méthode. Mais pas tous à priori, car l'électrostimulation n'entraîne pas de différence de texture et de rétention d'eau entre le groupe contrôle reposé, et les poissons dont les carcasses ont été électrisées. Par contre des différences de texture pour le poisson stressé *ante mortem* semblent exister. Néanmoins l'absence d'effet significatif de l'électricité sur la texture (120 s à 5 V, 5 Hz DC)^[242] ne serait peut-être plus vraie avec un courant comparable avec celui que Poli et nous utilisons pour l'EL (120 s 24 V 50 Hz AC ou 180 s 48 V 4 A AC). En effet les courants électriques alternatifs (AC) sont réputés plus dangereux car plus facilement sources de lésions. Pour qu'il ait des effets similaires un courant continu (DC) doit être d'un voltage bien supérieur^[244]. C'est d'ailleurs cette multitude de paramètres électriques qui pose de nouveau problème quand nous discutons d'électronarcose. Roth et al. (2006) en rendent bien compte dans leurs propos quand ils indiquent que l'électronarcose conduit à une qualité médiocre par rapport à la commotion pour plusieurs auteurs alors que son équipe et d'autres ont mis en évidence l'absence de telles différences^[171,242]. Il apparaît qu'en plus de la nature alternative ou continue du courant (AC *versus* DC) la durée et la fréquence d'application du courant conditionnent aussi ces effets. Moins la durée est importante, moins les effets péjoratifs sur la chair sont effectifs. Ainsi, avec 1,5 s à 50 Hz et 6 s à 1000 Hz aucun effet sur la vitesse d'installation de la *rigor mortis*

60 Raccourcissement des fibres musculaires suite au passage au froid qui peut rendre la viande anormalement dure.

Partie 2 - Étude expérimentale

n'est démontré. En doublant la durée (12 s 1000 Hz) la *rigor* survient plus tôt dans le temps^[242]. Bermejo-Poza et al. (2021) rapportent qu'une haute fréquence du courant (1000 Hz) contribue à préserver la qualité de la chair en évitant la consommation rapide du stock d'ATP et de la phosphocréatine musculaires^[171].

Le traitement électrique des carcasses et donc *a fortiori* l'étourdissement par électronarcose sur tout le corps comme cela est souvent pratiqué chez les poissons met en jeu différents mécanismes. Chez les bovins il semble qu'il crée une destruction du réticulum sarcoplasmique contenant les réserves de Ca^{2+} de la cellule et une hydrolyse de l'ATP. La conjugaison de ces deux effets augmente la concentration de Ca^{2+} libre dans la cellule et provoque une activation soudaine des Calpaïnes (en anglais « calcium-activated neutral protéinase ») qui détruisent entre autres les myofibrilles^[241]. Cet effet se mélange aussi à l'impact de la déplétion de l'ATP intimement lié au pH qui provoque, par exemple, l'activation d'autres enzymes protéolytiques lysosomales^[241,242]. Présentes chez le poisson, nous avons toutes les raisons de penser que ces enzymes vont avoir un rôle similaire, peut être plus marqué encore (du fait de leur nombre accru chez le bar par exemple) dans les processus de dégradation et de ramollissement de la chair du poisson^[245] au-delà du seul pH, de l'ATP ou de la survenue de la *rigor mortis*.

Finalement, il semble que l'électronarcose génère une activité à rapprocher de celle induite par le stress, le comportement de fuite, d'agitation face à une douleur, mais sans que ce soit une réalité sur le plan du bien-être, puisque l'inconscience est induite très rapidement. Aussi, nos résultats sont parfaitement cohérents avec la bibliographie mais ne permettent pas pour autant de placer l'électronarcose comme une méthode plus stressante sur la base de la lactatémie sanguine. Nous pensons qu'elle a été augmentée ici par le « traitement électrique » de la carcasse inhérent à l'électronarcose dans l'eau. Il faut souligner qu'un retour à la conscience après une électronarcose serait un acte très probablement générateur d'une forte souffrance musculaire du fait des perturbations qu'elle engendre.

Le cas de l'électronarcose est complexe, il nous a semblé en revanche que les valeurs obtenues pour l'asphyxie correspondaient bien à un stress. En effet le corps est placé en état d'anaérobiose par le collapsus branchial au contact de l'air et l'absence de circulation d'eau dans la cavité branchiale, mais l'animal est toujours conscient d'après les nombreuses évaluations menées sur cette méthode d'abattage dans la littérature^[90,93,101]. Nous pouvons en déduire que, dans ce cas, le stress physiologique associé à la méthode d'abattage impacte très négativement l'état émotionnel de l'animal conscient.

Comme nous venons de le décrire, la lactatémie n'est pas le seul critère touché. Les lactates du sang pourraient même refléter peu ces impacts propres à l'électricité. C'est surtout au niveau de la qualité, des propriétés rhéologiques de la chair et particulièrement du pH musculaire que nous devons nous attendre à des modifications.

d) L'hémolyse

L'hémolyse des prélèvements peut poser certaines difficultés pour les dosages biochimiques dans le sang. Par exemple elle provoque une modification significative des valeurs mesurées de glycémie. Cette altération ne survient que dans le cas où la phase cellulaire et la phase plasmatique des prélèvements n'ont pas été correctement séparées^[246]. Mais nous nous sommes attachés à centrifuger très rapidement les prélèvements que nous avons réalisés. Pour le dosage du cortisol, la technique RIA est très peu sensible à l'hémolyse. Pour le glucose, le kit de dosage utilisé revendique l'absence d'effet de l'hémolyse jusqu'à 2,5 g/L d'hémoglobine, soit au moins 3 « + » sur l'échelle subjective de quantification visuelle de l'hémolyse du laboratoire. Les valeurs que nous mesurons sont toutes supérieures à 0,5 g/L et quand la valeur mesurée augmente la tolérance de la méthode à une forte hémolyse aussi. À 2,6 g/L de glucose, la méthode de dosage tolère 10 g/L

Partie 2 - Étude expérimentale

d'hémoglobine. Pour la mesure des lactates plasmatiques il n'y a pas d'effet jusqu'à 10 g/L d'hémoglobine (hémolyse complète)^[247]. Il ne devrait donc pas y avoir d'effet significatif de l'hémolyse sur la mesure du cortisol, de la glycémie ou de la lactatémie de nos poissons.

Nous avons constaté que l'hémolyse semblait liée à la méthode d'abattage. Nous avons démontré qu'elle n'était statistiquement pas indépendante de la méthode. Au vu de la répartition des tubes hémolysés dont rend compte la figure 34, il nous semble raisonnable de dire que la commotion et l'électroanesthésie ont tendance à être associées à un phénomène d'hémolyse. Comment l'expliquer ?

Soit l'hémolyse a eu lieu *in vivo*, soit elle s'est faite plus tard dans la seringue, dans le tube ou au cours de la centrifugation. La congélation peut entraîner une hémolyse mais dans notre cas la congélation a eu lieu après centrifugation et après isolement du plasma des globules rouges. Elle ne peut donc pas en être la cause.

L'hémolyse n'est pas évoquée dans la bibliographie comme un critère d'évaluation du bien-être à l'abattage. Mais il semble que ce critère dise quelque chose de la méthode d'abattage et il nous semble qu'étant donné le rôle majeur du sang dans l'organisme, l'hémolyse peut être, sinon la source au moins le témoin, d'une atteinte de l'intégrité de l'animal. Bien sûr rien ne dit que cette hémolyse soit survenue avant la mort mais elle peut tout de même traduire une fragilisation des érythrocytes du vivant de l'animal. Ghirmai et al. (2020)^[248] nous apprennent que cette fragilisation et finalement l'hémolyse peuvent être dues à des facteurs divers. Les variations de température, d'osmolarité et de composition sanguine en sont quelques exemples. Une perturbation de l'osmolarité sanguine à la hausse, associée à un stress particulier à la CO et l'EL (Seibel et al., 2021), pourrait avoir perturbé la stabilité des érythrocytes, facilitant une hémolyse ultérieure. Il existe aussi des composés du sang qui stabilisent les membranes. C'est le cas du glucose. Or, nous savons que la concentration de celui-ci connaît de fortes variations liées au stress. Dans les tests *in vitro* réalisés sur des globules rouges de truite (*Oncorhynchus mykiss*) il semble qu'une concentration minimale (1,08 g/L) soit nécessaire pour assurer la stabilité des globules rouges. Si une augmentation au-delà de ce seuil n'accroît pas la stabilité, en deçà, elle la diminue. Il est possible que les niveaux de glycémie mesurés pour les poissons CO (0,6-0,9 g/L) aient fragilisé les érythrocytes. Toutefois, cette mesure faite *in vitro* ne reflète pas forcément le niveau nécessaire pour favoriser une bonne stabilité des membranes érythrocytaires et rien n'indique que l'hémolyse est vraiment associée à un stress pendant la vie de l'animal. Cela fournit seulement des pistes de réflexions qu'il faudrait étudier davantage.

Les épreuves mécaniques (chocs et accélération diverses) sont aussi des causes potentielles d'hémolyse. Les échantillons d'une même méthode n'ont pas pu, tous, tomber par terre. En revanche, la centrifugation a pu provoquer une hémolyse. Les caractéristiques de la centrifugation n'ont pas été modifiées, il y a peut-être une fragilité particulière due aux conditions *ante mortem*. Nous pensons que le choc physique de la commotion, a pu éventuellement provoquer une partie de l'hémolyse observée sur le groupe CO^[248]. Il nous semble difficile de savoir si les hématies hémolysées par le choc ont pu rester dans le système circulatoire en proportion suffisante et parvenir jusqu'au lieu de prise de sang pour que cette hémolyse soit visible dans les échantillons, ceci alors que la commotion cérébrale a souvent donné lieu à une hémorragie cérébrale. Nous en profitons pour dire que si l'induction d'inconscience n'en a pas été affectée, l'usage d'un manche métallique avec des coins, comme nous l'avons fait, crée des dommages qui vont bien au-delà de la simple commotion. D'ailleurs ce n'est pas recommandé^[61].

Si la commotion a pu avoir un impact physique sur les hématies, de manière à les fragiliser ou les hémolyser, il est probable que l'électroanesthésie ait fait de même. Chez l'animal victime d'électrocution, l'hémolyse a aussi été rapportée, mais rien ne garantit qu'elle soit induite par les

Partie 2 - Étude expérimentale

courants utilisés lors d'une simple életronarcose^[249]. L'utilisation d'un courant alternatif dans notre expérience ne discrédite pas cette hypothèse car ces courants créent davantage de lésions^[244]. En revanche, les lésions de brûlure (qui semblent associées à l'hémolyse) sont largement moindres sur les corps électrocutés dans l'eau^[250]. Il est difficile de dire si les érythrocytes sont aussi sensibles aux effets du courant dans la profondeur des tissus. Là encore tout est sûrement affaire de proportions (taille du poisson, caractéristiques du courant, etc.). Il nous semble que c'est une hypothèse envisageable. L'hémolyse serait alors une caractéristique liée à la méthode. Mais si cette hémolyse est immédiatement suivie de l'inconscience et de la mort, elle ne reflète pas forcément un stress supplémentaire.

Des études ultérieures sur la méthode d'abattage pourraient inclure une mesure objective du degré d'hémolyse des prélèvements sanguins afin d'affiner les observations faites.

e) Synthèse

Si nous tentons une agrégation des résultats obtenus grâce à ces marqueurs de stress, il semble que nous puissions confirmer que **l'AS est bien la méthode la plus stressante** en dépit de l'usage de glace dans le but d'en atténuer les effets.

Nous devons néanmoins faire un aparté sur ce sujet. Nous avons considéré, sur la base de certains éléments bibliographiques, que le froid permettait d'atténuer le stress et la souffrance liée à l'asphyxie en plaçant le poisson dans un état de léthargie. Certains auteurs parlent même « d'anesthésie » par le froid (cf. tableau XII) quand d'autres sources contredisent cette idée et évoquent des effets néfastes propres au froid sur la souffrance. L'EFSA conclut que le refroidissement rapide d'un poisson peut être source de stress et/ou de douleur car il a été associé à une élévation du cortisol et des lactates sanguins^[42]. Le froid crée d'abord une immobilisation avant de produire l'inconscience ce qui n'en fait pas une bonne méthode d'abattage en tant que telle. Pour beaucoup d'auteurs cette immobilisation sans inconscience systématiquement associée fait même de cette méthode une source de stress très élevée. Elle a été démontrée comme réelle dans bien des cas^[129]. En 2002 Lambooij et al. indiquaient que la méthode prolongeait la conscience et ne réduisait pas la capacité à ressentir la douleur^[188].

Pour conclure et comme l'atteste nos résultats, il est évident que nous n'avons pas réduit totalement l'effet négatif de l'asphyxie. Il est difficile de dire si l'usage de la glace a aggravé la souffrance et/ou prolongé l'agonie. Quoiqu'il en soit nous avons stoppé l'asphyxie par la prise de sang et la saignée à 45 minutes. Aussi, nous pensons que notre expérience n'a pas causé un tort supérieur aux poissons que ne l'a fait celle de Poli et al. avec 70 (\pm 27) min d'asphyxie. Nos observations sont cohérentes avec les résultats de Poli et al. (2004)^[101] et avec les recommandations de l'EFSA et de l'OIE, qui vont contre l'usage de l'asphyxie, y compris dans un bain de glace et dans, ou sur, de la glace pilée. Avec ces techniques il y a accumulation des marqueurs de souffrance et l'inconscience n'est pas rapidement provoquée^[42]. Certains auteurs viennent contredire Hovda et Linley (1999) (qui concluent à une forme « d'anesthésie » par le froid) au motif qu'il faut d'autant plus de temps pour atteindre l'inconscience que la température est abaissée. Il est vrai que les valeurs de Kestin et al. (1991) indiquent qu'à 2 °C il faut 9,6 minutes pour obtenir l'inconscience de l'animal. À 14 et 20 °C ce sont respectivement 3 et 2,6 minutes qui sont nécessaires^[92]. L'asphyxie dans un bain de glace semble donc prolonger le supplice. Cependant, il faut peut-être concéder que ces résultats ne sont pas forcément incompatibles avec l'idée d'une anesthésie partielle et/ou d'une sorte d'état de sédation de l'animal exposé au froid, qui serait alors tué moins vite par l'asphyxie du fait d'un ralentissement de ses mouvements, de ses besoins en oxygène voire de son métabolisme^[136,156] ? C'est ce qu'ont participé à démontrer Hovda et Linley en 1999^[156] sur des saumons roses à bosse (*Oncorhynchus gorbuscha*). En réalité nous ne pouvons pas affirmer qu'il n'y a pas de stress induit dans cette procédure. En pratique, toutes les

méthodes d'anesthésie chimique reconnues en expérimentation produisent une réaction évoquant un stress (avec notamment une élévation du taux de cortisol)^[156,212]. Ainsi, à ce chapitre le débat a encore toute sa légitimité et un peu comme pour l'électroanesthésie les conditions précises ont une importance cruciale. Nous devons souvent transposer des conclusions émises à partir de protocoles très différents. L'asphyxie dans l'air et celle sur de la glace pilée sont sûrement différentes de celle dans l'eau à bien des égards, ne serait-ce que du fait du maintien du poisson dans son milieu liquide familier. Là encore une multitude de variations sont possibles selon la température globale, la proportion de glace solide qui empêche les mouvements, etc. Des conclusions à portée générale sont à prendre avec précaution, même s'il nous semble légitime aujourd'hui, dans le doute, de privilégier à l'asphyxie de toutes autres méthodes : la commotion, l'électroanesthésie, ou l'icthémie.

Nos résultats nous poussent à penser que l'IK et la CO génèrent des niveaux de stress semblables (voire que la CO est moins stressante que l'IK). L'EL pose une difficulté car il est difficile de savoir si elle est associée à une perte de conscience toujours immédiate et si la conscience est maintenue pendant la souffrance musculaire que nous avons mise en évidence. Elle n'est probablement pas la méthode la moins stressante des trois. Dans le cas de notre expérience nous n'avons pas étudié les VERs. En plus d'être l'étalon-or de la détermination de l'inconscience, c'est la seule technique pour mesurer le moment de survenue de la perte de conscience avec l'électroanesthésie puisqu'elle fige le poisson et l'empêche d'exprimer les autres comportements et réflexes qui permettent d'évaluer l'état de conscience.

Nous proposons donc le classement des méthodes en fonction du stress associé à chacune d'elles : AS > EL ≥ IK ≥ CO. Ce classement contredit les conclusions de Robb et Kestin (2002)^[30] (cf. tableau XXIV) pour la place de l'électroanesthésie. En effet, ces auteurs la considèrent comme la moins négative pour le bien-être, des éléments comme l'absence de nécessité de manipulation par la main de l'homme et l'abattage en groupe dans l'eau plaidant pour l'électroanesthésie. Nous manquons sûrement d'éléments pour trancher. Il est vrai qu'avec des comparaisons significatives pour le cortisol nous aurions à coup sûr donné plus de crédit à l'électroanesthésie. Elle avait l'effet de baisse relative du taux de cortisol le plus fort par rapport à l'asphyxie (- 142 (± 59) nmol/L) dans les effets fixes du modèle. Nous avons voulu appuyer nos conclusions sur plusieurs éléments pour les rendre les plus robustes possible. Il faut déployer une myriade d'indicateurs pour s'approcher de la vérité, et quand bien même, il faut faire des choix et pondérer leurs conclusions qui ne convergent pas toutes^[101].

Nous devons aussi élargir la focale et nous demander dans quelle mesure nos résultats sont applicables à des poissons sauvages par exemple ? Sont-ils plus ou moins familiers du stress ? La réponse au stress chez la truite domestiquée est plus faible que chez la perche sauvage. Nous ne pouvons pas exclure que ce soit lié aux températures d'élevage et d'acclimatation des juvéniles qui sont différentes entre les deux espèces^[99]. Mais il est très probable, comme suggéré par Woodward et Strange en 1987^[251], que ce soit aussi le fait de la domestication de l'un et pas de l'autre. Outre l'effet possible d'une sélection progressive par l'élevage sur plusieurs générations des individus les moins stressés, nous savons qu'un même sujet s'habitue à certains éléments stressants après y avoir été exposé de manière répétée^[99]. Cela semble intéressant car le modèle de notre étude serait alors moins sensible au stress que les poissons sauvages. Aurions-nous sous-estimé les différences qui existent pour les poissons sauvages ? Il est vraisemblable qu'en utilisant des truites d'élevage plutôt que des poissons sauvages nous isolons mieux l'effet des méthodes. En effet, si le stress causé par la capture et la présence de l'homme dans l'environnement avait été plus élevé (très probable avec des poissons sauvages) nous aurions peut-être moins bien perçu celui lié à la technique de mise à mort *stricto sensu*.

