



**HAL**  
open science

# Étude de l'état de conservation de la truite arc-en-ciel (filet ou entier) en fonction de la méthode d'abattage : IKEJIME versus électrocution

Anthony Bergeot

► **To cite this version:**

Anthony Bergeot. Étude de l'état de conservation de la truite arc-en-ciel (filet ou entier) en fonction de la méthode d'abattage : IKEJIME versus électrocution. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04771083

**HAL Id: dumas-04771083**

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04771083v1>

Submitted on 7 Nov 2024

**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.

**Oniris - École Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation**

---

ANNEE 2024 - Thèse n° 57

**ÉTUDE DE L'ÉTAT DE CONSERVATION DE LA TRUITE  
ARC-EN-CIEL (FILET OU ENTIER) EN FONCTION DE LA  
MÉTHODE D'ABATTAGE : IKEJIME VERSUS  
ÉLECTROCUTION**

**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 20 septembre 2024

par

**Anthony, Fabien BERGEOT**

Sous la direction de

**Madame Ségolène CALVEZ**

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

Membres du jury : **Madame Marie-France PILET**, Professeure à Oniris

**Madame Ségolène CALVEZ**, Professeure à Oniris

## Membres du corps enseignant



### Département **BPSA** Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment

Responsable : **Emmanuel JAFFRES** – Adjointe : **Frédérique NGUYEN**

Pharmacologie et Toxicologie	Jean-Claude DESFONTIS (Pr) Yassine MALLEM (Pr) Hervé POULIQUEN (Pr)	Antoine ROSTANG (MC) Meg-Anne MORICEAU (CERC) Martine KAMMERER (Pr émérite) Marc GOGNY (Pr émérite)
Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire	Jean-Marie BACH (Pr) Lionel MARTIGNAT (Pr) Julie HERVE (MC HDR) Grégoire MIGNOT (MC)	Solenn GAVAUD (CERC)
Histologie et anatomie pathologique	Marie-Anne COLLE (Pr) Jérôme ABADIE (MC)	Laetitia JAILLARDON (MC) Frédérique NGUYEN (MC)
Biochimie alimentaire industrielle	Carole PROST (Pr) Joëlle GRUA (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) Quentin PRUVOST (CEC)
PACENV = VET1	Eléonore BOUGUYON (PRAG) Nicolas BROSSAUD (PRAG)	Charlotte MOCQUARD (PRAG) Aurore CALVEL (PRAG)

### 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)	Juan Manuel ARIZA CHACON (MC) Ségolène CALVEZ (Pr) Aurélien MADOUASSE (MC) Nora NAVARRO-GONZALEZ (MC)
Infectiologie	Alain CHAUVIN (Pr) Emmanuelle MOREAU (Pr) Nathalie RUVOEN-CLOUET (Pr) Pauline MAISONNASSE (CERC)	Albert AGOULON (MC) Suzanne BASTIAN (MC) Léa LOISEL (AERC) Kenny OBERLE (MC) Nadine RAVINET (MC)

Médecine des animaux d'élevage	Catherine BELLOC (Pr) Christophe CHARTIER (Pr émérite) Raphaël GUATTEO (Pr) Anne RELUN (MC)	Sébastien ASSIE (MC) Isabelle BREYTON (MC) Mily LEBLANC MARIDOR (MC) Maud ROUAULT (AERC)
Hygiène et qualité des aliments	Jean-Michel CAPPELLIER (Pr) Louis DELAUNAY (MC) Bruno LE BIZEC (Pr) Marie-France PILET (Pr)	Sofia STRUBBIA (MC)

## Département **DSC** Sciences cliniques

Responsable : **Catherine IBISCH** – Adjoint : **Marion FUSELLIER**

Anatomie comparée	Eric BETTI (MC) Claude GUINTARD (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) Claire DEFOURMSTRAUX (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Jacques GUILLOT (Pr) Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass)	Sabrina VIEU (AERC) Maria Dolores SANCHEZ (AERC)
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 (Pr) Catherine IBISCH (MC) Aurélia LEROUX (MC) Odile SENECAAT (MC)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Jean-François BRUYAS (Pr) François FIENI (Pr)	Djemil BENCHARIF (Pr) Lamia BRIAND (Pr)

## 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 (Pr) Emilie KORBEL (MC)	Jean-Yves MONTEAU (MC HDR) Eve-Anne NORWOOD (MC) Raphaël PORYLES (MC) Laurence POTTIER (MC) Cyril TOUBLANC (MC)
PAC-ING	Cyril Gaillard (PCEA)	

## 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) Jean-Michel GALHARRET(MC stagiaire)	Véronique CARIOU (Pr) Benjamin MAHIEU (MC) Michel SEMENOU (MC)
Economie, gestion, législation	Jean-Marc FERRANDI (Pr) Pascal BARILLOT (MC) Ibrahima BARRY (MC) Florence BEAUGRAND (MC)	Sibylle DUCHAINE (MC) Sonia MAHJOUB (MC) Samira ROUSSELIERE (MC) Christophe PAPINEAU (Ens. Cont.)
Langues et communication	Marc BRIDOU (PLPA) David GUYLER (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 : Professeur, MC : Maître de Conférence, 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 : BERGEOT Anthony, Fabien
- Année de soutenance : 2024
- Titre de la thèse : Étude de l'état de conservation de la truite arc-en-ciel (filet ou entier) en fonction de la méthode d'abattage : IKEJIME versus ÉLECTROCUTION
- 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 : 112 p.

# Remerciements

*À mon jury,*

Aux Professeurs Jean-Michel Cappelier et Marie-France PILET, Professeurs à Oniris pour me faire l'honneur d'avoir accepté de participer à ce Jury.

À Madame Ségolène Calvez, Professeure à Oniris pour son aide, sa disponibilité, sa sympathie et sa bienveillance lors de l'encadrement de ma thèse.

*Pour leurs contributions à ce travail,*

À l'équipe APPIFISH, M. Lionel Pineau, M<sup>me</sup> Florine Bachelet, M<sup>me</sup> Céline David, pour leur aide dans la réalisation des expérimentations, autant sur la logistique que sur l'analyse des données.

À M. Kévin Crouvisier-Urien, Maître de conférences à Oniris au département Génie des Procédés Alimentaires, pour la réalisation des mesures de texture, ses échanges et sa disponibilité.

À M<sup>me</sup> Claire Guyon, Ingénieure d'étude à Oniris, pour son accompagnement et sa participation à l'étude de l'oxydation.

À M. Jérôme Abadie, Maître de conférence à Oniris, pour son aide dans la réalisation de l'analyse histologique et la mise en place du protocole.

À M. Kenny Oberlé, Maître de conférences à Oniris, pour son accompagnement lors de l'analyse bactériologique.

À M<sup>me</sup> Nadine Brisseau et M<sup>me</sup> Anne Lehebel, statisticienne à Oniris, pour leur aide indispensable dans la réalisation de l'étude statistique.

À M. Clément CATANÉO, Maître de conférence à Oniris, pour ses échanges autour de l'analyse sensorielle.

Aux enseignants, salariés et étudiants d'Oniris ayant réalisé l'analyse sensorielle des filets de truites.

À ma maman, pour avoir bien voulu relire mon manuscrit avec minutie.