Partie 2 - Étude expérimentale

La durée de mise à jeun est souvent pointée du doigt sans que le stress qu'elle induit soit exactement connu. Il y a de bonnes raisons de penser qu'il est différent selon que les poissons soient sauvages ou non. Nous avons choisi une mise à jeun de 72 h. Dans la pratique et la littérature il est souvent question de 48 h^[14,111,125]. Selon les commandes, les modalités de livraison/expédition et les heures de débarque du poisson, les acteurs de la pêche qui font reposer les prises en vivier ne peuvent pas appliquer de durée fixe de mise à jeun^[14,181]. Nous avons vu que le cas de l'Ikejime à terre peut nous interroger (stress lié à la mise en captivité de poissons sauvages, blessé par des hameçons...) (cf. p. 120).

Nos résultats expérimentaux sur les **marqueurs sanguins du stress confirment** que la méthode **Ikejime** pratiquée en entier (avec la déméduation) est bien une **méthode bénéfique pour atténuer le stress du poisson** lors de sa mise à mort.

2) Les marqueurs de qualité de la chair.

Les marqueurs de qualité de la viande sont pour certains impactés par la méthode. La note de fraîcheur est abaissée à J9 par l'asphyxie et la commotion. Notre protocole expérimental n'a pas permis de mettre en évidence de différence significative de pH ou de changements texturaux très nets selon les méthodes d'abattage testées. Les valeurs résultats bactériologiques semblent complexes à interpréter et nous ne voyons aucune tendance claire ne se dégage de l'analyse de ces résultats.

Face à ces résultats peu probants nous regrettons de n'avoir pas pu augmenter la puissance statistique de nos relevés en disposant de davantage d'échantillons à chaque stade et en multipliant les stades d'analyse.

Nous avons dû faire face à un problème qui va resurgir à chaque interprétation de nos résultats : la réfrigération. Nous n'avons pas pu disposer comme prévu d'une chambre froide avec l'espace adapté pour stocker les 48 poissons (64 - 16) qui devaient être conservés au froid pendant 3, 7 ou 9 jours entre 0-4 °C idéalement. En effet, nous disposions d'un réfrigérateur d'environ 100 L sur 3 niveaux. Les 12 premières heures *post mortem* la température est restée très élevée à cause du sous-dimensionnement important du réfrigérateur (entre 15 et 10 °C pendant au moins 5 heures) par rapport aux 48 poissons et aux fortes chaleurs du mois de mai. L'ajout de pains de glace pour abaisser plus vite la température globale a aussi pu impacter individuellement les poissons les plus proches même si le contact direct avec ces pains de glace a été évité au maximum. Nos poissons étaient répartis en 3 groupes dont une partie et principalement des poissons Ikejime étaient stockés dans l'étage supérieur qui, si nous partons du postulat que l'air chaud monte, était probablement moins froid pendant les 3 premiers jours. Certains ont aussi été stockés en bas dans le bac à légumes probablement plus frais. La modélisation des conséquences sur la cartographie de température d'un réfrigérateur des flux convectifs d'air par Laguerre et al. (2005)^[252] indique que la température augmente bien avec la hauteur dans le réfrigérateur (de 2 °C tous les 40 à 50 cm dans un frigo de 1 m). Mais ce modèle ne rend pas parfaitement compte de la réalité des réfrigérateurs domestiques. Le bac à légumes proche du bloc compresseur et à distance de la paroi réfrigérante est en réalité l'endroit le plus chaud d'un réfrigérateur (environ 8 °C)^[253]. Nous n'avions hélas aucun suivi de la température dans cette zone pendant l'expérimentation. Dans le type de réfrigérateur que nous avons utilisé la zone la plus froide se trouve juste au-dessus du compartiment à légumes, l'étage du haut est la seconde zone la plus chaude. Nous n'avions qu'une sonde de température rendant impossible le suivi simultané de l'étage du milieu et de l'étage supérieur. Néanmoins, les températures évoluaient dans la même gamme de 3 à 6 °C

Partie 2 - Étude expérimentale

d'après nos mesures successives. Il faut aussi savoir qu'à moins de 2 cm de la paroi réfrigérante la température peut varier de 0 à 6 °C et augmenter d'environ 1 °C dans le centimètre le plus proche des parois latérales^[252]. Dès J3 nous avons veillé à éviter que les poissons se trouvent pour partie dans ces zones mais la surcharge dans les premières 72 h n'a pas permis de prendre cette précaution plus tôt. Nous avons là, le biais majeur de notre expérimentation quant à la conservation des poissons.

Mais nous allons chercher à mettre en perspective nos observations avec les données connues ou attendues d'après la bibliographie, puis nous verrons qu'il y a bien d'autres axes d'amélioration pour de futures recherches sur le sujet.

a) La fraîcheur

La fraîcheur, toutes méthodes confondues, montre une nette tendance à la diminution au fil du temps. Il faudrait pousser plus loin l'analyse de l'interaction méthode/stade mais il nous semble que cette diminution ne fait aucun doute. Nous devrions peut-être estimer que l'absence d'effet significatif du TpsPrtBac rend la nécessité d'une modélisation caduque ?

Quoi qu'il en soit, l'analyse des données de fraîcheur a permis de mettre en évidence des différences de note de fraîcheur de plus en plus prononcées à mesure que les poissons étaient à un stade de conservation avancé. À J7 l'Ikejime a tendance à se démarquer par des notes plus hautes mais la correction par le modèle ne lui prête pas de fraîcheur significativement plus élevée que l'asphyxie notamment. Après 9 jours au réfrigérateur, ce sont finalement les poissons tués par électronarcose qui avaient les notes de fraîcheur les plus élevées et nous avons pu classer les **fraîcheurs associées à chaque méthode** dans cet ordre : **EL ≈ IK > AS ≈ CO**. Nous constatons que l'Ikejime semble en bonne place pour garantir un bon niveau de fraîcheur à des stades de conservation tardifs (pour une simple réfrigération sans emballage sous-vide ou atmosphère modifiée)^[234]. Cette observation va dans le sens des allégations de l'étude de la plateforme d'innovations « Nouvelles vagues » rapportées dans le rapport FranceAgriMer sur l'Ikejime^[185]. Il apparaît que les bar (*Dicentrarchus labrax*) sauvages abattus de manière « traditionnelle » (non précisé) se conservent moins longtemps que les poissons Ikejime (décérébration + démyélinisation + saignée) dans des conditions de fraîcheur optimale. Le même constat chez les bars d'élevage tend à mettre en évidence que les poissons d'élevage abattus « traditionnellement » sont d'emblée classés en catégorie « EXTRA - ». Cela suggère que les méthodes « traditionnelles » d'abattage différent peut-être entre la pêche et l'élevage aquacole.

Si nos résultats sont cohérents avec la rare bibliographie sur le sujet de la fraîcheur et de l'abattage Ikejime, force est de constater que les notes oscillent au fil des jours et sont parfois très variables pour une même méthode (comme pour la commotion à J3 et J7).

La première explication des changements de classement au cours du temps des différentes méthodes réside sûrement dans la fragilité de nos modélisations statistiques. Nous avons accepté la modélisation à J9 mais les conditions sur les résidus sont mal vérifiées. Elle devait nous permettre de nous affranchir de certains biais mais il aurait été préférable d'avoir des circonstances d'analyse pour chaque poissons aussi homogènes que possible afin de se passer de ces corrections et de baser notre réflexion sur une comparaison statistique des valeurs brutes. Ce commentaire vaut pour toutes nos variables à expliquer.

L'autre difficulté se niche dans l'échantillonnage à chaque stade. La cotation fraîcheur, les mesures de texture, le stomacage pour la bactériologie sont des procédures destructrices des échantillons. Les échantillons faisant l'objet des mesures ne sont donc pas les mêmes d'un stade à l'autre ce qui explique une rupture de continuité liée aux variations individuelles éventuelles des critères mesurés, aux biais qui peuvent affecter nos poissons de manière différentielle. Nous pensons notamment à la manière dont la fraîcheur a pu être impacté par la réfrigération qui n'a

sûrement pas été homogène sur tous les groupes d'abattage au fil des 9 jours de conservation (cf. p. 180).

Enfin, et ce n'est pas le moindre des biais, nous avons noté nous même la fraîcheur, sans la formation préalable adéquate^[122], dans des locaux non spécifiquement conçus pour l'analyse sensorielle^[121], avec un seul évaluateur au lieu de plusieurs panélistes. L'expérimentateur chargé de la notation avait aussi souvent connaissance de la méthode d'abattage du poisson et pouvait donc inconsciemment vouloir lui attribuer certaines caractéristiques ou simplement donner une note similaire aux autres poissons du même groupe. De plus, comme tous les poissons ont été tués en même temps, l'évaluateur de la fraîcheur connaissait le stade de conservation des poissons.

Aussi, les opérations qui ont permis d'attribuer des notes de fraîcheur à nos poissons sont largement améliorables. De prochaines expériences devraient, à minima, se faire en simple aveugle sans connaissance de la méthode et même du jour d'abattage si possible. La fraîcheur comme nous l'avons évoqué est intimement liée à l'évolution des réactions biochimiques qui s'enclenchent après la mort de l'animal. Ces réactions sont d'abord spontanées, permises par l'autolyse, puis peu à peu catalysées par les bactéries qui prennent une part croissante dans l'altération du produit original. Les suivis du pH (dont l'essentiel de l'évolution est précoce) puis des propriétés bactériologiques devaient nous permettre de rendre compte de ces mécanismes successifs.

b) Le pH

Le classement du pH associé à chaque méthode : AS > CO > IK > EL, n'a aucune valeur statistique. D'ailleurs la confirmation de ce classement au plan statistique ne correspond pas à ce que la bibliographie nous laissait présager. En effet Poli, et al. (2004) ont mis en évidence que le pH musculaire *post mortem* immédiat de poissons décérébrés (technique proche de l'Ikejime) était supérieur (supériorité significative dans un essai sur deux) à celui de poissons tués par asphyxie. Les poissons tués par commotion avaient aussi une tendance à avoir un pH musculaire supérieur (différence non significative) et pour l'électronarcose cette supériorité était significative dans un essai sur deux^[101]. Il en va de même avec les résultats de d'Erikson et Misimi (2008)^[110]. Ils nous laissent penser que d'une part, la méthode la plus stressante a un plus faible pH musculaire *post mortem* et que d'autre part, le pH initial est plus proche de 6,6 unité pH davantage que de 6,20 à 6,50 comme mesuré à J0 (cf. figure 42 et p. 61). D'autres auteurs évoquent des gammes de pH de 6,5 à 7,2^[125], de 6,8 à 7,4^[123]. Cette différence de pH initial est l'autre interrogation qui émerge à la lecture de nos résultats. Comment expliquer cette tendance surprenante ? Il peut s'agir pour une part d'une affaire de délai en heures entre la mise à mort et la mesure. Notre mesure de pH à J0 a eu lieu environ 5 heures après la mise à mort. Comme nous l'apprennent Sorensen et al. (2004)^[123] ce délai suffit à faire amorcer une diminution des valeurs de pH. La diminution n'est guère de plus d'une unité pH, mais elle est peut-être amplifiée dans notre expérience par une carence de réfrigération qui accélérerait le processus. Chez Sorensen, le stockage est fait sur glace. Les valeurs constatées entre 6,5 et 7,2 à T0 par Tejada et Huidobro (2002) sont mesurées sur des daurades plongées dans la glace dès leur mort. Cela ralentit peut-être la baisse de pH qui a lieu après la mort. Cette hypothèse n'est pas incohérente avec nos résultats car l'asphyxie a eu lieu sur glace pendant 45 minutes, cela à parfois congelé une partie des poissons, au moins en surface. Cela a-t-il pu contribuer à donner à l'asphyxie des valeurs initiales de pH légèrement plus élevées ?

Comme évoqué au début, la réfrigération de nos poissons n'a pas été optimale. Les données de Sorensen (2008) et Erikson (2008) indiquent que l'essentiel de la baisse de pH se joue dans les 10 à 30 premières heures lors d'un stockage sur glace. Cela peut expliquer les tendances étonnantes observées pour l'ensemble des valeurs (baisse rapide) et pour l'Ikejime (baisse très rapide contrairement aux attentes)^[110,123]. Pour autant Huss n'impute à la température aucun

Partie 2 - Étude expérimentale

impact direct sur le pH mais il souligne l'accélération des phénomènes d'autolyse, des réactions enzymatiques qui prennent place après la mort par une température élevée^[234]. Harada (1988) met en avant le refroidissement pour limiter la consommation d'ATP et de glycogène. Nous savons que la consommation de ce stock de glycogène produit de l'acide lactique et que c'est notamment cette production qui abaisse le pH après la mort du poisson^[127].

Skjevold et al. (2001) indiquent que la *rigor* met aussi plus de temps à survenir quand le poisson est tué dans de la glace^[102]. Nous avons vu que la *rigor* se termine quand le pH atteint son bas niveau de plateau. Donc l'hypothèse d'un rôle de la baisse de température sur les résultats surprenants observés semble très plausible.

Toutefois, nos résultats nous ont permis de retrouver le même **plateau de pH** que la littérature après la **baisse initiale entre J0 et J3**. Le pH stabilisé dès la mesure à J3 est en complète cohérence avec l'atteinte d'un plateau de pH à 6,2-6,3 rapporté par Jerrett et Holland (1998)^[132].

La baisse de pH de l'EL n'est pas confirmée suite à électronarcose comme effet de la consommation massive de glycogène et production de lactates lors de la stimulation électrique des muscles pendant l'exposition au courant. Nous ne pouvons hélas pas répondre à l'interrogation soulevée par les résultats mis en évidence avec la lactatémie sanguine. Dans leur expérimentation Gasco et al. (2014) n'avaient pas mis en évidence de différence de pH à 24H *post mortem* selon la méthode d'abattage quelle qu'elle soit^[129].

c) La bactériologie

Le dénombrement des populations bactériennes donne peu de différences significatives à constater. Mais, la flore totale et les entérobactéries sont significativement associées à la méthode d'abattage. Même s'il semble que ce soit aussi le cas avec la flore de *Pseudomonas spp.* nous ne pouvons pas le confirmer car la modélisation n'a pas fonctionné pour ce paramètre. C'est particulièrement dommageable car des niveaux similaires de numération totale peuvent être trouvés entre deux échantillons alors que l'activité biochimique des bactéries peut varier considérablement entre les deux^[254]. La recherche spécifique des *Pseudomonas spp.* était un complément indispensable au dénombrement de la flore totale. À propos les colonies bactériennes dénombrées comme des *Pseudomonas spp.* ne sont que des isolats présomptifs. La vérification de cette présomption reposerait sur la PCR quantitative^[150,152] que nous n'avons pas mise en œuvre pour des raisons de coût et de temps.

Nous savons que les entérobactéries sont une flore de contamination. Nous nous demandons si cette contamination est liée à la contamination manuelle des poissons par les opérateurs via leur flore manuportée ou par les propres bactéries digestives du poisson lors de l'éviscération ? Premièrement, il n'y a pas eu de différence de traitement des poissons en termes d'éviscération (toujours le même opérateur). Deuxièmement, les expérimentateurs se lavaient régulièrement les mains. De plus, nous avons souligné la faiblesse des niveaux de contaminations initiaux en entérobactéries et les faibles différences initiales de dénombrement bactériens à J0 qui permettaient d'avancer que la contamination de départ des différents poissons ne différait que peu entre les méthodes. Il faut sûrement chercher l'explication de ces différences de développement des entérobactéries dans les conditions de conservation.

Pour la contamination moyenne par la flore totale, associée à chaque méthode, tous stades confondus, nous avons le classement : IK > EL ≈ CO. Statistiquement significatif à J7, ce classement semble aussi se profiler à J9 mais le modèle n'en apporte pas la confirmation. Nous sommes étonnés que l'Ikejime soit apparemment une tendance à être associé à un développement accru des bactéries durant la conservation *post mortem*. Nous supposons que les poissons IK seraient semblables ou meilleurs que les poissons CO et EL et que les poissons AS auraient eu des niveaux de prolifération bactérienne augmentés. Les personnes travaillant avec l'Ikejime dans la

Partie 2 - Étude expérimentale

restauration vantent notamment les qualités de l'Ikejime pour une conservation et une maturation longue. Si nous disposons de peu de publications sur l'impact de la méthode et notamment sur l'Ikejime et l'altération bactérienne l'étude sensorielle de « Nouvelles vagues » rapportée dans le rapport de France Agrimer^[185] indique un bénéfice à l'Ikejime en termes d'analyse sensorielle. Cependant, il est vrai qu'à J3 ou J4 les processus d'altération bactérienne ne sont peut être pas encore majoritairement responsables des propriétés sensorielles du poisson notamment dans le cadre de la conservation sur glace qui est employée. Mais alors comment expliquer l'incohérence de nos résultats avec les propriétés rapportées de l'Ikejime comme permettant d'allonger la conservation ?

Notre étude comporte un biais majeur qui peut expliquer cette différence : la ou plutôt les températures de stockage. Nous l'avons évoqué au sujet du pH musculaire plus tôt. Ce problème ressurgit sur les conclusions bactériologiques que nous voudrions tirer des observations faites mais il peut également avoir un impact sur toutes les réactions enzymatiques d'autolyse et d'altération bactérienne *post mortem*. Il peut donc rejaillir sur la fraîcheur, la texture ou encore le pH qui interagissent tous intimement avec ces mécanismes (cf. p. 61). Selon différents modèles prédictifs d'altération, le passage d'une température de 2,5 à 5 °C peut multiplier le taux d'altération relative par 1,33. Une variation minimale de température entre les 3 niveaux de notre réfrigérateur a pu avoir un impact significatif.

En outre, nous savons qu'une part seulement des bactéries du poisson sont responsables de son altération organoleptique. En condition aérobie à 0 °C sur du cabillaud, il y a seulement *Pseudomonas*. Mais la température de conservation de nos poissons a oscillé entre 3 et 6 °C or Huss (1999) indique qu'à 5 °C en conditions aérobies, les flores dominantes d'altération sont *Shewanella putrefaciens* et *Aeromonas spp.*^[128]. *Pseudomonas spp. a* pourtant connu un bon développement et n'ayant pas étudié les deux autres flores d'altération potentiellement impliquées nous ne pouvons être certains d'avoir rendu compte de l'ensemble des évolutions de la flore qui a pu jouer un rôle significatif dans l'altération de nos filets. La flore de *Pseudomonas* est intéressante car *Pseudomonas spp.* a un rôle dans l'altération des poissons d'eau douce. Mais ici rien ne garantit que c'est lui qui domine dans les processus d'altération bactérienne à l'œuvre sur notre poisson^[128]. Une identification et une quantification globale par PCR des espèces présentes et spécifiquement de celles ayant ce rôle d'altération apporterait un net plus à ce type de recherche^[150]. Pour autant, il est raisonnable de penser que *Pseudomonas spp.* est la, sinon au moins l'une, des principales bactéries d'altération de la truite élevée en eau douce.