# Table des matières

<b>Membres du corps enseignant .....</b>	<b>2</b>
<b>Mentions légales.....</b>	<b>5</b>
<b>Remerciements .....</b>	<b>6</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>7</b>
<b>Table des annexes .....</b>	<b>10</b>
<b>Table des figures.....</b>	<b>11</b>
<b>Table des tableaux .....</b>	<b>13</b>
<b>Table des abréviations .....</b>	<b>14</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>15</b>
<b>Partie 1 - Étude bibliographique : état des lieux sur les méthodes d'abattage et de conservation, quels outils diagnostics de la fraîcheur ?.....</b>	<b>17</b>
<i>A. État des lieux des différentes méthodes d'abattage.....</i>	<i>17</i>
1. Commotion cérébrale .....	17
2. Asphyxie sur glace .....	17
3. Asphyxie au CO <sub>2</sub> .....	18
4. Électrocution .....	18
5. Ikejime.....	18
6. La saignée .....	19
7. Anesthésie .....	20
<i>B. La conservation du poisson .....</i>	<i>20</i>
1. Méthodes de conservation .....	20
a) Sur glace.....	21
b) Sous vide .....	21
c) Sous atmosphère modifiée .....	21
<i>C. Mécanisme d'altération du poisson .....</i>	<i>21</i>
1. Altération autolytique .....	22
2. Altération bactériologique .....	23
<i>D. Outils d'évaluation de la fraîcheur du poisson .....</i>	<i>23</i>
1. Analyse sensorielle.....	23
a) Tests descriptifs.....	24
Indice de qualité .....	24
Échelle structurée .....	24
Profil.....	25
b) Test discriminatif.....	26
Essai de comparaison par pair .....	26
Test triangulaire .....	26
Épreuve de classement .....	26
2. Colorimétrie .....	26
3. Évaluation texturale.....	28
a) Méthodes de compression.....	28
b) Cisaillement .....	29

c) Traction .....	30
4. <i>Rigor mortis</i> et pH.....	31
5. Bactériologie .....	32
6. Histologie.....	34
7. Phénomènes oxydatifs .....	34
<b>Partie 2 – Étude expérimentale : comparaison des techniques d’abattage, ikejime et électrocution, sur la conservation du poisson .....</b>	<b>36</b>
<b>I. Matériel et méthode .....</b>	<b>36</b>
A. <i>Matériel biologique</i> .....	36
B. <i>Procédure d’abattage et conservation</i> .....	36
1. Capture du poisson.....	36
2. Mise à mort .....	36
a) Ikejime .....	37
b) Électrocution .....	37
c) Saignée .....	38
d) Éviscération .....	38
3. Conservation.....	38
a) Post mortem immédiat.....	38
b) Méthode de conservation .....	39
Poissons entiers ou filets .....	39
Température.....	40
4. Répartition des échantillons.....	40
C. <i>Récolte des données</i> .....	40
1. Période de prélèvement.....	40
2. Analyse sensorielle.....	41
a) Description du panel .....	41
b) Environnement .....	41
c) Paramètres étudiés .....	41
Cotation fraîcheur.....	41
Essai de comparaison par paire .....	42
3. Colorimétrie .....	42
4. Analyse texturale .....	43
a) TPA : profil d’analyse texturale.....	43
b) Force de cisaillement.....	44
5. Mesure de pH .....	44
6. Bactériologie .....	44
a) Bactéries étudiées .....	44
b) Prélèvement .....	44
c) Ensemencement et incubation .....	45
Flore totale.....	45
Aeromonas spp.....	45
Pseudomonas spp .....	46
Shewanella putrefaciens .....	46
Bactéries lactiques .....	46
d) Identification MALDI-TOF .....	47
7. Histologie.....	47
8. Oxydation lipidique : mesure des TBARS .....	50
D. <i>Analyse statistique</i> .....	51
1. Analyse univariée.....	51
2. Analyse multivariée : ACP et CAH.....	52
<b>II. Résultats .....</b>	<b>53</b>
A. <i>Analyse sensorielle</i> .....	53