Les méthodes de culture que nous avons choisies peuvent aussi être discutées. Jusqu'en 2004 nous comptions, parmi les méthodes microbiologiques d'évaluation de l'altération du poisson, le comptage de la flore mésophile totale sur une gélose PCA à + 30 °C. Cette méthode a été abrogée par le *Règlement (CE) 2073/2005*. Cette culture comptabilise des germes capables de croître sur et dans le poisson mais pas tous altérants et surtout elle exclut certaines bactéries se développant à des températures plus basses correspondant aux températures normales d'évolution du poisson et qui peuvent pour certaines être altérantes^[219]. C'est un des points que nous pouvons regretter car les bactéries efficacement cultivées à ces températures rendent peut-être peu opportunément compte de la contamination. La culture sur gélose au fer aurait pu être une alternative intéressante (cf. p. 69) mais la température des cultures à l'étuve n'est pas toujours très adaptée aux flores psychrophiles⁶¹ du poisson. D'ailleurs, au ce chapitre de la température optimale de croissance, certains auteurs utilisent d'autres températures ou durées de mise en culture. Nous avons choisi 72 h à 30 °C selon les recommandations du fabricant de la gélose mais Grigorakis et al. (2003)^[134]

61 Psychrophile : bactérie qui se développe bien à basse température préférentiellement entre -5 et 30 °C avec un développement optimal entre 15 et 20 °C^[34,128].

Partie 2 - Étude expérimentale

ont fait le choix de 48 h à 37 °C. Considérant ce que nous venons de dire des flores psychrophiles, notre choix semble pertinent.

Nous nous interrogeons aussi sur le choix de mettre le filet en culture avec la peau. Nous aurions pu isoler stérilement (autant que possible) la chair de la peau comme cela a été fait par Tarnecki et al. (2016)^[255] en essuyant la peau puis en la débarrassant de son mucus contaminé avec de l'éthanol à 70 %. Cependant, il nous a semblé pertinent de juger le produit dans son ensemble tel qu'il aurait pu être cuit par le consommateur.

Au sujet de la fraîcheur, nous évoquons la durée de conservation et les emballages. Nos poissons étaient placés dans un sachet plastique alimentaire destiné à la congélation. Du fait du manque de place important subi dans le réfrigérateur au départ, les poissons étaient collés les uns aux autres. Avec le sachet certaines parties de la peau du poisson étaient probablement dans des conditions proches de l'anaérobiose quand d'autres avaient un volume d'air important à proximité. Cela a pu modifier, selon les zones de la surface du poisson, la nature des populations bactériennes qui s'y sont développées.

Le gamme de concentrations des dilutions mises en culture au stade J7 pour les entérobactéries et les *Pseudomonas spp.* n'est pas tout à fait satisfaisante. Il aurait fallu utiliser une voire deux dilutions supplémentaires pour rendre compte fidèlement de la diversité des concentrations bactériennes des filets (cf. figures 62 et 65), de même à J9 pour l'Ikejime, lors de la culture des *Pseudomonas spp.* sur gélose CFC (cf. figure 65). La culture bactérienne est une étude très exigeante qui nécessite une main-d'œuvre abondante pour tester suffisamment de dilutions pour chaque échantillon. Un nombre suffisants d'échantillons est nécessaire pour permettre de gommer les éventuels effets de variation individuelle (par exemple la variation individuelle du microbiote intestinal, qui peut changer la nature de la contamination lors de l'éviscération^[223]). La sensibilité des dénombrements sur gélose est de l'ordre de 10 UFC/g mais, vu les dénombrements en jeu ce n'est pas ça qui est en cause même s'il est vrai que nos mesures connaissent aussi des facteurs d'imprécision liés aux comptages.

Nous venons de voir à divers égards que la culture des bactéries du poisson sur gélose pose un certain nombre de défis et comporte des incertitudes. Aussi l'étude par PCR quantitative devient une option à considérer même s'il nous semble qu'une étude culturelle plus aboutie pourrait fournir des résultats probants. Il aurait été intéressant de pouvoir vérifier grâce à nos résultats si le froid a bien l'effet bénéfique avancé parfois de rectifier certains déséquilibres provoqués par l'exposition à un stress avant la mort. En effet, même si c'est une procédure stressante que de refroidir un poisson vivant, des données de la littératures avancent que le passage dans un bain d'eau glacée avant d'achever un saumon (*Salmo salar*) semble corriger les effets induits sur la chair par un stress de surpopulation de 24 h avant la mise à mort^[42].

d) La texture en bouche

Toutes les mesures faites à J0 posent une difficulté. Nous savons que les évolutions dans les premières heures *post mortem* ont un effet significatif sur l'installation de la *rigor mortis*, l'évolution du pH etc. hors les poissons n'ont pas tous été tués en même temps. La séquence d'abattage a duré 3 heures entre le premier et le dernier poisson tué. Ainsi la mesure à J0 correspond à une mesure à 5 (± 3) heures *post mortem*. Cela fait une grande variabilité pour des paramètres comme la texture ou le pH dont nous savons qu'ils évoluent significativement heure après heure. La chute de pH et l'installation de la *rigor* ont sûrement rejailli sur la texture.

i. La contrainte

La contrainte maximale à 50 % de raccourcissement doit rendre compte de la dureté du filet cru à la « mâche ». Notre essai n'a mis en évidence aucun rôle significatif de la méthode dans

Partie 2 - Étude expérimentale

l'évolution de la dureté du poisson au cours de la conservation au réfrigérateur entre 3 et 6 °C *post mortem*. Cela peut être dû à un nombre d'échantillons insuffisant qui ne compense pas la forte variabilité interindividuelle constatée. Mais ce peut-être tout simplement parce que la méthode d'abattage ne se répercute pas sur ces caractéristiques texturales. Pourtant la littérature sur le sujet évoque un effet du stress sur des caractéristiques texturales. La fermeté « firmness » est impactée par le stress de manipulation avant la mise à mort. Cette corrélation n'est pas toujours retrouvée^[256]. La fermeté est une mesure sensorielle à la pression du doigt qui mêle dureté et élasticité. Même si les ressorts structuraux qui la déterminent sont proches de ceux de la dureté (structure de la matrice extracellulaire face aux processus de l'autolyse puis de l'altération), nous ne pouvons pas dire que ce sont deux choses identiques.

Ce n'est pas exactement du même ordre, mais les tests triangulaires de la texture ont mis en évidence une chair significativement plus ferme au toucher et une texture plus « croquant fondant » des bars d'élevage, dit traditionnels, par rapport aux bars Ikejime^[185]. Ces mêmes tests n'ont pas mis en évidence de différence sur les bars sauvages. Nous supposons que ces poissons plus hétérogènes sont des objets d'étude expérimentale plus difficiles. Cela confirme l'intérêt d'avoir choisi des truites de station expérimentale de même origine génétique, même poids, même sexe, etc. Malgré tout, la difficulté à montrer des différences significatives peut aussi être due à la méthode « traditionnelle » d'abattage utilisée (non précisée).

Nous avons aussi montré une diminution de la dureté pendant la conservation, fait qui était attendu^[116]. Sur de la truite gardée sous glace, une diminution par deux de la contrainte maximale (à 40 % de déformation seulement) entre J0 et J3 a déjà été démontrée. La contrainte s'était ensuite stabilisée à un plateau bas sur J3, J5 et J8^[140]. Nous sommes donc étonnés de la remontée de dureté des échantillons entre J7 et J9. Elle peut peut-être s'expliquer par l'absence de suivi d'un même échantillon et les différences que cela est susceptible d'impliquer (cf. p. 181). À J9 il y a beaucoup de valeurs extrêmes, une grande dispersion des mesures de la contrainte. C'est potentiellement le signe de la divergence des échantillons d'une même méthode en fonction de leurs lieux de stockage dans le réfrigérateur.

ii. La cohésion

À J7 la cohésion de la commotion et de l'électronarcose sont meilleures que celles de l'Ikejime. Selon Roth et al. (2006) le stress diminue la force de cisaillement, probablement parce que la cohésion du produit est moins bonne quand il a été stressé (du fait d'une autolyse et de modification des matrices extracellulaires par une accélération de la baisse de pH). Les poissons reposés et ceux tués par électronarcose sont plus résistants au cisaillement que des poissons stressés avant la mort^[242]. Comme cela a été montré pour l'électronarcose, un poisson peu stressé lors de la mise à mort a davantage de glycogène dans ses tissus, ce qui pourrait expliquer cette plus forte résistance^[171]. Nous supposons donc que la cohésion diminuerait avec l'asphyxie et serait meilleure avec IK, CO et EL. Les seules différences significatives ne concernent pas l'asphyxie et mettent l'Ikejime en position de faible cohésion. Il y a peu de résultats significatifs mais c'est une tendance que nous avons décrite à tous les stades sauf au stade J9. Nous ne savons pas l'expliquer par un phénomène en particulier.

Notre modélisation des variables texturales a pris en compte le point de mesure (cf. figure 25). Nous avons constaté une relation significative quasi systématique (à J0, J3 et J7) entre une augmentation de la cohésion et du numéro de point de mesure. Plus la position du mobile du texturomètre est caudale plus la cohésion est forte. Cela s'explique par un changement de texture des filets, avec une augmentation de la fermeté de l'avant vers l'arrière qui a déjà été documentée, sûrement du fait du rapetissement des métamères musculaires. Ainsi il peut y avoir plus de variabilité au sein d'un même filet que d'un filet à l'autre. La texture au milieu du filet est la plus

Partie 2 - Étude expérimentale

représentative de l'ensemble^[126]. Il aurait donc plutôt fallu analyser les données obtenues au point 2 seules.

Enfin, certains auteurs contestent la définition de la cohésion que nous utilisons. La comparaison des comportements face à deux compressions, dont la première (assez destructrice avec un taux de déformation à 50 %) a pu significativement altérer la structure, ne leur semble pas pertinente.

iii. Le collant

Le collant du filet cru de poissons Ikejime était supérieur à celui des trois autres groupes en début d'évolution quelques heures après la mise à mort sans refroidissement significatif. Même si nous soulignons préalablement que la mesure à J0 a eu lieu à $\pm 3-4$ heures près (avec le delta d'abattage et le temps de mesure sur les filets), les valeurs semblent relativement bien groupées. De plus, nous avons veillé à choisir des poissons issus des 3 séries d'abattage, avec les mêmes numéros d'abattage quelles que soient les méthodes. Il nous semble donc que les résultats doivent être pris pour réellement significatifs. Pourtant cette conclusion va à l'encontre de la tendance constatée par l'étude de « Nouvelles vagues » sur l'analyse (sensorielle) du bar d'élevage Ikejime *versus* les poissons abattus de manière « traditionnelle ». Les poissons d'élevage « traditionnels » cuits ou crus auraient tendance à avoir un collant légèrement plus prononcé que ceux tués par Ikejime sur le profil d'analyse sensorielle^[185]. Mais notre résultat est obtenu par une mesure mécanique et à J0, alors que, l'analyse en question est sensorielle et faite à J4. Malheureusement nous manquons de publications sur la texture des poissons Ikejime pour les comparer à nos résultats qui sont dépréciés par de nombreuses sources d'incertitudes.

iv. Autres remarques sur la texture

Notre modélisation pour la texture inclut le TpsPrtBac. Nous avons vu son rôle dans les variations importantes des paramètres sanguins devant rendre compte du stress. Ce temps de latence (attente après la capture et avant la mise à mort) génère visiblement du stress. La littérature indique des effets du stress sur la texture^[86,242]. Il nous a donc semblé pertinent d'utiliser également TpsPrtBac pour expliquer les variables de la qualité, comme la texture. Force est de constater que pour la texture TpsPrtBac ne joue pas un rôle significatif sauf lorsqu'il est parfois associé à la méthode dans une interaction. Cela peut signifier plusieurs choses. Soit nos biais sur la conservation (températures de stockage, mesures destructrices) sont tels que les effets du stress sont gommés. Soit le stress influe de façon marginale sur la texture et c'est davantage les autres caractéristiques de la méthode qui sont déterminantes. En d'autres termes, la texture serait influencée par la méthode d'abattage mais pas du fait des différences de stress qu'engendre cette dernière.

Il est possible que des différences de température aient impacté, à la marge, la reproductibilité de nos mesures d'un stade à l'autre. En effet, des différences de température de 0 à 20 °C ont été associées à une diminution de 20 à 25 % des pics et des aires sous la courbe du TPA^[126]. Les différences de températures qui ont pu exister chez nous sont tout de même bien moindres.

Nous savons aussi que le score de cohésion du produit « gaping score »⁶² en anglais, déterminé en fonction du nombre et de la taille des trous dans la chair est parfois corrélée à un stress avant la mort. Mais il dépend de pleins d'autres facteurs, comme la génétique du poisson et aussi la qualité de l'éviscération. Si le nettoyage abdominal n'est pas bon, le « gaping score » peut-être augmenté et la fermeté diminuée. Les auteurs pensent que c'est dû à la diffusion d'enzymes

62 Le « gaping » : c'est le phénomène de séparation des segments musculaires du poisson parfois engendré par la contraction du muscle lors de l'installation de la *rigor mortis* dans le *post mortem*^[126]. Il rend compte d'une cohésion à l'échelle du filet.

Partie 2 - Étude expérimentale

bactériennes dans les tissus depuis la cavité abdominale contaminée par davantage de bactéries lors d'un mauvais nettoyage^[256]. Les érythrocytes de certains poissons (carpe, daurade rouge, certaines sérioles) peuvent aussi contenir des cathepsines L ou leurs précurseurs selon les espèces. Inactives au pH sanguin normal les variations de pH qui peuvent impacter le sang d'un poisson stressé pourraient faire de ces molécules des causes de dénaturation du réseau protéique et donc impacter la texture, soit s'il y a du sang dans la cavité abdominale imparfaitement nettoyée^[256,257], soit parce que le poisson a été moins bien vidé ou encore parce que du sang s'est écoulé dans le sac de congélation dans lequel chacune de nos truites a été placée. Il est vrai que parfois le sac utilisé pour le stockage au réfrigérateur contenait un liquide séro-hémorragique qui devait contenir un peu de sang. Nous avons prêté attention à l'hygiène et au nettoyage de la cavité péritonéale. Malgré tout, des erreurs et des contaminations fortuites ne sont pas impossibles. Nous nous attendions à ce que de telles incertitudes impactent la bactériologie mais il semble qu'elles puissent aussi impacter la texturométrie même avant que l'altération bactérienne ne joue un rôle significatif.

Toutes ces propriétés texturales sont très intéressantes à mesurer mais il faut reconnaître que dans bien des cas, la consommation du poisson ne se fait pas cru. Nous avons fait ce choix car la consommation du poisson cru est un des grands credo de l'Ikejime et que la texture du poisson cru permet aussi d'évaluer la fraîcheur^[140]. Il faudrait aussi envisager de voir si les différences que nous pourrions observer dans un essai avec de la chair crue seraient sensibles une fois la chair cuite. À priori cela semble plus difficile de mettre en évidence des différences significatives du poisson Ikejime une fois cuit avec une analyse sensorielle^[185] mais qu'en serait-il avec des mesures mécaniques de la texture ?

Nous ne sommes pas parvenus à mettre en évidence des différences de qualité claires et significatives entre nos méthodes. Les différences ponctuelles ne suffisent pas à proposer un classement sur la qualité. Nous ne sommes donc pas en mesure de vérifier si les classements des méthodes quant à leur nuisance au bien-être donnent les mêmes résultats comme Bagni, Gasco et les associations de protection animales le suggèrent (cf. p. 69). L'interprétation de certaines données bibliographiques permet de le faire. Les travaux de Poli et al. (2004) attribuent des scores de démerite aux méthodes et cela permet un classement global (cf. tableau XXVII p. 108). En reprenant ces chiffres nous pouvons déduire des scores de démerite pour le bien-être et pour les critères de qualité (cf. tableau XLVI). Pour les méthodes que nous avons étudiées (AS, EL, SP (≈IK) et CO) le classement reste semblable mais il change si nous considérons l'ensemble des méthodes étudiées par Poli.

Tableau XLVI : Illustration de la variabilité des classements selon le stress d'après Poli et al. (2004)
[101]

Classement par score de démerite décroissant pour le stress	AS	EL	WI-40GC	WI-100GC	WI	GC	WI-60GC	WI-N2	SP (≈IK)	CO
Note pour le stress	82,2	57,8	52,4	39,3	25,7	21,6	18,5	17,1	15,4	8,1
Classement par score de démerite décroissant pour la qualité	AS	EL	GC	WI-100GC	CO	SP (≈IK)	WI-N2	WI-40GC	WI-60GC	WI
Note pour la qualité	91,2	54,7	43,9	40,9	38,8	38,7	29,5	21,8	21,7	21,1

Partie 2 - Étude expérimentale

La réalisation de ces classements indépendants soulève une autre difficulté. Comment choisir les critères qui relèvent du stress ? La qualité est pour partie la conséquence du stress il est donc délicat de choisir à quels critères limiter uniquement la notion de stress ? Par exemple, dans le calcul des moyennes de score de démerite pour le stress sur les résultats de Poli nous n'avons pas pris en compte les lactates musculaires. Pourtant un taux élevé de lactates musculaires peut faire souffrir^[42].

Nous n'avons pas mis en évidence de nettes différences selon la méthode d'abattage comme cela a parfois été rapporté^[126] sans pour autant pouvoir affirmer qu'elles n'existent pas dans la réalité, ou chez d'autres espèces si nous comparions les mêmes méthodes dans les mêmes conditions, etc.. L'analyse texturale est complexe du fait de l'hétérogénéité du muscle des poissons. Mais elle doit rester un outil d'évaluation des différences éventuelles entre méthodes d'abattage car elle conditionne fortement l'acceptabilité d'un poisson pour le consommateur^[126].

L'analyse texturale par des appareils présentait pour nous l'avantage de demander peu de main d'œuvre. Mais une analyse sensorielle des propriétés de texture et organoleptiques par des profils d'analyse sensorielle et des tests triangulaires à grande échelle, à plusieurs stades de conservation, sur du poisson Ikejime serait inédite et riche d'enseignements. Même si la corrélation des analyses texturales instrumentales et sensorielles a déjà été démontrée^[126]. En définitive, le juge de paix c'est le ressenti du consommateur.

D'autres études sont nécessaires pour évaluer les effets de l'Ikejime sur les critères de qualité de la viande de poisson par rapport aux autres méthodes d'abattage. Le suivi des conditions de conservation (température notamment) doit être le plus exhaustif et régulier possible pour pouvoir imputer les variations éventuellement observées aux seules méthodes d'abattage.

3) Autres problématiques

a) La saignée

Les effets bénéfiques propres à la saignée sur la qualité du poisson semblent majeurs^[11]. Il semble que les différences de qualité observées sur le terrain pourraient être expliquées en grande partie par la pratique d'une saignée de qualité^[181,186]. C'est pourquoi nous avons tenu à saigner tous les poissons pour observer des différences éventuelles qui ne puissent venir que de la méthode d'abattage *stricto sensu*. Et cela même si nous sommes conscients que la méthode d'abattage dépend aussi d'un type de pêche, de volumes, de taille de poissons. À cet égard, laisser mourir le poisson d'asphyxie pour le saigner ensuite n'a que peu de sens dans la réalité du terrain. Mais pour démontrer un effet propre à l'Ikejime il fallait le faire. Selon certains auteurs, les effets bénéfiques de la saignée sont contestables, notamment pour les poissons sauvages. Dans le contexte de la pêche, elle n'est pas toujours pratiquée à temps et perd alors de son efficacité^[11,183]. Dans notre étude la saignée a très probablement eu des effets variables du fait des différences de moment où elle a été pratiquée. Pour l'IK, la CO et l'EL elle a eu lieu rapidement : environ 1 minute après la mise à mort pour l'IK et CO et 1 à 4 minutes après pour l'électronarcose. Mais pour l'AS le poisson s'était asphyxié pendant 45 minutes. L'élimination du sang a-t-elle été aussi performante ? Probablement pas, mais cela nous semble inévitable et ça reste indissociable de la méthode de mise à mort. Pour mieux le prendre en compte, notre protocole pourrait être amélioré en incluant à la comparaison la saignée comme 5ème méthode d'abattage.

Mais nous pensons que la méthode peut impacter directement la saignée. Nous savons que l'électronarcose n'arrête pas les battements cardiaques la plupart du temps. Même si la conscience

Partie 2 - Étude expérimentale

de l'animal est abolie de manière irréversible et qu'aucune souffrance n'est possible, son cœur peut continuer de battre. Nous supposons que cela peut grandement améliorer la qualité de la saignée. Le maintien des battements cardiaques existe-t-il aussi avec l'Ikejime ? Est-il plus ou moins long ? Roth et al. (2009) ont démontré l'absence d'effet significatif du stress avant la mort sur la qualité de la saignée. Mais ils n'ont pas eu recours à l'électronarcose et ils n'ont pas étudié l'effet d'autres méthodes que la commotion et la saignée seule^[183] sur l'efficacité de la saignée et sur le moment de l'arrêt cardiaque en fonction de la méthode. Il faudrait donc chercher à le quantifier. Une comparaison du maintien et même de l'efficacité des contractions cardiaques dans le temps par échocardiographie après mise à mort et pendant la saignée selon la méthode d'abattage pourrait être informative.

b) L'éviscération

L'éviscération est supposée permettre d'améliorer la durée de conservation^[11]. Selon Tejada et Huidobro, elle diminue la charge bactérienne initiale et l'intensité de la *rigor mortis* de la daurade royale^[125]. Cette idée de rinçage pour diminuer la contamination bactérienne due à l'éviscération est discutée. Mais c'est une pratique très répandue qui, dans le pire des cas, ne fonctionne pas mais ne détériore pas la qualité bactériologique du poisson^[11]. De plus, l'éviscération permet de diminuer la masse de poisson et ainsi d'assurer une baisse de température plus rapide lors de la mise au froid^[11]. C'est pourquoi nous avons retenu cette option. Ce choix peut faire débat, particulièrement pour l'Ikejime car certains font maturer le poisson avec ses viscères pour développer le goût umami^[14]. C'est encore une affirmation qui, à notre connaissance, n'est pas démontrée et pourrait faire l'objet de travaux intéressants.

c) Évaluation de la conscience dans notre expérience

Nous avons pu satisfaire à beaucoup des exigences définies par More et al. (2018) pour une bonne évaluation d'une méthode d'abattage (prise en compte de la durée et de l'intensité, étude expérimentale en laboratoire avec un contrôle et l'élimination de nombreux biais propres au terrain, etc.)^[88]. Nous regrettons de ne pas avoir inclus de manière plus systématique une évaluation de la conscience, notamment son suivi précis pendant l'asphyxie avec des outils comme la grille d'évaluation de la conscience de Kestin, Robb et van de Vis (2002)^[42,93]. Nous avons concentré nos efforts sur l'approche physiologique au détriment de l'approche neurologique et comportementale. Le modèle a permis d'évacuer mathématiquement les impacts significatifs des différences de temps de prélèvement dans les bacs qui rendaient compte de l'exposition à un stress du poisson face à son propre risque de capture et à l'agitation créée dans le bac par celle de ses congénères.

Nous n'avons pas encore évoqué le nombre d'animaux dont l'induction d'inconscience a fait l'objet de ratés. Un poisson commotion a échappé à l'expérimentateur de telle sorte que nous avons préféré le remettre dans son bac et le remplacer. Un autre également mais il a été très rapidement contenu et abattu. Les valeurs obtenues pour ce poisson étaient tout à fait semblables à celles du même groupe. Nous n'avons répertorié aucun échec d'induction de l'inconscience et de la mort en tant que tel, que ce soit avec l'Ikejime ou avec la commotion. Il nous semble qu'une bonne préparation et des choix pertinents de méthode de contention garantissent une réussite quasi systématique de l'induction d'inconscience et ce, dans des délais très courts. En ceci, nous estimons que les échecs de décérébration évoqués par Robb et al. (2000)^[90], ou les difficultés dont l'EFSA^[42] se fait l'écho ne doivent pas motiver un rejet de cette technique. Nous l'avons déjà évoqué en mettant en perspective la bibliographie suite à nos entretiens avec les professionnels reconnus de la filière Ikejime française^[14,181].

Partie 2 - Étude expérimentale

Cette expérimentation renforce cet avis. Il nous semble que certains ustensiles censés rationaliser et normer la technique d'Ikejime comme l'Ikigun® ne sont sans doute pas à utiliser en toutes circonstances. Avec cet outil il semble plus difficile de gérer un étourdissement raté car il faut deux mains pour rebander l'élastique ce qui implique de lâcher le poisson. Il faudrait encore le démontrer mais la technique manuelle nous semble très robuste et semble permettre de faire face à beaucoup plus d'aléas. Elle permet une correction en temps réel du mouvement, une reprise rapide de l'abattage en cas d'erreur. Si elle est associée à de bonnes conditions de contention, adaptée au gabarit du poisson, fût-ce un thon de 300 kg, elle doit pouvoir être mise en œuvre efficacement et rapidement. Elle nous semble au moins aussi performante que les méthodes recourant à des dispositifs mécaniques trop complexes. Nous regrettons que l'Ikejime complet et même la décérébration manuelle soient si peu évalués dans la littérature.

d) La modélisation : un outil précieux mais imparfait.

La modélisation dont nous venons de voir l'intérêt a permis de dresser des conclusions sur la significativité des résultats observés et de corriger les effets liés à des artefacts dus au protocole expérimental. Lors des évaluations stade par stade nous disposions de peu de données pour avoir un ajustement parfait des modèles. Les conditions d'homogénéité des résidus n'étaient pas toujours parfaitement vérifiées. Nous ne pensons pas que cela remette en cause les résultats car ils sont cohérents avec nos observations, cohérents avec nombre de nos modélisations qui vérifiaient parfaitement ces conditions d'homogénéité et de normalité des résidus. Cependant, les résultats obtenus sont discutables et améliorables. Un nouveau protocole gagnerait peut-être à espacer dans le temps le dérangement des poissons pour ne pas devoir recourir à ce genre de corrections à posteriori.

4) L'acceptabilité : comment classer les méthodes d'abattage ?

Les résultats que nous avons obtenus permettent de proposer un classement des méthodes pour le stress mais pas pour les paramètres de la qualité. Nous avons souligné que notre classement pour le stress s'appuie sur un nombre limité de critères (physiologiques). L'acceptabilité nécessite de mêler qualité et mal-être engendré. Aussi, avons-nous souhaité revenir sur l'interprétation de quelques éléments de bibliographie.

a) Des difficultés à obtenir des données comparables.

Le tableau *Résumé des impacts négatifs sur le bien-être et la qualité pour différentes méthodes d'abattage du poisson* de Robb et Kestin (2002) à la fin de la partie 1 (cf. tableau XXIV p. 105) peut être interprété pour donner le classement suivant (selon le mérite, associé à chaque méthode) : **Anesthésie > Électronarcose > Commotion ≈ Décérébration ≈ Balle dans la tête > Asphyxie sur glace > Narcose au CO₂ ≈ Asphyxie à l'air libre ≈ (Bain anoxique ou saturation au N₂) > Saignée ≈ Éviscération > (Décapitation).**

Dans ce classement les méthodes entre parenthèse ont été placées en fonction d'un seul critère disponible sur le bien-être. Elles peuvent considérablement changer de position selon les conclusions d'autres études sur la qualité.

Partie 2 - Étude expérimentale

Comme nous avons cherché à l'illustrer par la figure 67 le classement de Poli contraste avec les conclusions de Robb et Kestin sur certains points.

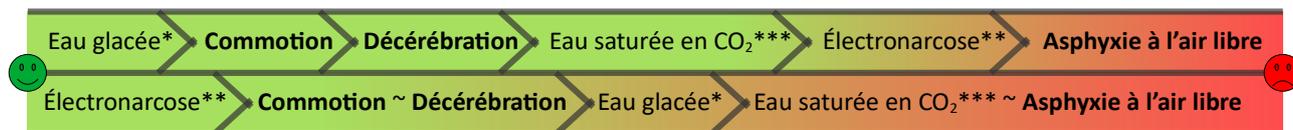


Figure 67 : Comparaison de deux échelles de classement des méthodes d'abattage les plus bénéfiques et les moins bénéfiques. En haut : d'après Poli et al. (2004)^[30,93,99,101,110,128,158,166] et en bas : d'après Robb et Kestin (2002). Les différences de classement sont mises en avant par des astérisques.

La position de l'asphyxie sur glace est la différence majeure. Mais Robb et Kestin mélangent asphyxie sur glace et dans l'eau glacée (boue de glace) ce qui peut expliquer cette différence en partie. L'étude de Poli et al. intègre également dans l'équation une multitude de critères de qualité dont la notation qualitative de Robb et Kestin peine à rendre compte. L'évaluation de Robb et Kestin semble plus subjective mais elle s'appuie aussi sur des critères capitaux que n'utilise pas Poli. Elle résume l'évaluation de la conscience à la persistance des réponses à des stimuli. Nous avons vu plus tôt que selon les méthodes cette réponse peut s'éteindre bien avant la conscience et la possibilité de souffrir qui l'accompagne. Une vision « plus subjective », si tant est qu'elle le soit vraiment, n'est pas forcément moins valable. En effet, certains critères peuvent à eux seuls justifier le déclassement d'une méthode.

Il faut souligner que la revue de Robb et Kestin (2002) a une **approche multi-espèces**. Il nous semble que cela pose un problème. Ne devrions-nous pas parler d'une ou de plusieurs bonnes méthodes d'abattage pour une espèce donnée ? Nous avons pu constater les nombreuses différences qui existent entre les espèces et leur réaction à une méthode. Vouloir rétablir des généralités sur la base d'un panel d'espèces si divers, de techniques parfois mal définies, etc. appliqué à un sujet aussi complexe peut conduire à des incohérences. D'ailleurs, aux particularités de l'espèce doivent aussi être ajoutées celles du système : pêche ou aquaculture, et respectivement, celles des différents métiers ou infrastructures d'élevage.

b) Une perspective plus intégrée

Il semble clair que la focale de notre étude ne suffira pas à évaluer convenablement le bien-être. Les pistes de réflexion que nous allons dégager doivent intégrer une perspective plus large. Les études comparatives des méthodes d'abattage se concentrent sur l'évaluation de la méthode, souvent de la manière la plus stricte possible en « gommant » artificiellement les effets liés à des opérations annexes. Mais dans la pratique certaines des opérations annexes sont indissociables de la méthode d'abattage.

Il faudrait ajouter à cela tout le corpus légal (les règles d'hygiène, etc.)^[186], les contraintes matérielles, économiques, le bien-être des acteurs de la filière, etc.^[9]. C'est seulement ce type de vision intégrée qui permettra de juger la qualité des différents systèmes de l'alevin à l'assiette. Avec autant de variables, il semble que de nombreux choix, tout aussi justifiés, pertinents et bénéfiques, pourront être faits selon les priorités que chacun se donne. Tirer des conclusions générales sur « le bon système » ne peut donc évidemment pas être fait sur la seule base des travaux semblables au nôtre car il y a des données politiques à intégrer qui échappent à la biologie et à la science.

D- Conclusion de l'expérimentation

La partie d'évaluation de la moins mauvaise méthode d'abattage pour le bien-être sur la base de 3 marqueurs physiologiques sanguins à fourni des résultats cohérents avec la bibliographie. Nous mesurons combien il est difficile de proposer une synthèse des informations fournies par les marqueurs de stress/douleur/souffrance étudiés. La mesure scientifique de ces paramètres peut donner des indications, mais en définitive, il est souvent nécessaire de pondérer ces conclusions par des prises de position éthiques ou pratiques si nous voulons aller plus loin. Il ressort tout de même de manière assez certaine que l'asphyxie est une méthode d'abattage qui dégrade davantage le bien-être animal que la commotion, l'électronarcose et l'Ikejime, ce qui confirme l'hypothèse de départ (cf. figure 14 p. 123).

L'évaluation des paramètres de la qualité par notre étude ne donne malheureusement aucun résultat clair et significatif qui puisse être rattaché à des données déjà connues. Cela est sûrement imputable pour partie à un défaut de dimensionnement des échantillons à chaque stade, et pour partie, dès que nous nous intéressons aux stades J3, J7 et J9, à l'utilisation d'un système de réfrigération aux capacités de stockage sous-dimensionnées. Nous sommes convaincus qu'une étude utilisant les mêmes critères avec davantage de sujets et de meilleures conditions de stockage serait plus pertinente. Il serait intéressant de comparer l'effet de la seule décérébration (+ saignée) avec l'effet de la décérébration + démyélinisation (+ saignée), en termes de marqueurs de stress éventuellement mais surtout en termes de qualité et notamment d'altération bactériologique. Cette dernière reste peu étudiée dans les comparaisons des méthodes d'abattage du poisson. Il serait intéressant de savoir quelle est la température utilisée par les chefs restaurateurs qui mûrissent le poisson Ikejime pour que le choix de température à laquelle nous étudions la conservation soit mieux documenté.

Conclusion

Nous avons cherché à déterminer l'acceptabilité d'une méthode d'abattage en fonction de ses répercussions sur le bien-être du poisson et la qualité de la viande obtenue. Plus une méthode d'abattage répond à ces deux enjeux, plus nous pouvons imaginer qu'elle sera acceptée. C'est dans ce cadre que nous avons voulu étudier quels pouvaient être les atouts de l'Ikejime comme méthode d'abattage.

Nous avons pu proposer une définition du bien-être à l'abattage du poisson : rendre la plus faible possible l'émotion négative engendrée par la technique de mise à mort employée. Elle résume ce qui apparaît comme une préoccupation croissante de la société actuelle. Cette préoccupation semble en phase avec les attentes des citoyens français et européens. La législation sur le bien-être des poissons à l'abattage questionne la manière des filières pêche et aquaculture de progresser sur ce point. Jusqu'alors, les démarches de labellisation entreprises pour la durabilité de ces filières répondent aux enjeux écologiques stricts mais pas réellement au défi de la limitation du mal-être des poissons lors de leur mise à mort. S'il existe de nombreux obstacles pratiques et économiques propres aux filières et à leurs métiers, l'enjeu du consentement du consommateur à payer plus interroge grandement la responsabilité de chacun et constitue un levier crucial. L'association d'une qualité accrue à des produits plus respectueux du bien-être est probablement un ressort de cette acceptation.

Pour évaluer les méthodes d'abattage et leurs impacts sur la souffrance et la qualité des poissons, il est nécessaire d'utiliser les marqueurs scientifiques adéquats. Il faut les croiser pour fournir l'évaluation la plus rigoureuse possible de chaque méthode et la comparer aux autres. Les marqueurs de la souffrance sont comportementaux, neurologiques (réflexes operculaire, oculo-vestibulaire...) et physiologiques (cortisol, glucose, lactates plasmatiques...). La littérature indique que la qualité du poisson est influencée par le stress et la souffrance des poissons. Nous pouvons rendre compte de la qualité et la suivre grâce à des méthodes sensorielles (cotation fraîcheur, évaluation organoleptique, texture) ou par des mesures instrumentales (dosage d'ATP, index de fraîcheur K, installation de la *rigor mortis*, pH, texturométrie...).

L'Ikejime est une méthode d'abattage d'emploi récent en Occident. Elle a été très peu évaluée dans la littérature. Beaucoup de publications se limitent à l'étude de la décérébration (rarement manuelle) et sans inclure la démyélinisation qui fait pourtant toute l'originalité de cette technique d'abattage. La filière Ikejime bien que négligeable économiquement en 2018 se structure et va probablement continuer de se développer. Elle est menacée selon certains par la multiplication de démarches peu rigoureuses de vente de produits Ikejime (depuis 2017-2018 principalement). Pour répondre à cela, certains acteurs organisent la filière. Une association a été créée et une communication accrue doit être lancée à la fin du premier trimestre 2023. L'objectif de l'organisation dénommée « Filière Ikejime » est de former, regrouper les professionnels, proposer un système de traçabilité, contrôler la communication et donner à la filière une visibilité au-delà de la renommée individuelle de certains acteurs.

Les bénéfices de la décérébration pour le stress semblent bien réels même si les publications sur ce sujet sont peu nombreuses. La qualité est améliorée par la décérébration en comparaison avec un produit abattu par asphyxie, mais de plus amples investigations doivent être menées, notamment des tests sensoriels d'envergure pour conclure à cette amélioration avec certitude et prouver son intérêt pour le consommateur. Il faudrait également mener toutes ces expérimentations en mesurant l'impact de la démyélinisation pour vérifier si elle joue le rôle qui lui est attribué par les promoteurs de l'Ikejime. D'ailleurs, une comparaison de la seule décérébration

Conclusion

avec l'Ikejime complet serait très informative pour savoir s'il est bien raisonnable de transposer les données obtenues sur la décérébration à l'Ikejime complet.

Notre essai expérimental en station aquacole sur des Truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) a permis de conclure à une diminution significative des lactates et du glucose plasmatiques après Ikejime par rapport à l'asphyxie sur la glace. Le cortisol marque aussi une tendance à la diminution. La comparaison avec l'électronarcose et la commotion confirme que les marqueurs de stress sont aussi diminués avec ces méthodes (sauf les lactates pour l'électronarcose). Les niveaux de stress aigu évalués par ces 3 marqueurs de stress physiologique sont semblables qu'il s'agisse de commotion, ou d'électronarcose. L'Ikejime semble donc moins générateur de stress aigu que l'asphyxie et est, au moins, une aussi bonne technique pour limiter la souffrance que les méthodes reconnues comme « éthiques » que sont l'électronarcose et la commotion.

Nos analyses de la qualité se sont heurtées à de nombreuses difficultés comme la conservation du poisson au réfrigérateur, l'échantillonnage nécessairement destructif pour certaines analyses et le faible nombre d'échantillons répartis sur plusieurs temps de prélèvement pour avoir un suivi au cours du temps. Les résultats obtenus sont peu significatifs et souvent difficiles à interpréter. Pour autant ils illustrent bien certains écueils à éviter et permettent d'interroger la part de responsabilité de différents facteurs sur l'évolution des poissons au réfrigérateur, la pertinence du choix de la température de conservation pour cette viande (dont l'objectif est parfois de la faire murer), etc.