1.	Grille de cotation fraîcheur.....	53
2.	Essai de comparaison par paire.....	56
<i>B.</i>	<i>Colorimétrie</i> .....	59
<i>C.</i>	<i>Analyse texturale</i> .....	61
1.	TPA : profil d'analyse texturale.....	61
a)	Dureté.....	61
b)	Collant.....	62
c)	Cohésion.....	62
2.	Force de cisaillement.....	63
<i>D.</i>	<i>Évaluation du pH</i> .....	65
<i>E.</i>	<i>Bactériologie</i> .....	66
a)	Flore totale (PCA).....	67
b)	Aeromonas spp (GSP).....	68
c)	Pseudomonas spp (CFC).....	68
d)	Shewanella putrefaciens (SS).....	68
e)	Bactéries lactiques (MRS) .....	68
f)	Identification MALDI-TOF .....	68
<i>F.</i>	<i>Histologie</i> .....	69
1.	Analyse structurelle.....	69
2.	Analyse cellulaire.....	70
<i>G.</i>	<i>Oxydation lipidique</i> .....	73
<i>H.</i>	<i>Analyse statistique multivariée : ACP et CAH</i> .....	75
<b>III.</b>	<b>Discussion</b> .....	<b>81</b>
<i>A.</i>	<i>Analyse sensorielle</i> .....	81
1.	Grille de cotation.....	81
2.	Essai de comparaison par paire.....	82
<i>B.</i>	<i>Colorimétrie</i> .....	82
<i>C.</i>	<i>Analyse texturale</i> .....	84
1.	TPA : profil d'analyse texturale.....	84
a)	Dureté.....	84
b)	Collant.....	84
c)	Cohésion.....	85
2.	Force de cisaillement.....	85
<i>D.</i>	<i>pH</i> .....	86
<i>E.</i>	<i>Bactériologie</i> .....	87
<i>F.</i>	<i>Histologie</i> .....	89
1.	Analyse structurelle.....	89
2.	Analyse cellulaire.....	90
<i>G.</i>	<i>Oxydation lipidique</i> .....	91
<i>H.</i>	<i>Analyse statistique multivarié</i> .....	92
<b>IV.</b>	<b>Conclusion</b> .....	<b>93</b>
	<b>Bibliographie</b> .....	<b>94</b>
	<b>Annexes</b> .....	<b>109</b>

## Table des annexes

<b>Annexe 1</b> : grille de cotation fraicheur inspirée de ©Cappelier Jean-Michel, TD inspection des poissons. Unité Hygiène et Qualité des Aliments Oniris, 4ème année clinique séquence HQA .....	109
<b>Annexe 2</b> : Atlas d'évaluation de la fraicheur du poisson .....	110
<b>Annexe 3</b> : tableau du nombre de dilutions réalisées en fonction du jour d'analyse et de la gélose utilisée .....	112

## Table des figures

Figure 1 : Schéma de la méthode ikejime (décérébration et démyélinisation), Darmancourt et al. 2022.....	19
Figure 2 : Modification de la qualité sensorielle du poisson, Huss 1999.....	22
Figure 3 : exemple de profil sensoriel réalisé sur des bars abattus par ikejime, (Fru = Filet cru) FranceAgriMer 2019.....	25
Figure 4 : Cartographie SalmoFan™, ©2024 dsm-firmenich.....	27
Figure 5 : représentation graphique du système CIELAB, © X-Rite.....	27
Figure 6 : exemple de mesure de TPA sur un filet de truite.....	29
Figure 7 : photo du dispositif de mesure de la force de traction chez le poisson, Ashton et al. 2010.....	30
Figure 8 : schéma de l'organisation et répartition de la musculature sur une coupe transversale de truite, Listrat et al. 2015.....	31
Figure 9 : Relation entre le pH initial et le délai d'apparition de la rigor mortis pour des poissons "reposés" (rond vide), "partiellement stressés" (triangle) et "épuisés" (rond plein) abattus par ikejime, Jerrett, Holland 1998.....	32
Figure 10 : filet de truite altéré par le câble de démyélinisation (flèche blanche).....	37
Figure 11 : cuve à électrocution (FIAP profiwork Fish Stunner).....	38
Figure 12 : répartition du nombre de truites par méthode d'abattage et de conservation à un jour d'analyse.....	39
Figure 13 : répartition des morceaux de filet (droit) par méthode d'analyse.....	40
Figure 14 : exposition des filets de truite lors de l'analyse sensorielle, portion manipulable par l'évaluateur indiqué par une (*).....	41
Figure 15 : mesure colorimétrique d'un filet de truite à l'aide d'un spectrophotomètre.....	42
Figure 16 : répartition des zones de mesure de texture : TPA représenté par les cercles blanc et cisaillement par les lignes blanches.....	43
Figure 17 : mesure de TPA sur une truite à l'aide d'un TA-XT+®.....	43
Figure 18 : mesure de pH sur un filet de truite.....	44
Figure 19 : planche de classification lésionnelle de lames histologiques du muscle de la truite à différents stades de conservation, (H) cellule en hypercontraction, (R) rupture cellulaire, (*) tissu conjonctif, (flèche) décollement des myofibrilles au tissu conjonctif.....	49
Figure 20 : artéfact de coupe sur des lames histologiques de muscle de truite, (A) artéfacts liés à la proximité des écailles, (B) artéfact de bord de lame, (e) écailles, (flèche) zone de rupture et/ou d'hypercontraction.....	50
Figure 21 : Boxplots de l'évolution moyenne de la cotation fraîcheur et de la couleur des filets au cours de la conservation.....	53
Figure 22 : Boxplots de la moyenne des coefficients de variation de la cotation et de la couleur au cours de la conservation.....	54
Figure 23 : évolution moyenne de la cotation au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation, écarts types représentés par des barres d'erreur.....	55
Figure 24 : répartition de la cotation en fonction de la couleur des filets à chaque jour d'analyse, représentation de la droite de régression linéaire en noir.....	55
Figure 25 : répartition de la différence de couleur entre deux filets en fonction du choix des panelistes à chaque jour d'analyse lors de la comparaison par paire, droite de régression linéaire en noir.....	56
Figure 26 : évolution de la couleur moyenne des filets de poisson dans le système CIELAB au cours de la conservation.....	60