De plus amples investigations sur cette technique semblent nécessaires et feront sans aucun doute émerger de nouvelles interrogations. L'évaluation des conséquences de telle ou telle méthode d'abattage pour le bien-être animal ou la qualité de la chair est très incertaine quand les variantes d'une même technique sont si nombreuses et les utilisateurs aussi variés. Vue la diversité des pratiques (à terre ou en mer), des usages (amateur ou professionnel) et des nombreuses espèces de poissons concernées, l'Ikejime promet, lui aussi, d'être un objet d'étude inépuisable.

Bibliographie

1. Dobelle, J.-F. (2021). *La France, une puissance maritime*. Vie publique. <https://www.vie-publique.fr/parole-dexpert/281092-la-france-une-puissance-maritime>
2. *Plan d'action pour une pêche durable—Dossier de presse—Ministère de la mer*. (2022). https://mer.gouv.fr/sites/default/files/2022-03/Plan-action-peche-durable_DP.pdf
3. *Infographie—Les filières pêche et aquaculture*. (s. d.). [Institutionnel]. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Consulté 5 octobre 2022, à l'adresse <https://agriculture.gouv.fr/infographie-les-filieres-peche-et-aquaculture>
4. *Chiffres-clés des filières pêche et aquaculture en France en 2022. Production—Entreprises—Échanges—Consommation* (p. 40). (2022). FranceAgriMer. https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/69397/document/20220616_CC_%20PECHE_AQUA%202022_FR.PDF?version=1
5. *Chiffres clés de la filière pêche et aquaculture en France en 2019 | FranceAgriMer—Établissement national des produits de l'agriculture et de la mer*. (s. d.). Consulté 8 octobre 2022, à l'adresse <https://www.franceagrimer.fr/Actualite/Filieres/Peche-et-aquaculture/2019/Chiffres-cles-de-la-filiere-peche-et-aquaculture-en-France-en-2019>
6. *Bilan annuel 2008 : Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture*. (p. 99). (2008). FranceAgriMer - Direction Marchés, Études et Prospectives. <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/3446/document/BILAN-CONSOMMATION-08.PDF?version=3>
7. Gaudot, C., Vedeau, F., & Bardon, É. (2019). *Diversification de la ressource protéique en alimentation humaine et animale—État des lieux et perspectives* (Public N° 18079; p. 73). CGAAER (Conseil général de l'alimentation de l'agriculture et des espaces ruraux). <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/194000729.pdf>
8. Escudero, M. (2018). *Bien-être des poissons en aquaculture* [Thèse Vétérinaire]. Faculté de médecine de Créteil.
9. Metcalfe, J. D. (2009). Welfare in wild-capture marine fisheries. *Journal of Fish Biology*, 75(10), 2855-2861. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02462.x>

Bibliographie

10. 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), 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.012>
11. Borderías, A. J., & Sánchez-Alonso, I. (2011). First Processing Steps and the Quality of Wild and Farmed Fish. *Journal of Food Science*, 76(1), R1-R5. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01900.x>
12. Diggles, B. K. (2016). Development of resources to promote best practice in the humane dispatch of finfish caught by recreational fishers. *Fisheries Management and Ecology*, 23(3-4), 200-207. <https://doi.org/10.1111/fme.12127>
13. van de Vis, H., Kestin, S., Robb, D., Oehlenschläger, J., Lambooi, B., Münkner, W., Kuhlmann, H., Kloosterboer, K., Tejada, M., Huidobro, A., Otterå, H., Roth, B., Sørensen, N. K., Akse, L., Byrne, H., & Nesvadba, P. (2003). Is humane slaughter of fish possible for industry? *Aquaculture Research*, 34(3), 211-220. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00804.x>
14. Woods, S. (2020, octobre 9). *Communication personnelle : Entretien avec le mareyeur France Ikejime au Guilvinec*. [Entretien].
15. Hookook. (s. d.). *Guide Hookook des bonnes pratiques Ikejime*. [Commercial]. Consulté 7 octobre 2022, à l'adresse www.hookook.com
16. Saini, A. (2017). *Technique Thursdays : Ike Jime, The Japanese Slaughter Method For Tastier Fish* [Commercial]. Guide Michelin. <https://guide.michelin.com/sg/en/article/dining-out/what-is-ike-jime>
17. Émission : Au Guilvinec, le temps d'une marée (reportage complet) de 23'34" à 32'42" et de 42'15" à 45'58". (2017, avril 27). Thalassa Officiel. https://www.youtube.com/watch?v=XcFv_3ah2j8
18. Bourcier, B., Brunon-Ernst, A., & de Champs, E. (2016). Bentham et l'utilitarisme. *Bulletin critique. Archives de Philosophie*, 79(2), 405-416. <https://doi.org/10.3917/aphi.792.0405>
19. *Préambule de la Constitution de l'OMS*. (1946). Organisation Mondiale de la Santé. <https://www.who.int/fr/about/governance/constitution>

Bibliographie

20. Fraser, D., Weary, D. M., Pajor, E. A., & Milligan, B. N. (1997). A Scientific Conception of Animal Welfare that Reflects Ethical Concerns. *Animal Welfare*, 6, 187-205.
21. *Farm animal welfare council: Press statement*. (1979). The National Archives. <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20121010012428mp/http://www.fawc.org.uk/pdf/fivefreedoms1979.pdf>
22. *Avis de l'Anses relatif au « Bien-être animal : Contexte, définition et évaluation »*. Saisine n°2016-SA-0288. (2018). Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). <https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA2016SA0288.pdf>
23. *Bien-être animal : Une préoccupation de tout éleveur, extrait du site des Chambres d'agriculture de France*. (2021). [Institutionnel]. Centre national de référence pour le bien-être animal. <https://www.cnr-bea.fr/2021/09/13/bien-etre-animal-preoccupation-eleveur/>
24. *Centre national de référence pour le bien-être animal | S'informer sur le bien-être animal*. (2019). <https://www.cnr-bea.fr/sinformer-sur-le-bien-etre-animal/>
25. Arlinghaus, R., Cooke, S. J., Schwab, A., & Cowx, I. G. (2007). Fish welfare : A challenge to the feelings-based approach, with implications for recreational fishing. *Fish and Fisheries*, 8(1), 57-71. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2007.00233.x>
26. Brunet, V., Kleiber, A., Patinote, A., Sudan, P.-L., Duret, C., Gourmelen, G., Moreau, E., Fournel, C., Pineau, L., Calvez, S., Milla, S., & Colson, V. (2022). Positive welfare effects of physical enrichments from the nature-, functions- and feeling- based approaches in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 550(737825), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737825>
27. Huntingford, F., Adams, C., Braithwaite, V. A., Kadri, S., Pottinger, T. G., Sandoe, P., & Turnbull, J. F. (2007). The implications of a feelings-based approach to fish welfare : A reply to Arlinghaus et al. *Fish and Fisheries*, 8(3), 277-280. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2679.2007.00254.x>
28. Huntingford, F. A., Adams, C., Braithwaite, V. A., Kadri, S., Pottinger, T. G., Sandøe, P., & Turnbull, J. F. (2006). Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology*, 68(2), 332-372. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.001046.x>

Bibliographie

29. Règlement (CE) n° 1099/2009 du Conseil du 24 septembre 2009 sur la protection des animaux au moment de leur mise à mort—Version consolidée 14/12/2019., 303 OJ L (2009). <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1099/oj/fra>
30. Robb, D., & Kestin, S. C. (2002). Methods Used to Kill Fish : Field Observations and Literature Reviewed. *Animal Welfare*, 11, 269-282.
31. Le Roux, S. (2020, septembre). Ikejime : Préserver la qualité et communiquer. *Magazine Produits de La Mer*, Août-Septembre 2020(202), 10-18.
32. Dellinger, M. (2019). *Le cortisol comme indicateur de bien-être chez les poissons marins : Applications sur un modèle halieutique, les thons albacore (*Thunnus albacares*) et listao (*Katsuwonus pelamis*) et dans la mise en évidence de l'axe cerveau-intestin-microbiome d'un modèle aquacole, le bar commun (*Dicentrarchus labrax*) en condition de stress chronique* [Thèse]. Oniris - École Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation, Nantes Atlantique. <https://doc-veto.oniris-nantes.fr/Record.htm?idlist=3&record=19322323124911405059>
33. *Dictionnaire de français*. (s. d.). [Dictionnaire en ligne]. Larousse. Consulté 13 octobre 2022, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais-monolingue>
34. *Dictionnaire Trésor de la langue française informatisé (TLFi)*, CNRS. (1994). [Institut de recherche public]. TLFi. <http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>
35. *Douleur—Inserm, La science pour la santé*. (s. d.). [Institut de recherche public]. Inserm. Consulté 14 octobre 2022, à l'adresse <https://www.inserm.fr/dossier/douleur/>
36. Sneddon, L. U., Braithwaite, V. A., & Gentle, M. J. (2003). Do fishes have nociceptors? Evidence for the evolution of a vertebrate sensory system. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 270(1520), 1115-1121. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2349>
37. Sneddon, L. U. (2002). Anatomical and electrophysiological analysis of the trigeminal nerve in a teleost fish, *Oncorhynchus mykiss*. *Neuroscience Letters*, 319(3), 167-171. [https://doi.org/10.1016/s0304-3940\(01\)02584-8](https://doi.org/10.1016/s0304-3940(01)02584-8)
38. Øverli, Ø., Winberg, S., & Pottinger, T. (2005). Behavioral and Neuroendocrine Correlates of Selection for Stress Responsiveness in Rainbow Trout—A Review. *Integrative and comparative biology*, 45, 463-474. <https://doi.org/10.1093/icb/45.3.463>

Bibliographie

39. Koolhaas, J. M., Korte, S. M., De Boer, S. F., Van Der Vegt, B. J., Van Reenen, C. G., Hopster, H., De Jong, I. C., Ruis, M. A., & Blokhuis, H. J. (1999). Coping styles in animals : Current status in behavior and stress-physiology. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 23(7), 925-935. [https://doi.org/10.1016/s0149-7634\(99\)00026-3](https://doi.org/10.1016/s0149-7634(99)00026-3)
40. Neindre, P. L., Bernard, E., Boissy, A., Boivin, X., & Calandreau, L. (2017). La conscience animale. Résumé de l'expertise scientifique collective. Résumé. [Rapport de recherche] [Review of *La conscience animale. Résumé de l'expertise scientifique collective. Résumé. [Rapport de recherche]*, par N. Delon, B. Deputte, S. Desmoulin-Canselier, M. Dunier, N. Faivre, M. Giurfa, J.-L. Guichet, L. Lansade, R. Larrère, P. Mormède, P. Prunet, B. Schaal, J. Servière, & C. Terlouw]. *INRA*, 8 p. hal - 01736383.
41. Ashley, P. J. (2007). Fish welfare : Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104(3), 199-235. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.09.001>
42. *Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals.* (p. 45, 1-29). (2004). The EFSA (European Food Safety Authority) Journal. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2004.45>
43. 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](https://doi.org/10.1067/S1526-5900(03)00717-X)
44. Huntingford, F., & Adams, C. (2005). Behavioural syndromes in farmed fish : Implications for production and welfare. *Behaviour*, 142, 1207-1221. <https://doi.org/10.1163/156853905774539382>
45. Wingfield, J. C. (2003). Control of behavioural strategies for capricious environments. *Animal Behaviour*, 66(5), 807-816. <https://doi.org/10.1006/anbe.2003.2298>
46. Cerqueira, M., Millot, S., Castanheira, M. F., Félix, A. S., Silva, T., Oliveira, G. A., Oliveira, C. C., Martins, C. I. M., & Oliveira, R. F. (2017). Cognitive appraisal of environmental stimuli induces emotion-like states in fish. *Scientific Reports*, 7(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13173-x>

Bibliographie

47. Kohda, M., Hotta, T., Takeyama, T., Awata, S., Tanaka, H., Asai, J., & Jordan, A. (2019). If a fish can pass the mark test, what are the implications for consciousness and self-awareness testing in animals? *PLOS Biology*, 17(2) : e3000021. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000021>
48. Sneddon, L. U. (2019). Evolution of nociception and pain: Evidence from fish models. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1785). <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0290>
49. Deemer, D. R., & Lobao, L. M. (2011). Public Concern with Farm-Animal Welfare : Religion, Politics, and Human Disadvantage in the Food Sector*: Public Concern with Farm-Animal Welfare. *Rural Sociology*, 76(2), 167-196. <https://doi.org/10.1111/j.1549-0831.2010.00044.x>
50. *Bien-être animal : Une préoccupation croissante*. (2022). [Institutionnel]. Vie publique. <https://www.vie-publique.fr/eclairage/18774-bien-etre-animal-une-preoccupation-croissante>
51. Finger, S. (2019). *Antispécisme : La petite bête qui monte*. Libération. https://www.liberation.fr/france/2019/08/22/antispecisme-la-petite-bete-qui-monte_1746733/
52. *Déclaration de Toulon ou Déclaration sur la personnalité juridique de l'animal—Université de Toulon*. (2019). Université de Toulon. <https://www.univ-tln.fr/Declaration-de-Toulon.html>
53. Sandøe, P., Gamborg, C., Kadri, S., & Millar, K. (2009). Balancing the needs and preferences of humans against concerns for fishes: How to handle the emerging ethical discussions regarding capture fisheries? *Journal of Fish Biology*, 75(10), 2868-2871. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02461.x>
54. Botreau, R., Veissier, I., Butterworth, A., Bracke, M., & Keeling, L. (2007). Definition of criteria for overall assessment of animal welfare. *Universities Federation for Animal Welfare*, 16, 225-228.
55. Miele, M., Veissier, I., Evans, A., & Botreau, R. (2011). Animal welfare: Establishing a dialogue between science and society. *Universities Federation for Animal Welfare*, 1(20), 103-117.
56. Wildgoose, W. H. (2012). A review of fish welfare and public health concerns about the use of *Garra rufa* in foot spas. 13, 7.

Bibliographie

57. Echeverri, A., Karp, D. S., Naidoo, R., Zhao, J., & Chan, K. M. A. (2018). Approaching human-animal relationships from multiple angles: A synthetic perspective. *Biological Conservation*, 224, 50-62. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.05.015>
58. Arluke, A., & Sanders, C. (1996). *Regarding animals*. Temple University Press.
59. Casanova, C., & Costa, S. (2020). Sociozoological scales : Human's perceptions on non-humans through a conservation perspective. *Peoples, Nature and Environments: Learning to Live Together*, 114-128.
60. *Truite arc-en-ciel : L'élevage intensif de millions d'êtres sensibles*. (2018). ONG, association de protection animale L214. <https://visuels.l214.com/sites/www.l214.com/2018/truites/rapport/rapport-truites.pdf>
61. CIWF France Agroalimentaire. (s. d.). *Améliorer les conditions d'abattage des truites arc-en-ciel* [ONG]. CIWF Agroalimentaire. Consulté 3 septembre 2022, à l'adresse <https://www.agrociwf.fr/ressources/poissons/truite-ameliorer-les-conditions-dabattage/>
62. Human Slaughter Association. (s. d.). *Humane Harvesting of Fish (Online Guide)* [Associatif]. Human Slaughter Association. Consulté 30 septembre 2022, à l'adresse <https://www.hsa.org.uk/humane-harvesting-of-fish-introduction/introduction-6>
63. Butterworth, A., Ellis, T., Scott, P., Robinson, O., Hopewell, R., Hutchins, A., Pringle, G., Routledge, O., & Smith, A. (2020). *RSPCA welfare standards for farmed rainbow trout* [ONG]. Science Group - Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/trout>
64. Turnbull, J., Bickerdike, R., Price, A., Armstrong, A., Findlay, C., Armstrong-Wilson, P., Wands, O., Johnson, M., Armstrong, I., Van den Berg, J., Reynolds, S., Bennett, L., Coetzer, D., Catto, D., & Berrill, I. (2021). *RSPCA welfare standards for farmed Atlantic salmon* [ONG]. Science Group - Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals. <https://science.rspca.org.uk/sciencegroup/farmanimals/standards/salmon>
65. ComRes. (2018). *EuroGroup for Animals / CIWF Fish Welfare Survey* [Bureau d'étude statistiques]. Savanta ComRes. <https://comresglobal.com/polls/eurogroup-for-animals-ciwf-fish-welfare-survey/>

Bibliographie

66. Muir, R., Keown, A. J., Adams, N., & Farnworth, M. (2013). *Attitudes towards catch-and-release recreational angling, angling practices and perceptions of pain and welfare in fish in New Zealand*. <https://www.researchbank.ac.nz/handle/10652/2647>
67. Levenda, K. (2013). Legislation to Protect the Welfare of Fish. *Animal Law*, 20, 119.
68. *Report from the Commission to the European Parliament and the Council. On the possibility of introducing certain requirements regarding the protection of fish at the time of killing*. (2018). European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0087&rid=3>
69. Welfare stunning killing of farmed fish for human consumption., Aquatic Animal Health Code (2022). https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/aahc/2010/chapitre_welfare_stunning_killing.pdf
70. Traité d'Amsterdam modifiant le traité sur l'Union européenne, les traités instituant les Communautés européennes et certains actes connexes, 340 OJ C (1997). <http://data.europa.eu/eli/treaty/ams/sign/fra>
71. Version consolidée du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, (2016). http://data.europa.eu/eli/treaty/tfeu_2016/oj/fra
72. Directive 98/58/CE du Conseil du 20 juillet 1998 concernant la protection des animaux dans les élevages, CONSIL, 221 OJ L (1998). <http://data.europa.eu/eli/dir/1998/58/oj/fra>
73. *Chapitre IV : La protection des animaux. (Articles L214-1 à L214-23)—Légifrance*. (s. d.). Consulté 5 octobre 2022, à l'adresse https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006071367/LEGISCTA000006152208/#LEGISCTA000006152208
74. Ledoux, V., & Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. (2021). *Bien-être des poissons en élevage. Question n°34377 [Institutionnel]. Assemblée nationale*. <https://questions.assemblee-nationale.fr/q15/15-34377QE.htm>
75. *Plan Aquacultures d'avenir 2021-2027 : Une nouvelle étape pour la filière aquacole française*. (s. d.). Secrétariat d'État chargé de la Mer. Consulté 5 octobre 2022, à l'adresse <https://www.mer.gouv.fr/plan-aquacultures-davenir-une-nouvelle-etape-pour-la-filiere-aquacole-francaise>