Figure 27 : évolution de la dureté des filets au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation .....	61
Figure 28 : évolution du collant au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation.....	62
Figure 29 : évolution de la cohésion au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation.....	63
Figure 30 : évolution de la tendreté au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation.....	64
Figure 31 : répartition des pH des muscles ventraux et dorsaux chez la truite avec la droite de régression linéaire (vert) et la droite $y = x$ (pointillé rouge) .....	65
Figure 32 : évolution moyenne du pH musculaire au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation écarts types représentés par des barres d'erreur .....	66
Figure 33 : dénombrement bactérien au cours de l'analyse en fonction de la méthode d'abattage et de la conservation.....	67
Figure 34 : évolution du pourcentage de contraction de myofibres au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation .....	71
Figure 35 : évolution du pourcentage de rupture de myofibres cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation .....	72
Figure 36 : évolution de la teneur en MDA cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation.....	73
Figure 37 : répartition de la teneur en MDA des filets de truites en fonction de leur couleur a*, droite de régression linéaire en vert .....	74
Figure 38 : répartition graphique des variables à J1 selon 2 dimensions avec l'ACP .....	75
Figure 39 : dendrogramme de la classification hiérarchique à J1, les 2 clusters sont matérialisés par des rectangles noirs et rouges.....	75
Figure 40 : répartition graphique des variables à J5 selon 2 dimensions avec l'ACP .....	76
Figure 41 : dendrogramme de la classification hiérarchique à J5, les 2 clusters sont matérialisés par des rectangles noirs et rouges.....	77
Figure 42 : répartition graphique des variables à J12 selon 2 dimensions avec l'ACP .....	78
Figure 43 : dendrogramme de la classification hiérarchique à J12, les 2 clusters sont matérialisés par des rectangles noirs et rouges.....	78
Figure 44 : répartition graphique des variables à J19 selon 2 dimensions avec l'ACP .....	79
Figure 45 : dendrogramme de la classification hiérarchique à J19, les 2 clusters sont matérialisés par des rectangles noirs et rouges.....	80

## Table des tableaux

Tableau I : exemple de grille de cotation fraicheur chez le bar © NormandieFraicheurMer ..	24
Tableau II : exemple d'échelle structurée lors de l'analyse sensorielle du poisson cuit, Huss 1999 .....	25
Tableau III : flore bactérienne du poisson d'après Huss 1999.....	32
Tableau IV : gélose et incubation utilisées en fonction de la bactérie recherchée.....	47
Tableau V : grille de classification histologique de l'altération structurelle du muscle de la truite .....	48
Tableau VI : choix de l'ensemble des panelistes lors de l'essai de comparaison par pair à chaque jour d'analyse. Différences significatives notées en rouges. ....	58
Tableau VII : dureté moyenne et écart-type des filets à J12 selon l'état de conservation.....	62
Tableau VIII : gradation de l'espacement entre les myofibres en fonction du jour d'analyse et de la méthode d'abattage .....	69
Tableau IX : gradation du détachement des myofibres au tissu conjonctif en fonction du jour d'analyse et de la méthode d'abattage.....	71

## Table des abréviations

ABA : Ampicillin blood agar

ATP : Adenosine triphosphate

CFC : Cefrimide fusidin cephaloridine

CIELAB : Commission internationale d'éclairage dans le système L\*,a\*,b\*

CIN : Cefsulodin irgasan novobiocin

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

EL : Électrocution

EL\_Entier : Poisson abattu par électrocution et conservé entier

EL\_Filet : Poisson abattu par électrocution et conservé en filet

Fmax : Force appliquée afin d'obtenir une compression de 50%

GSP : Glutamate starch phenol red

H<sub>2</sub>S : sulfure d'hydrogène

IGEDD : Inspection générale de l'Environnement et du Développement durable

IK : Ikejime

IK\_Entier : Poisson abattu par ikejime et conservé entier

IK\_Filet : Poisson abattu par ikejime et conservé en filet

IMP : Inosine monophosphate

LHA : Laboratoire d'histopathologie animale

MALDI-TOF : Désorption-ionisation laser assistée par matrice, de l'anglais Matrix assisted laser desorption ionization - Time of flight

MDA : Malondialdéhyde

mL : Millilitre

MRS : Man, rogosa and sharpe

PCA : Plate Count Agar

SS : Salmonella Shigella

TBARS : Thiobarbituric Acid Reactive Substances

TMOA : Oxyde d'azote de triméthylamine

TMA : Triméthylamine

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

TSA : Tryptone Soja Agar

TSB : Tryptic Soy Broth

UFC : unite formant colonie

XGA : Xylose galactosidase agar

## Introduction

La filière piscicole mondiale connaît une forte croissance depuis une vingtaine d'années. La quantité de poissons consommés, issus de l'aquaculture, représente presque la moitié de la consommation totale de poissons. Malgré cela, la production française stagne depuis environ quinze ans au vu de la forte concurrence internationale et en raison de freins écologiques et sociétaux. Elle représente moins de 1% de la production mondiale (IGEDD France). C'est pourquoi il est important de dynamiser la filière. La maîtrise de la conservation du poisson n'est pas toujours évidente et c'est un point important dans le développement des filières piscicoles. En effet, la conservation est moins facile que celle de la viande, la chair est plus molle et se dégrade plus rapidement (Zulema et al. 2010). Certains outils, tels que la mise sous vide ou sous atmosphère modifiée, permettent de prolonger cette durée de conservation mais cela nécessite des moyens techniques.

Il semblerait que la méthode d'abattage ait un impact sur la qualité des filets et sur leur conservation. L'ikejime, une méthode de mise à mort ancestrale japonaise, est arrivée en France il y a quelques années. Cette pratique consiste à effectuer une mise à mort rapide et peu stressante via une décérébration et une démyélinisation, soit une destruction du cerveau et de la moelle épinière respectivement. D'après un rapport de FranceAgriMer (2019), cette pratique apporterait une plus-value au filet de poisson. En effet de par les meilleures qualités organoleptiques et l'augmentation de la durée de conservation que peut apporter cette méthode, le prix du poisson augmente jusqu'à 30%, voire plus, lors de vente à des restaurateurs.