Bibliographie

76. *Arrêté du 3 avril 2018 portant homologation du cahier des charges du label rouge n°LA/33/90 Saumon.* (s. d.). Consulté 6 octobre 2022, à l'adresse https://www.inao.gouv.fr/show_texte/5199
77. *Arrêté du 7 mars 2016 portant homologation du cahier des charges du label rouge LA/31/05 Saumon Atlantique.* (s. d.). Consulté 6 octobre 2022, à l'adresse https://www.inao.gouv.fr/show_texte/4615
78. *Arrêté du 13 avril 2022 portant homologation du cahier des charges du label rouge n° LA 03/11 « Maigre d'aquaculture marine », Pub. L. No. AGRT2210387A (2022).* <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000045614897>
79. *Arrêté du 18 septembre 2014 modifié portant homologation de cahiers des charges de label rouge LA/01/11 Bar d'aquaculture marine ; LA/02/11 Daurade d'aquaculture marine ; LA/03/11 Maigre d'aquaculture marine.* (s. d.). Consulté 7 octobre 2022, à l'adresse https://www.inao.gouv.fr/show_texte/6508
80. *Arrêté du 22 octobre 2015 portant homologation du cahier des charges du label rouge LA/15/02 Turbot et découpes de turbot d'aquaculture marine.* (s. d.). Consulté 6 octobre 2022, à l'adresse https://www.inao.gouv.fr/show_texte/4497
81. Cahier des charges concernant le mode de production biologique d'animaux d'élevage et complétant les dispositions des règlements (CE) n° 834/2007 du Conseil et (CE) n° 889/2008 de la Commission., 51 (2010). <https://agriculture.gouv.fr/agriculture-biologique-quelle-reglementation>
82. MSC. (s. d.). *Fisheries program documents : MSC Fisheries Standard and Guidance v2.01* [ONG]. MSC International - English. Consulté 5 octobre 2022, à l'adresse <https://www.msc.org/for-business/certification-bodies/fisheries-standard-program-documents>
83. *Sustainable Fisheries And Fleets Certification—FOS.* (s. d.). Friend of the Sea. Consulté 5 octobre 2022, à l'adresse <https://friendofthesea.org/sustainable-standards-and-certifications/sustainable-fisheries-and-fleets/>

Bibliographie

84. *Sustainable Aquaculture Certification*. (s. d.). Friend of the Sea. Consulté 5 octobre 2022, à l'adresse <https://friendofthesea.org/sustainable-standards-and-certifications/sustainable-aquaculture/>
85. *L'écolabel public « Pêche Durable »*. (s. d.). [Institutionnel]. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Consulté 15 octobre 2022, à l'adresse <https://agriculture.gouv.fr/lecolabel-public-peche-durable>
86. Poli, B. M. (2009). Farmed fish welfare-suffering assessment and impact on product quality. *Italian Journal of Animal Science*, 8(SUPPL. 1), 139-160. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.139>
87. Bouyssou, D. (1990). Building Criteria: A Prerequisite for MCDA. *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, 58-80. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75935-2_4
88. More, S., Bicout, D., Bøtner, A., Butterworth, A., Calistri, P., Depner, K., Edwards, S., Garin-Bastuji, B., Good, M., Gortázar Schmidt, C., Miranda, M. A., Saxmose Nielsen, S., Velarde, A., Thulke, H.-H., Sihvonen, L., Spoolder, H., Stegeman, J. A., Raj, M., Willeberg, P., ... Michel, V. (2018). Guidance on the assessment criteria for applications for new or modified stunning methods regarding animal protection at the time of killing. *The EFSA (European Food Safety Authority) Journal*, 16(7), e05343. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5343>
89. Lambooi, E., van de Vis, J. W., Kuhlmann, H., Münkner, W., Oehlenschläger, J., Kloosterboer, R. J., & Pieterse, C. (2002). A feasible method for humane slaughter of eel (*Anguilla anguilla* L.): Electrical stunning in fresh water prior to gutting. *Aquaculture Research*, 33(9), 643-652. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00677.x>
90. Robb, D., Wotton, S., McKinstry, J., Sørensen, N., & Kestin, S. (2000). Commercial slaughter methods used on Atlantic salmon: Determination of the onset of brain failure by electroencephalography. *The Veterinary record*, 147, 298-303. <https://doi.org/10.1136/vr.147.11.298>
91. Creel, D. J. (2019). Chapter 34—Visually evoked potentials. In K. H. Levin & P. Chauvel (Éds.), *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 160, p. 501-522). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64032-1.00034-5>

Bibliographie

92. Kestin, S., Wotton, S., & Gregory, N. (1991). Effect of slaughter by removal from water on visual evoked activity in the brain and reflex movement of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *The Veterinary record*, 128, 443-446. <https://doi.org/10.1136/vr.128.19.443>
93. Kestin, S., deVis, J., & Robb, D. (2002). Protocol for assessing brain function in fish and the effectiveness of methods used to stun and kill them. *The Veterinary record*, 150, 302-307. <https://doi.org/10.1136/vr.150.10.302>
94. *Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales*. (s. d.). Consulté 16 octobre 2022, à l'adresse <https://cnrtl.fr/definition/>
95. Stoehr, A., St. Martin, J., Aalbers, S., Sepulveda, C., & Bernal, D. (2018). Free-swimming swordfish, *Xiphias gladius*, alter the rate of whole body heat transfer : Morphological and physiological specializations for thermoregulation. *ICES Journal of Marine Science*, 75(2), 858-870. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx163>
96. Carey, F. G., & Teal, J. M. (1969). Regulation of body temperature by the bluefin tuna. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 28(1), 205-213. [https://doi.org/10.1016/0010-406X\(69\)91336-X](https://doi.org/10.1016/0010-406X(69)91336-X)
97. Seibel, H., Baßmann, B., & Rebl, A. (2021). Blood Will Tell : What Hematological Analyses Can Reveal About Fish Welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 8(616955), 1-21. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.616955>
98. Colson, V., Sadoul, B., Valotaire, C., Prunet, P., Gaumé, M., & Labbé, L. (2015). Welfare assessment of rainbow trout reared in a Recirculating Aquaculture System : Comparison with a Flow-Through System. *Aquaculture*, 436, 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.047>
99. Jentoft, S., Aastveit, A. H., Torjesen, P. A., & Andersen, Ø. (2005). Effects of stress on growth, cortisol and glucose levels in non-domesticated Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) and domesticated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 141(3), 353-358. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2005.06.006>

Bibliographie

100. Merkin, G. V., Roth, B., Gjerstad, C., Dahl-Paulsen, E., & Nortvedt, R. (2010). 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/10.1016/j.aquaculture.2010.08.025>
101. Poli, B. M., Scappini, F., Parisi, G., Zampacavallo, G., Mecatti, M., Lupi, P., Mosconi, G., Giorgi, G., & Vigiani, V. (2004). Traditional and innovative stunning/slaughtering methods for european sea bass compared by the complex of the assessed behavioural, plasmatic and tissue stress and quality indexes at death and during self life. In *Proceedings : 34th WEFTA (West European Fish Technologists Association) meeting. Lübeck-Germany*. 58-63.
102. 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.
103. Turnbull, J., Bell, A., Adams, C., Bron, J., & Huntingford, F. (2005). Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: Application of a multivariate analysis. *Aquaculture*, 243(1), 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.09.022>
104. Papoutsoglou, S. E., Miliou, H., Chadio, S., Karakatsouli, N., & Zarkada, A. (1999). Studies on stress responses and recovery from removal in gilthead sea bream *Sparus aurata* (L.) using recirculated seawater system. *Aquacultural Engineering*, 21(1), 19-32. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(99\)00021-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(99)00021-7)
105. Barton, B. A., & Schreck, C. B. (1987). Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 62(3), 299-310. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90172-4](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90172-4)
106. Barton, B., Schreck, C., & Barton, L. (1986). Effects of chronic Cortisol administration and daily acute stress on growth, physiological conditions, and stress responses in juvenile rainbow trout. *Diseases of Aquatic Organisms*, 2, 173-185. <https://doi.org/10.3354/dao002173>
107. Weil, L. S., Barry, T. P., & Malison, J. A. (2001). Fast growth in rainbow trout is correlated with a rapid decrease in post-stress cortisol concentrations. *Aquaculture*, 193(3), 373-380. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00482-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00482-8)

Bibliographie

108. Grutter, A. S., & Pankhurst, N. W. (2000). The effects of capture, handling, confinement and ectoparasite load on plasma levels of cortisol, glucose and lactate in the coral reef fish *Hemigymnus melapterus*. *Journal of Fish Biology*, 57(2), 391-401. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2000.tb02179.x>
109. Lowe, T. E., Ryder, J. M., Carragher, J. F., & Wells, R. M. G. (1993). Flesh Quality in Snapper, *Pagrus auratus*, Affected by Capture Stress. *Journal of Food Science*, 58(4), 770-773. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb09355.x>
110. Erikson, U., & Misimi, E. (2008). Atlantic Salmon Skin and Fillet Color Changes Effected by Perimortem Handling Stress, Rigor Mortis, and Ice Storage. *Journal of Food Science*, 73(2), C50-C59. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00617.x>
111. Thomas, P. M., Pankhurst, N. W., & Bremner, H. A. (1999). The effect of stress and exercise on post-mortem biochemistry of Atlantic salmon and rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 54(6), 1177-1196. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb02047.x>
112. Bermejo-Poza, R., De la Fuente, J., Pérez, C., González 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/10.1016/j.aquaculture.2017.01.036>
113. Liew, H. J., Sinha, A. K., Mauro, N., Diricx, M., Blust, R., & De Boeck, G. (2012). Fasting goldfish, *Carassius auratus*, and common carp, *Cyprinus carpio*, use different metabolic strategies when swimming. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 163(3), 327-335. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2012.07.012>
114. Iwama, G. K., McGeer, J. C., & Pawluk, M. P. (1989). The effects of five fish anaesthetics on acid-base balance, hematocrit, blood gases, cortisol, and adrenaline in rainbow trout. *Canadian Journal of Zoology*, 67(8), 2065-2073. <https://doi.org/10.1139/z89-294>
115. Javaheri, S., Nekoubin, H., & Moradlu, A. (2012). Effect of anesthesia with clove oil if fish (review). *Fish physiology and biochemistry*, 38(6), 1545-1552. <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9682-5>

Bibliographie

116. Huss, H. H. (1999). *La qualité et son évolution dans le poisson frais—Chapitre 8. In évaluation de la qualité du poisson* [Institutionnel]. FAO (Food and Agriculture Organisation). <https://www.fao.org/3/v7180f/v7180f09.htm>
117. Règlement (CE) n° 2406/96 du Conseil du 26 novembre 1996 fixant des normes communes de commercialisation pour certains produits de la pêche, 334 OJ L 6 (1996). <http://data.europa.eu/eli/reg/1996/2406/oj/fra>
118. Parisi, G., Franci, O., & Poli, B. M. (2002). Application of multivariate analysis to sensorial and instrumental parameters of freshness in refrigerated sea bass (*Dicentrarchus labrax*) during shelf life. *Aquaculture*, 214(1), 153-167. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00058-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00058-3)
119. ISO 4120:2004(fr), *Analyse sensorielle—Méthodologie—Essai triangulaire*. (s. d.). Consulté 17 octobre 2022, à l'adresse <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:4120:ed-2:v1:fr>
120. ISO 5492:2008(fr), *Analyse sensorielle—Vocabulaire*. (s. d.). Consulté 17 octobre 2022, à l'adresse <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5492:ed-2:v1:fr>
121. ISO 8589:2007(en), *Sensory analysis—General guidance for the design of test rooms*. (s. d.). Consulté 17 octobre 2022, à l'adresse <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8589:ed-2:v1:en>
122. *Annexe II. Projet de lignes directrices pour l'évaluation organoleptique en laboratoire du poisson et des mollusques et crustacés (à l'étape 8 de la procédure)*. (s. d.). Consulté 16 octobre 2022, à l'adresse <https://www.fao.org/3/W9253F/w9253f0l.htm>
123. K Sorensen, N., Tobiassen, T., & Carlehoeg, M. (2004). How do handling and killing methods affect ethical and sensory quality of farmed atlantic salmon? In M. Sakaguchi (Éd.), *Developments in Food Science* (Vol. 42, p. 301-307). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(04\)80031-1](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(04)80031-1)
124. Salazar-Duque, D., Holguín, J. P., Estrella I., A., & Lomas Martinez, G. (2019). Mejoramiento de la calidad en la carne de la trucha arcoíris mediante la técnica de sacrificio Ikejime : Caso Ecuador. *CIENCIA ergo-sum*, 26(1). <https://doi.org/10.30878/ces.v26n1a10>

Bibliographie

125. 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/10.1007/s00217-002-0494-1>
126. Hyldig, G., & Nielsen, D. (2001). A Review of Sensory and Instrumental Methods Used to Evaluate the Texture of Fish Muscle. *Journal of Texture Studies*, 32(3), 219-242. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2001.tb01045.x>
127. Harada, K. (1988). Presenting fish for sale on the Japanese market -Adapted from Australian Fisheries. 45, 38-43 (6).
128. Huss, H. H. (1999). La qualité et son évolution dans le poisson frais—Chapitre 5. In *Changements post mortem dans le poisson* [Institutionnel]. FAO (Food and Agriculture Organisation). <https://www.fao.org/3/v7180f/v7180f06.htm#5.3%20Changements%20bact%C3%A9riologiques>
129. 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(s1), 58-63. <https://doi.org/10.1111/jai.12426>
130. Bagni, M., Civitareale, C., Priori, A., Ballerini, A., Finoia, 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), 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.049>
131. Huss, H. H. (1988). *Fresh Fish-quality and Quality Changes : A Training Manual Prepared for the FAO/DANIDA Training Programme on Fish Technology and Quality Control*. FAO (Food and Agriculture Organisation).
132. Jerrett, A. r., & Holland, A. j. (1998). Rigor Tension Development in Excised “Rested”, “Partially Exercised” and “Exhausted” Chinook Salmon White Muscle. *Journal of Food Science*, 63(1), 48-52. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15673.x>
133. Nakayama, T., Liu, D.-J., & Ooi, A. (1995). Tension Development of Carp Muscle Immersed in Pure Water and CaCl₂ Solution. *Fisheries science*, 61, 822-827. <https://doi.org/10.2331/fishsci.61.822>

Bibliographie

134. Grigorakis, K., Taylor, K. D. A., & Alexis, M. N. (2003). Seasonal patterns of spoilage of ice-stored cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Food Chemistry*, 81(2), 263-268. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00421-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00421-1)
135. Abbas, K. A., Mohamed, A., Jamilah, B., & Ebrahimian, M. (2008). A Review on Correlations between Fish Freshness and pH during Cold Storage. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 4(4), 416-421. <https://doi.org/10.3844/ajbbbsp.2008.416.421>
136. 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*, 52(5), 2585-2597. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1324-8>
137. Nishinari, K., Kohyama, K., Kumagai, H., Funami, T., & Bourne, M. (2013). Parameters of Texture Profile Analysis. *Food Science and Technology Research*, 19, 519-521. <https://doi.org/10.3136/fstr.19.519>
138. Veje, C., Borch, J., Duggen, L., Hall, C., Haubjerg, A., Lassen, B., Markovi'c, B., Rechenbach, B., & Thulesen, T. (2013). Texture profile analysis of extruded fish feed.
139. Regost, C., Arzel, J., Cardinal, M., Laroche, M., & Kaushik, S. J. (2001). Fat deposition and flesh quality in seawater reared, triploid brown trout (*Salmo trutta*) as affected by dietary fat levels and starvation. *Aquaculture*, 193(3), 325-345. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00498-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00498-1)
140. Khoshtaghaza, M. H., Khojastehnazhand, M., Mojaradi, B., Goodarzi, M., & Saeys, W. (2016). Texture Quality Analysis of Rainbow Trout Using Hyperspectral Imaging Method. *International Journal of Food Properties*, 19(5), 974-983. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1042111>
141. Rørå, A. M. B., Regost, C., & Lampe, J. (2003). Liquid holding capacity, texture and fatty acid profile of smoked fillets of Atlantic salmon fed diets containing fish oil or soybean oil. *Food Research International*, 36(3), 231-239. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00141-2](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00141-2)
142. Zhang, F., Klebansky, B., Fine, R. M., Xu, H., Pronin, A., Liu, H., Tachdjian, C., & Li, X. (2008). Molecular mechanism for the umami taste synergism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(52), 20930-20934. <https://doi.org/10.1073/pnas.0810174106>

Bibliographie

143. Kurihara, K., & Kashiwayanagi, M. (2000). Physiological Studies on Umami Taste. *The Journal of Nutrition*, 130(4), 931S-934S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.4.931S>
144. Woods, S. (s. d.). *L'Ikejime* [Commercial]. France Ikejime : « La tradition japonaise, le poisson français ». Consulté 8 octobre 2022, à l'adresse <http://ikejime.fr>
145. Mishima, T., Nonaka, T., Okamoto, A., Tsuchimoto, M., Ishiya, T., Tachibana, K., & Tsuchimoto, M. (2005). Influence of storage temperatures and killing procedures on post-mortem changes in the muscle of horse mackerel caught near Nagasaki Prefecture, Japan. *Fisheries Science*, 71(1), 187-194. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2005.00947.x>
146. Huss, H. H. (1999). La qualité et son évolution dans le poisson frais—Chapitre 4. In *Composition chimique* [Institutionnel]. FAO (Food and Agriculture Organisation). <https://www.fao.org/3/v7180f/v7180f05.htm#4.2%20Lipides>
147. Ke, P. J., Cervantes, E., & Robles-Martinez, C. (1984). Determination of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) in fish tissue by an improved distillation–spectrophotometric method. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35(11), 1248-1254. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740351117>
148. Ifremer. (2008). Fiche sur l'ABVT (Azote Basique Volatil Total). *Magazine Bibliomer*. http://bibliomer.ifremer.fr/documents/fiches/fiche_synthese_ABVT.pdf
149. Salgado-Miranda, C., Palomares, E., Jurado, M., Marín, A., Vega, F., & Soriano-Vargas, E. (2010). Isolation and Distribution of Bacterial Flora in Farmed Rainbow Trout from Mexico. *Journal of Aquatic Animal Health*, 22(4), 244-247. <https://doi.org/10.1577/H09-004.1>
150. Helsens, N. (2020). Caractérisation des communautés bactériennes et des profils de résistance aux antibiotiques dans le filet de truite arc-en-ciel [Thèse de doctorat, Oniris - Ecole nationale vétérinaire, agroalimentaire et de l'alimentation]. <http://www.theses.fr/2020ONIR145F/document>
151. Nedoluha, P. C., Owens, S., Russek-Cohen, E., & Westhoff, D. C. (2001). Effect of sampling method on the representative recovery of microorganisms from the surfaces of aquacultured finfish. *Journal of Food Protection*, 64(10), 1515-1520. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-64.10.1515>

Bibliographie

152. Oberlé, K., Bouju-Albert, A., Helsens, N., Pangga, G., Prevost, H., Magras, C., & Calvez, S. (2022). No evidence for a relationship between farm or transformation process locations and antibiotic resistance patterns of *Pseudomonas* population associated with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Applied Microbiology*, 132(3), 1738-1750. <https://doi.org/10.1111/jam.15344>
153. Lougovois, V. P., Kyranas, E. R., & Kyrana, V. R. (2003). Comparison of selected methods of assessing freshness quality and remaining storage life of iced gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Food Research International*, 36(6), 551-560. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00220-X](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00220-X)
154. Fletcher, G. L., Kao, M. H., & Dempson, J. B. (1988). Lethal freezing temperatures of Arctic char and other salmonids in the presence of ice. *Aquaculture*, 71(4), 369-378. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90206-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90206-2)
155. 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/10.1016/S0044-8486\(01\)00677-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00677-9)
156. 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](https://doi.org/10.1577/1548-8454(2000)062<0067:TPAOHF>2.0.CO;2)
157. Giménez-Candela, M., Saraiva, J. L., & Bauer, H. (2020). The legal protection of farmed fish in Europe – analysing the range of EU legislation and the impact of international animal welfare standards for the fishes in European aquaculture. *Derecho Animal. Forum of Animal Law Studies*, 11(1), 65. <https://doi.org/10.5565/rev/da.460>
158. Wills, C. C., Zampacavallo, G., Poli, B.-M., Proctor, M. R. M., & Henehan, G. T. M. (2006). Nitrogen stunning of rainbow trout. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(4), 395-398. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01082.x>
159. *Espaces confinés. Exposition aux risques et effets sur la santé.* (s. d.). [Institut de recherche]. INRS (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles). Consulté 29 septembre 2022, à l'adresse <https://www.inrs.fr/risques/espaces-confines/exposition-risques-effets-sante.html>

Bibliographie

160. 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 Für Lebensmitteluntersuchung Und -Forschung A*, 204(4), 282-286. <https://doi.org/10.1007/s002170050078>
161. Le Bouter, M. (2022). *Communication personnelle : Entretien avec un moniteur guide de pêche pratiquant l'Ikejime et y initiant ses clients*. [Entretien téléphonique].
162. Bégout, M.-L. (2013). Effet de l'anesthésie des poissons avec de l'huile de clou de girofle (une synthèse). *Magazine Bibliomer (Ifremer/CITTPM)*, 66, 2.
163. *High Quality Versatile Aquatic Anaesthetics—AQUI-S® | New Zealand*. (s. d.). Consulté 10 octobre 2022, à l'adresse <https://aqui-s.com/products/aqui-s-aquatic-anaesthetic>
164. *Article Annexe IV - Arrêté du 1er février 2013 fixant les conditions d'agrément, d'aménagement et de fonctionnement des établissements utilisateurs, éleveurs ou fournisseurs d'animaux utilisés à des fins scientifiques et leurs contrôles—Légifrance*. (s. d.). Consulté 16 novembre 2022, à l'adresse https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000027038776
165. Charbonneau, R., Niel, L., Olfert, E., von Keyserlingk, M., & Griffin, G. (2010). Lignes directrices du CCPA sur : L'euthanasie des animaux utilisés en science. *CCPA (Comité des lignes directrices du conseil canadien de protection des animaux)*, 35.
166. PubChem. (s. d.). *Explore Chemistry : Quickly find chemical information from authoritative sources*. PubChem. Consulté 20 octobre 2022, à l'adresse <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
167. Simitzis, P. E., Tsopelakos, A., Charismiadou, M. A., Batzina, A., Deligeorgis, S. G., & Miliou, H. (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(11), 1759-1770. <https://doi.org/10.1111/are.12120>
168. Nurdjannah, N., & Bermawie, N. (2012). 11—Cloves. In K. V. Peter (Éd.), *Handbook of Herbs and Spices (Second Edition)* (p. 197-215). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857095671.197>

Bibliographie

169. Topic Popovic, N., Strunjak-Perovic, I., Coz-Rakovac, R., Barisic, J., Jadan, M., Persin Berakovic, A., & Sauerborn Klobucar, R. (2012). Tricaine methane-sulfonate (MS-222) application in fish anaesthesia. *Journal of Applied Ichthyology*, 28(4), 553-564. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.01950.x>
170. Commission Regulation (EU) No 37/2010 of 22 December 2009 on pharmacologically active substances and their classification regarding maximum residue limits in foodstuffs of animal origin (Text with EEA relevance)Text with EEA relevance, (2022). [https://data.europa.eu/eli/reg/2010/37\(1\)/2022-05-09/eng](https://data.europa.eu/eli/reg/2010/37(1)/2022-05-09/eng)
171. 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), 2-6. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736586>
172. Anders, N., Roth, B., Grimsbø, E., & Breen, M. (2019). Assessing the effectiveness of an electrical stunning and chilling protocol for the slaughter of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *PLOS ONE*, 14(9), e0222122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222122>
173. *Le Japon vu en France par nos diplomates de l'Ambassade du Japon : La technique d'abattage ikejime ou comment rendre le poisson plus savoureux*. (2022). Ambassade du Japon en France. <https://www.fr.emb-japan.go.jp/files/100380430.pdf>
174. Roman-Amat, B. (2019). 1603 à 1867—*Le Japon à l'époque d'Edo*—Herodote.net. herodote.net Le média de l'histoire. <https://www.herodote.net/Le Japon a l epoque d Edo-synthese-166.php>
175. Japon—Histoire : « Le régime de Tokugawa » et « Le changement de régime ». (1984). In *Encyclopaedia Universalis* (Vol. 10, p. 436-440).
176. Vallée, E. (2019). *Réalisation d'un diagnostic et d'un guide méthodologique sur la pratique de l'Ikejime en France par les pêcheurs (Confidentiel, propriété du CDPMEM 56)* (p. 59). HALIOCEAN, IVAMER.
177. *Iki jime Fish Finder—Search for your fish and identify the spike point*. (s. d.). Iki Jime - Humane Killing of Fish. Consulté 1 octobre 2022, à l'adresse <https://www.ikijime.com/>
178. Haliocéan, & IVAMER. (2019). *L'Ikejime, guide des bonnes pratiques*.

Bibliographie

179. *Ikigun*. (s. d.). *Ikigun*. Consulté 10 octobre 2022, à l'adresse <https://www.ikigun.com/blogs/iki-community/its-science>
180. Davidson, J., Tsui, A., May, T., Crouse, C., Kenney, B., & Summerfelt, S. (2016). *Ike Jime : Lessons from the Japanese Method of Humane Harvesting*. Aquaculture Innovation Workshop, Roanoke, Virginia, USA. <https://docplayer.net/63924955-Ike-jime-lessons-from-the-japanese-method-of-humane-harvesting.html>
181. Bégau, G. (2022, mars 28). *Communication personnelle : Entretien avec de directeur d'AB pêcheries de Loire, entreprise de pêche en eau douce pratiquant l'Ikejime—Carquefou (44)*. [Entretien].
182. Roth, B., Torrissen, O. J., & Slinde, E. (2005). The effect of slaughtering procedures on blood spotting in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 250(3), 796-803. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.03.010>
183. Roth, B., Obach, A., Hunter, D., Nortvedt, R., & Oyarzun, F. (2009). Factors affecting residual blood and subsequent effect on blood spotting in smoked Atlantic salmon fillets. *Aquaculture*, 297(1), 163-168. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.019>
184. Olsen, S., Sorensen, N., Stormo, S., & Elvevoll, E. (2006). Effect of slaughter methods on blood spotting and residual blood in fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 258, 462-469. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.047>
185. FranceAgriMer. (2019). *Étude sur le poisson vendu vivant et l'abattage ikejime en France. Comité de pilotage final*. (p. 62). FranceAgriMer, GEM, Nouvelles vagues, Aquimer, Les pôles de compétitivité.
186. Vallée, E. (2021, septembre). *Communication personnelle : Entretien sur l'Ikejime avec le directeur du bureau d'étude Haliocan* [Entretien téléphonique].
187. Blasco, J., Fernández, J., & Gutiérrez, J. (1992). Fasting and refeeding in carp, *Cyprinus carpio* L.: The mobilization of reserves and plasma metabolite and hormone variations. *Journal of Comparative Physiology B*, 162(6), 539-546. <https://doi.org/10.1007/BF00264815>

Bibliographie

188. Lambooij, E., van de Vis, J. W., Kloosterboer, R. J., & Pieterse, C. (2002). Evaluation of captive needle stunning of farmed eel (*Anguilla anguilla* L.): Suitability for humane slaughter. *Aquaculture*, 212(1), 141-148. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00872-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00872-9)
189. *Bilan des ventes déclarées en halles à marée en 2018* | FranceAgriMer—Établissement national des produits de l'agriculture et de la mer. (s. d.). Consulté 10 octobre 2022, à l'adresse <https://www.franceagrimer.fr/Actualite/Filieres/Peches-et-aquaculture/2019/Bilan-des-ventes-declarees-en-halles-a-maree-en-2018>
190. *Guides de Bonnes Pratiques d'Hygiène (GBPH)*. (s. d.). [Institutionnel]. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Consulté 11 octobre 2022, à l'adresse <https://agriculture.gouv.fr/guides-de-bonnes-pratiques-dhygiene-gbph>
191. SMIDAP. (2021). L'Ikejime : Présentation de la technique et situation en Pays de la Loire. 2021-02, *Newsletter n°11*, 1-5.
192. *Projets : Formation à l'Ikejime*. (2022). Les Pêcheurs de Bretagne - Actualités. <https://www.pecheursdebretagne.eu/actus/actualites-extranet/formation-a-likejime/>
193. *Les métiers de la pêche—Corepem*. (s. d.). Consulté 14 octobre 2022, à l'adresse <http://www.corepem.fr/peche-pays-de-loire/les-pecheurs/metiers/>
194. Le marché du poisson ikejime bientôt mieux encadré et organisé. (2021, novembre 11). *Journal Le marin*, 18.
195. *Ikejime : Une formation-test organisée à Quiberon*. (2022). CDPMEM 56 (Comité départemental des pêches maritimes du Morbihan). <https://www.cdpmem56.fr/ikejime-une-formation-test-organisee-a-quiberon/>
196. *Les formations de la filière ikejime ont leur référentiel*. (2022, avril 21). [Presse]. *Journal Le marin*. <https://lemarin.ouest-france.fr/secteurs-activites/peche/43291-lancement-en-juin-des-formations-de-la-filiere-ikejime>
197. Baroux, P. (2022, septembre 19). Assises de la pêche à La Rochelle : La filière du poisson ikéjime se structure. *Journal Sud-Ouest*. <https://www.sudouest.fr/environnement/mer/assises-de-la-peche-a-la-rochelle-la-filiere-du-poisson-ikejime-se-structure-12231430.php>

Bibliographie

198. Jones, B. S., Keightley, L. J., Harris, J. O., Wiklendt, L., Spencer, N. J., & Dinning, P. G. (2021). Identification of neurogenic intestinal motility patterns in silver perch (*Bidyanus bidyanus*) that persist over wide temperature ranges. *Neurogastroenterology & Motility*, 33(5), e14037. <https://doi.org/10.1111/nmo.14037>
199. Lowe, M. L., Morrison, M. A., & Taylor, R. B. (2015). Harmful effects of sediment-induced turbidity on juvenile fish in estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 539, 241-254. <https://doi.org/10.3354/meps11496>
200. Young, T., Walker, S. P., Alfaro, A. C., Fletcher, L. M., Murray, J. S., Lulijwa, R., & Symonds, J. (2019). Impact of acute handling stress, anaesthesia, and euthanasia on fish plasma biochemistry: Implications for veterinary screening and metabolomic sampling. *Fish Physiology and Biochemistry*, 45(4), 1485-1494. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00669-8>
201. Gräns, 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>
202. Eugenol (Clove Oil). (2012). In *LiverTox: Clinical and Research Information on Drug-Induced Liver Injury*. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551727/>
203. *From Sud-Ouest | Facebook*. (s. d.). Consulté 4 septembre 2022, à l'adresse <https://www.facebook.com/profile.php?id=100057620170995>
204. *Vidéos accessibles en recherchant le terme « ikejime » sur YouTube*. (s. d.). [Hébergeur de vidéos en ligne]. Youtube. Consulté 4 septembre 2022, à l'adresse https://www.youtube.com/results?search_query=l%27ikejime
205. France 3 Nouvelle-Aquitaine (Réalisateur). (2019, mars 11). *Semaine de l'emploi maritime: Portrait de Sandrine Thomas, patron de pêche à Royan*. <https://www.youtube.com/watch?v=kDbGNUHTw3U>

Bibliographie

206. *Rapport des métiers de la pêche et des cultures marines 2020*. (p. 8). (2021). OCAPIAT (Observatoire prospectif des métiers et des qualifications de la pêche). <https://www.ocapiat.fr/syntheses-et-rapports/>
207. *Chiffres clés emploi*. (s. d.). CNPMEM (Comité national des pêches maritimes et des élevages marins). Consulté 6 novembre 2022, à l'adresse <https://www.comite-peches.fr/marin-pecheur/chiffres-cles-emploi/>
208. Flageul, L. (2017, septembre 28). Le bar à la méthode ikéjilé de la fée de Saint-Gué. *Journal Le marin (Ouest-France)*, 25-26.
209. *La truite s'invite sur les tables des fêtes*. (s. d.). [Institutionnel]. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Consulté 3 septembre 2022, à l'adresse <https://agriculture.gouv.fr/la-truite-sinvite-sur-les-tables-des-fetes>
210. ITAVI : Institut technique des filières avicole, cunicole et piscicole. (s. d.). *La filière poisson en 2020* [Institut technique]. Consulté 3 septembre 2022, à l'adresse <https://www.itavi.asso.fr/filieres-poissons>
211. *La filière française : Chiffres clés*. (s. d.). Poissons Aquaculture, CIPA (Comité Interprofessionnel Des Produits de l'aquaculture). Consulté 3 septembre 2022, à l'adresse <https://www.poisson-aquaculture.fr/chiffres-cles/>
212. Abidi, B., Dhaouadi, R., & Calvez, S. (2021). Evaluation of the stress response in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after anaesthesia and three killing methods: Anaesthetic overdose, electrical and percussive stunning [Résultats non publiés].
213. McCormick, S. D., Shrimpton, J. M., Carey, J. B., O'Dea, M. F., Sloan, K. E., Moriyama, S., & Bjornsson, B. T. (1998). Repeated acute stress reduces growth rate of Atlantic salmon parr and alters plasma levels of growth hormone, insulin-like growth factor I and cortisol. *Aquaculture*, 168(1-4), 221-235.
214. Planas, J., Gutierrez, J., Fernandez, J., Carrillo, M., & Canals, P. (1990). Annual and daily variations of plasma cortisol in sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. *Aquaculture*, 91(1), 171-178. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90186-Q](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90186-Q)

Bibliographie

215. *Logiciel de calcul du nombre de sujets nécessaires pour une comparaison de deux moyennes— Études cliniques.* (s. d.). [Institut de recherche public]. BiostatTGV - Statistiques en ligne - Institut Pierre Louis d'Epidémiologie et de Santé Publique UMR S 1136. Consulté 6 septembre 2022, à l'adresse <https://biostatgv.sentiweb.fr/?module=etudes/sujets#>
216. *Dictionnaire de l'Académie Nationale de Médecine.* (2019). Académie nationale de médecine. <https://51.68.80.15/>
217. Ashton, T. J., Michie, I., & Johnston, I. A. (2010). A Novel Tensile Test Method to Assess Texture and Gaping in Salmon Fillets. *Journal of Food Science*, 75(4), S182-S190. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01586.x>
218. FCD (Fédération du commerce et de la distribution). (2021). *Critères microbiologiques applicables à partir de 2022 aux marques de distributeurs, marques premiers prix et matières premières dans leur conditionnement initial industriel* [Commercial]. Documentation de la FCD. <https://www.fcd.fr/documentation-fcd/?page=2>
219. Ifremer. (2009). Principales méthodes d'évaluation de la fraîcheur des produits de la mer. *Magazine Bibliomer* (Ifremer/CITTPM). https://bibliomer.ifremer.fr/documents/fiches/Fiche_synthese_fraicheur.pdf
220. Règlement (CE) n° 2073/2005 de la Commission du 15 novembre 2005 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)., Pub. L. No. JO L 338, 26 (2005). <https://data.europa.eu/eli/reg/2005/2073/oj/fra>
221. Damien Muller – Maître Pêcheur Ikejime – Corse-Ikejime | *La pêche durable et sélective associée à la technique Ikejime.* (s. d.). Consulté 1 septembre 2022, à l'adresse <https://www.corse-ikejime.com/>
222. *Instruction technique DGAL/SDSSA/2019-486 : Jugement de conformité des lots de produits de la pêche et de coquillages vivants trouvés contaminés par des Vibrio suite à des contrôles officiels (version modifiée de l'IT 2014-487).* (2019). [Institutionnel]. Bulletin officiel ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2019-486>

Bibliographie

223. Huber, I., Spanggaard, B., Appel, K. f., Rossen, L., Nielsen, T., & Gram, L. (2004). Phylogenetic analysis and in situ identification of the intestinal microbial community of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum). *Journal of Applied Microbiology*, 96(1), 117-132. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02109.x>
224. Nedoluha, P. C., Owens, S., Russek-Cohen, E., & Westhoff, D. C. (2001). Effect of Sampling Method on the Representative Recovery of Microorganisms from the Surfaces of Aquacultured Finfish. *Journal of Food Protection*, 64(10), 1515-1520. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-64.10.1515>
225. Janda, J. M., & Abbott, S. L. (2010). The Genus *Aeromonas* : Taxonomy, Pathogenicity, and Infection. *Clinical Microbiology Reviews*, 23(1), 35-73. <https://doi.org/10.1128/CMR.00039-09>
226. Brenner, D. J., & Farmer III, J. j. (2015). *Enterobacteriaceae*. In *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria* (p. 1-24). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118960608.fbm00222>
227. Martin-Carnahan, A., & Joseph, S. W. (2015). *Aeromonas*. In *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria* (p. 1-44). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm01081>
228. Ristuccia, P. A., & Cunha, B. A. (1984). *Klebsiella*. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 5(7), 343-347. <https://doi.org/10.1017/S0195941700060549>
229. Boye, K., & Hansen, D. S. (2003). Sequencing of 16S rDNA of *Klebsiella* : Taxonomic relations within the genus and to other *Enterobacteriaceae*. *International Journal of Medical Microbiology*, 292(7), 495-503. <https://doi.org/10.1078/1438-4221-00228>
230. Rock, C., & Sonnenberg, M. S. (2014). Human Pathogenic *Enterobacteriaceae*. In *Reference Module in Biomedical Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.00136-7>
231. Santos, J. A., Rodríguez-Calleja, J. M., Otero, A., & García-López, M.-L. (2014). *Plesiomonas*. In C. A. Batt & M. L. Tortorello (Éds.), *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)* (p. 47-52). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00392-X>

Bibliographie

232. Luan, N. T., & Thi, H. H. P. (2020). Chapter 8—Pan-genomics of aquatic animal pathogens and its applications. In D. Barh, S. Soares, S. Tiwari, & V. Azevedo (Éds.), *Pan-genomics : Applications, Challenges, and Future Prospects* (p. 161-187). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817076-2.00008-1>
233. Cordier, J.-L. (2006). 17 - *Enterobacteriaceae*. In Y. Motarjemi & M. Adams (Éds.), *Emerging Foodborne Pathogens* (p. 450-475). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845691394.2.450>
234. Huss, H. H. (1999). La qualité et son évolution dans le poisson frais—Chapitre 6. In *Altération de la qualité et durée de conservation du poisson réfrigéré* [Institutionnel]. FAO (Food and Agriculture Organisation). <https://www.fao.org/3/v7180f/v7180f07.htm#6.1%20Effet%20de%20la%20temp%C3%A9rature%20de%20conservation>
235. Egondola. (s. d.). *CFC - Gélose*. Groupe Solabia. Consulté 3 septembre 2022, à l'adresse https://www.solabia.com/fr/Produito_243,9/BIOKAR-Diagnostics/CFC---Gelose-.html
236. *LibreOffice Calc*. (2019). The document foundation. <https://www.libreoffice.org>
237. R Core Team. (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
238. Pinheiro, J. C., & Bates, D. M. (2000). *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. Springer-Verlag New York Inc. <https://link.springer.com/book/10.1007/b98882>
239. Richardson, A. (2011). Multiple Comparisons Using R by Frank Bretz, Torsten Hothorn, Peter Westfall. *International Statistical Review*, 79, 297-297. <https://doi.org/10.2307/41305047>
240. Polidori, P., & Vincenzetti, S. (2017). *THE USE OF ELECTRICAL STIMULATION IN MEAT PRODUCTION* (p. 133-154).
241. Ducastaing, A., Valin, C., Schollmeyer, J., & Cross, R. (1985). Effects of electrical stimulation on post-mortem changes in the activities of two Ca dependent neutral proteinases and their inhibitor in beef muscle. *Meat Science*, 15(4), 193-202. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(85\)90075-0](https://doi.org/10.1016/0309-1740(85)90075-0)
242. Roth, B., Slinde, E., & Arildsen, J. (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), 504-510. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.10.021>

Bibliographie

243. Robb, D. H. F., Kestin, S. C., & Warriss, P. D. (2000). Muscle activity at slaughter : I. Changes in flesh colour and gaping in rainbow trout. *Aquaculture*, 182(3), 261-269. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00273-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00273-2)
244. Hans, A., Key, P., & Prahlow, J. A. (2020). Fatal Direct Current Electrocutation in a Welder. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 41(4), 324-326. <https://doi.org/10.1097/PAF.0000000000000583>
245. Ladrat, C., Chaplet, M., Verrez-Bagnis, V., Noël, J., & Fleurence, J. (2000). Neutral calcium-activated proteases from European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) muscle : Polymorphism and biochemical studies. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 125(1), 83-95. [https://doi.org/10.1016/S0305-0491\(99\)00157-1](https://doi.org/10.1016/S0305-0491(99)00157-1)
246. Lippi, G., Nybo, M., Cadamuro, J., Guimaraes, J. T., van Dongen-Lases, E., & Simundic, A.-M. (2018). Chapter Four - Blood Glucose Determination : Effect of Tube Additives. In G. S. Makowski (Éd.), *Advances in Clinical Chemistry* (Vol. 84, p. 101-123). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2017.12.003>
247. Soetart, N. (2022). *Communication personnelle : Interférence de l'hémolyse dans le dosage du cortisol, du glucose ou des lactates plasmatiques—Dr Vét. Spécialiste en Pathologie Clinique vétérinaire (Dip. ECVCP)—Laboratoire de biologie vétérinaire LabOniris. [Échange par courriel].*
248. Ghirmai, S., Eriksson, L., Wu, H., Axelsson, M., & Undeland, I. (2020). Improving the Stability of Red Blood Cells in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Herring (*Clupea harengus*): Potential Solutions for Post-mortem Fish Handling to Minimize Lipid Oxidation. *Food and Bioprocess Technology*, 13(8), 1344-1355. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02472-3>
249. Gal, A. F., Miclaus, V., Tabaran, F., Taulescu, M., Nagy, A., Cora, R., Rus, V., & Catoi, C. (2016). Pathological Findings in Accidental Electrocutation in a Horse (Case Report). *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Veterinary Medicine*, 73(2), 291. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-vm:12164>

Bibliographie

250. Wick, R., & Byard, R. W. (2008). Electrocution and the Autopsy. In M. Tsokos (Éd.), *Forensic Pathology Reviews* (p. 53-66). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-110-9_4
251. Woodward, C. C., & Strange, R. J. (1987). Physiological Stress Responses in Wild and Hatchery-Reared Rainbow Trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, 116(4), 574-579. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1987\)116<574:PSRIWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1987)116<574:PSRIWA>2.0.CO;2)
252. Laguerre, O., Ben Amara, S., & Flick, D. (2005). Experimental study of heat transfer by natural convection in a closed cavity: Application in a domestic refrigerator. *Journal of Food Engineering*, 70(4), 523-537. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.007>
253. *Recueil de recommandations de bonnes pratiques d'hygiène à destination des consommateurs dans: « Sécurité sanitaire des aliments: Tout sur la chaîne du froid »*. (2013). [Institutionnel]. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/securite-sanitaire-des-aliments-tout-sur-la-chaine-du-froid>
254. Huss, H. H. (1998). *Assurance de la qualité des produits de la mer* [Institutionnel]. FAO (Food and Agriculture Organisation). <https://www.fao.org/3/T1768F/T1768F00.htm#TOC>
255. Tarnecki, A. M., Patterson, W. F., & Arias, C. R. (2016). Microbiota of wild-caught Red Snapper *Lutjanus campechanus*. *BMC Microbiology*, 16(1), 245. <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0864-7>
256. Jacobsen, Á., Joensen, H., & Eysturskarð, J. (2017). Gaping and loss of fillet firmness in farmed salmon (*Salmo salar* L.) closely correlated with post-slaughter cleaning of the abdominal cavity. *Aquaculture Research*, 48(1), 321-331. <https://doi.org/10.1111/are.12884>
257. Ahimbisibwe, J. B., Inoue, K., & Aoki, T. (2009). Detection of cathepsin L in red cell membranes from fish blood. *Fisheries Science*, 76(1), 155. <https://doi.org/10.1007/s12562-009-0184-z>

Annexes

Annexe 1 : Méthode de Kestin, van de Vis et Robb (2002)^[93] pour l'évaluation de l'état de conscience d'un poisson lors de l'abattage dans l'*Avis du groupe scientifique sur la santé et le bien-être animal sur une demande de la Commission européenne quant à la question du bien-être avec les principaux systèmes d'étourdissement et de mise à mort des principales espèces commerciales d'animaux* (2004)^[42].

Table 12-1. Method for assessing the state of consciousness of fish at slaughter (Kestin, Van de Vis and Robb, 2002)

Name	Self initiated behaviour			Response to Stimuli			Clinical reflexes	
	Swimming behaviour	Equilibrium	Handling	Pin prick	6V shock	Eye roll	opercula movement	
Behaviour/ reflex Observation place Procedure	Swimming behaviour In water Observe spontaneous swimming behaviour	Righting ability In water Invert fish, observe righting response	Response to handling In water or air Attempt to catch by tail and administer tail pinch, observe response	Response to prick on lip In air or water Prick lightly on lip with tail and administer tail pinch, observe response	Response to stimulation on lip In air Stimulate carefully on lip with 6V DC, observe response	Vestibulo-ocular reflex (VOR) In air Observe eye movement when fish is rolled from side to side through the vertical	Rhythmic opercular activity In water or air Observe opercula for rhythmic movement (similar to breathing in mammals and birds)	
Sequence of observation	1	2	3	5	6	7	4	
Score 0*	No swimming	Unable to right	No response	No response	No response	Eyes fixed relative to head	No opercula movement	
Score 1*	Slow or abnormal swimming e.g. upside down	Slow to right	Only slow or feeble response after tail pinch(s)	Slow and reduced response	Slow and reduced response	Partial VOR or one eye shows VOR	Slow or irregular movement	
Score 2*	Normal swimming	Quickly rights	Immediate vigorous escape attempt on first touch/pinch	Head shake or escape attempt	Head shake or escape attempt	Eyes roll relative to the head whilst attempting to remain upright when fish is rolled	Regular opercula movement	
				Some species show no response even when fish is fully conscious	1. Direct stimulation of muscles. 2. Some species show no response when fish is fully conscious	Needs careful observation see in some species	Needs careful observation in some species	

*General comments, possible artefacts: This scoring system is too simplistic, *i.e.* all the reflexes are either present or absent. Some comments regarding the presence of combinations of reflexes and their interpretation will be helpful.

Annexes

Annexe 2 : Barème de cotation fraîcheur ©Cappelier Jean-Michel, TD inspection des poissons.
Unité Hygiène et Qualité des Aliments Oniris, 4ème année clinique séquence HQA.

Catégories de fraîcheur C.E.E.	
Appellations	Degrés de fraîcheur
Extra	égal ou supérieur à 2,7
A	égal ou supérieur à 2,0 et inférieur à 2,7
B	égal ou supérieur à 1,0 et inférieur à 2,0
C (retirée de la consommation humaine)	Inférieur à 1,0 (« poissons ne satisfaisant pas aux exigences requises pour le classement dans les catégories extra, A et B »)

Annexes

Objet d'examen	Critères			
	Cotes d'appréciation			
	3	2	1	0
Aspect				
Peau	Pigmentation vive et chatoyante : pas de décoloration Mucus aqueux, transparent	Pigmentation vive, mais sans lustre Mucus légèrement trouble	Pigmentation en voie de décoloration et ternie Mucus laiteux	Pigmentation terne ¹ Mucus opaque
Œil	Convexe (bombé) Cornée transparente Pupille noire, brillante	Convexe et légèrement affaissé Cornée légèrement opalescente Pupille noire, ternie	Plat Cornée opalescente Pupille opaque	Concave au centre ¹ Cornée laiteuse Pupille grise
Branchies	Couleur brillante Pas de mucus	Moins colorées Traces légères de mucus clair	Se décolorant Mucus opaque	Jaunâtre ¹ Mucus laiteux
Chair (coupure dans l'abdomen)	Bleuâtre, translucide, lisse, brillante Sans aucun changement de coloration originale	Veloutée, cireuse, feutrée Couleur légèrement modifiée	Légèrement opaque	Opaque ¹
Couleur le long de la colonne vertébrale	Pas de coloration	Légèrement rose	Rose	Rouge ¹
Organes	Reins et résidus d'autres organes rouge brillant, de même que le sang à l'intérieur de l'aorte	Reins et résidus d'autres organes rouge mat, sang se décolorant	Reins, résidus d'autres organes et sang rouge pâle	Reins, résidus d'autres organes et sang brunâtre ¹
État				
Chair	Ferme et élastique Surface lisse	Élasticité diminuée	Légèrement molle (flasque), élasticité diminuée Surface cireuse (veloutée) et ternie	Molle flasque ¹ Écaille se détachant facilement de la peau : surface granuleuse
Colonne vertébrale	Se brise au lieu de se détacher	Adhérente	Peu adhérente	Non adhérente ¹
Péritoine	Adhérent totalement à la chair	Adhérent	Peu adhérent	Non adhérent ¹
Odeur				
Branchies, peau, cavité abdominale	Algue marine	Ni d'algue, ni mauvaise	Légèrement aigre	Aigre ¹

1 : Ou dans un stade d'altération plus avancé.

Barème de cotation – Fraîcheur – CEE

Annexes

Annexe 3 : Tailles d'échantillons (n) nécessaires pour obtenir des résultats significatifs en fonction des valeurs moyennes de cortisol attendues d'après la bibliographie et certaines valeurs hypothétiques déduites. # : indique les hypothèses statistiques.

Valeurs attendues	Écart type (cv : coefficient de variation)	$d = \mu_1 - \mu_2 $	Écart type commun σ (Ecart Type supposés à ce stade d'hypothèse)	Risque de première espèce α	Puissance 1 - β	Nature du test	n = ?
#Différence significative életronarcose 1 et Ikejime 3 dans l'hypothèse où l'Ikejime provoque une libération de cortisol égale à l'abattage percussif d'après Abidi et al. (2002) ^[212] (μ_2).							
$\mu_1 = 94$ ng/mL $\mu_3 = \mu_2 = 20$ 4 ng/mL	$\pm 59,3$ $\pm 113,2$ (soit cv $\approx 0,5$)	110	86,25	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 13 n2 = 13
#Différence significative életronarcose 1 et Ikejime 3 dans l'hypothèse où l'Ikejime provoque une libération de cortisol (μ_3) < μ_2 de l'abattage percussif.							
$\mu_1 = 94$ ng/mL $\mu_3 = 150$ ng/mL	$\pm 59,3$ ± 75	56	67,15	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 31 n3 = 31
#Différence significative Ikejime 3 et asphyxie 4 dans l'hypothèse où l'Ikejime provoque une libération de cortisol (μ_3) < μ_2 de l'abattage percussif et où l'asphyxie (μ_4) $\approx 1,25$ fois l'abattage percussif (μ_2).							
$\mu_4 = 250$ ng/mL $\mu_3 = 150$ ng/mL	± 125 ± 75	100	100	0,05	0,90	Bilatéral	n4 = 22 n3 = 22
#Différence significative Ikejime 2 et asphyxie 4 dans l'hypothèse où l'Ikejime provoque une libération de cortisol égale à l'abattage percussif d'après ABIDI et al., 2021 (μ_2) et asphyxie 2 fois plus.							
$\mu_2 = 204$ ng/mL $\mu_4 = 400$ ng/mL	si cv 0,5 \Rightarrow $\pm 113,2$ ± 200	196	156,6	0,05	0,90	Bilatéral	n2 = 14 n4 = 14
#Différence significative Ikejime 2 et asphyxie 4 dans l'hypothèse où l'Ikejime provoque une libération de cortisol égale à l'abattage percussif ^[212] (μ_2) et asphyxie 4 fois plus.							
$\mu_2 = 204$ ng/mL $\mu_4 = 800$ ng/mL	si cv 0,5 \Rightarrow ± 102 ± 400	596	251	0,05	0,90	Bilatéral	n2 = 4 n4 = 4
#Différence significative életronarcose 1 et asphyxie 4 dans l'hypothèse où l'asphyxie libère μ_4 de cortisol sanguin.							
$\mu_1 = 94$ ng/mL $\mu_4 = 800$ ng/mL	si cv 0,5 \Rightarrow $\pm 59,3$ ± 400	706	170,4	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 2 n4 = 2
Test de nombreuses valeurs hypothétiques pour vérifier l'hypothèse : « μ_1 est significativement différent de μ_2 ».							
$\mu_1 = 50$ ng/mL $\mu_2 = 75$ ng/mL	± 25 $\pm 37,5$	25	31,25	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 33 n2 = 33

Annexes

Valeurs attendues	Écart type (cv : coefficient de variation)	$d = \mu_1 - \mu_2 $	Écart type commun σ (Ecart Type supposés à ce stade d'hypothèse)	Risque de première espèce α	Puissance $1 - \beta$	Nature du test	n = ?
$\mu_1 = 50$ ng/mL $\mu_2 = 100$ ng/mL	± 25 ± 50	50	37,5	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 12 n2 = 12
$\mu_1 = 50$ ng/mL $\mu_2 = 150$ ng/mL	± 25 ± 75	100	50	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 6 n2 = 6
$\mu_1 = 350$ $\mu_2 = 550$	$\pm 87,5$ ± 275	200	159,38	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 14 n2 = 14
$\mu_1 = 350$ $\mu_2 = 450$	$\pm 87,5$ ± 225	100	156,25	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 52 n2 = 52
$\mu_1 = 350$ $\mu_2 = 400$	$\pm 87,5$ ± 200	50	143,75	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 174 n2 = 174
$\mu_1 = 600$ $\mu_2 = 650$	± 300 ± 325	50	312,5	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 821 n2 = 821
$\mu_1 = 600$ $\mu_2 = 700$	± 300 ± 350	100	325	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 222 n2 = 222
$\mu_1 = 600$ $\mu_2 = 750$	± 300 ± 375	150	337,5	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 107 n2 = 107
$\mu_1 = 600$ $\mu_2 = 800$	± 300 ± 400	200	350	0,05	0,90	Bilatéral	n1 = 65 n2 = 65
$\mu_1 = 600$ $\mu_2 = 900$	± 300 ± 450	300	375	0,05	0,9	Bilatéral	n1 = 33 n2 = 33

Lucas DARMANCOURT

L'IKEJIME : ÉTAT DES LIEUX ET APPORTS DE CETTE MÉTHODE D'ABATTAGE POUR L'ACCEPTABILITÉ DE LA MISE À MORT DES POISSONS

THE IKEJIME: STATE OF PLAY AND CONTRIBUTIONS OF THIS SLAUGHTER METHOD TO THE ACCEPTABILITY OF FISH KILLING

Thèse d'État de Doctorat Vétérinaire : Nantes, le 16/12/2022

RÉSUMÉ :

La prise en compte de plus en plus importante de la question du bien-être animal et les scandales de maltraitance en abattoir ont interrogé l'acceptabilité des méthodes d'abattage des animaux. En dépit d'un statut socio-zoologique peu enviable et de carences législatives importantes le poisson bénéficie également de cette réflexion sur les méthodes d'abattage. L'Ikejime est une méthode japonaise ancestrale de mise à mort du poisson. Importée en France par quelques passionnés, elle se développe depuis les années 2010. Les utilisateurs de cette méthode revendiquent qu'elle limiterait la souffrance et améliorerait la qualité du poisson. Nous nous sommes interrogés quant à ses bénéfices comparés avec les méthodes d'abattage qu'elle remplace pour partie, l'asphyxie, ou qui sont reconnues comme limitant la souffrance, la commotion et l'électronarcose. La bibliographie plaide pour une amélioration du bien-être au moment de l'abattage via l'Ikejime, avec une induction rapide de l'inconscience et un stress physiologique réduit. Notre essai expérimental sur la technique complète (décérébration et démyélinisation), très peu étudiée dans la littérature, a confirmé que les marqueurs du stress que sont les lactates et le glucose plasmatiques sont diminués par rapport à l'asphyxie sur glace (respectivement $-8,13 (\pm 0,679)$ mmol/L et $-0,429 (\pm 0,0639)$ g/L p-value $<0,001$). La bibliographie suggère une amélioration de qualité de la viande par l'Ikejime mais notre expérimentation n'a pas permis de conclure. En parallèle des travaux expérimentaux, la diffusion d'un questionnaire nous a montré la diversité des pratiques de cette méthode nouvelle dans une filière qui reste à structurer en France.

MOTS CLÉS :

- POISSON
- ABATTAGE
- IKEJIME
- BIEN-ÊTRE ANIMAL
- QUALITÉ DE LA VIANDE
- AQUACULTURE
- PÊCHE

DATE DE SOUTENANCE : 16 décembre 2022