La technique de mise à mort utilisée est un point important pour la vente du poisson. Certaines pratiques peuvent engendrer une décoloration diffuse de la chair, l'apparition de spots rouges ou encore une mauvaise tenue du filet, ce qui rend le poisson non commercialisable (Olsen et al. 2006; Johnston 2008). Ainsi, une bonne maîtrise de l'abattage permet d'augmenter les rendements de production. La valorisation du produit dans laquelle s'inscrit l'usage de la méthode ikejime, associée au respect de la protection animale, pourrait aider la filière piscicole à parer certains freins sociétaux qu'elle rencontre.

En revanche, le peu d'études sur le sujet ne permet pas d'affirmer avec certitude que cette pratique favorise la conservation au cours du temps. Certaines études mettent en évidence une meilleure texture et la présence d'un goût umami (FranceAgriMer 2019) alors que d'autres ne montrent aucune différences (Tejada, Huidobro 2002; Sorensen et al. 2004; Salazar Duque et al. 2019). Il est clair que de nouvelles études sur le sujet sont nécessaires afin de mieux comprendre l'impact de cette méthode sur l'état de conservation de la chair de poisson.

Notre étude porte sur la comparaison de l'état de conservation de la chair de truite arc-en-ciel entre deux méthodes d'abattage. L'ikejime a été comparé à une méthode souvent utilisée en aquaculture au regard de sa rapidité d'exécution et de son respect de la protection animale : l'électrocution. Certains poissons ont été conservés en filets ou entiers afin de voir si la méthode d'abattage impactait préférentiellement l'un ou l'autre des états de conservation. Nous avons cherché à démontrer que l'ikejime conférait aux filets de poisson des meilleures qualités physico-chimiques au cours de la conservation. De nombreux paramètres ont été mesurés tels

que le pH, la texture, l'oxydation etc... Cette étude expérimentale sera précédée d'une courte partie bibliographique reprenant de façon non exhaustive les différentes méthodes d'abattage, les moyens de conservation ainsi que les outils d'évaluation de la qualité chez le poisson.

# Partie 1 - Étude bibliographique : état des lieux sur les méthodes d'abattage et de conservation, quels outils diagnostics de la fraîcheur ?

## A. État des lieux des différentes méthodes d'abattage

Divers procédés permettent d'induire la mort d'un poisson. L'une ou l'autre des méthodes d'abattage sera préférée en fonction de nombreux paramètres : rapidité d'exécution, accessibilité du matériel, diminution du stress, respect de la protection animale, ou encore amélioration des qualités de conservation de la chair. Voici une liste des différentes techniques de mise à mort que l'on peut retrouver dans le milieu aquacole et leurs avantages.

### 1. Commotion cérébrale

La commotion cérébrale est une technique d'abattage qui consiste à appliquer un coup en regard du cerveau du poisson à l'aide d'une matraque. Ce choc va entraîner une perte de conscience transitoire ou définitive s'il est bien réalisé. La commotion est considérée selon certains comme le procédé respectant le mieux la protection animale (Roth et al. 2006). En revanche, si le premier coup a échoué, il peut faire souffrir l'animal et abîmer la carcasse (Boaru et al. 2022). Afin d'éviter les erreurs mais aussi d'éventuelles blessures de l'opérateur, il est possible d'automatiser cette méthode sur les poissons de gros calibre (Concollato 2014). Cette technique n'est pas applicable à l'ensemble des poissons. En effet, certaines espèces comme la dorade ou l'anguille ont une conformation du crâne différente et peu adaptée. De ce fait, il est difficile d'appliquer une force suffisante pour induire l'état d'inconscience (Van De Vis et al. 2003).

### 2. Asphyxie sur glace

L'asphyxie sur glace est principalement utilisée lors de la pêche (capture halieutique) et en aquaculture marine. Une fois pêchés, les poissons sont disposés à l'air libre sur des bancs de glace. Cette méthode, des plus anciennes (Poli et al. 2005), a l'avantage de ne pas nécessiter de matériel spécifique et d'induire un refroidissement précoce pour la conservation. L'hypothermie causée au contact de la glace entraînerait une perte de l'état de conscience. En réalité, le choc thermique et la perte de conscience qui en découle ne sont possibles que sur des poissons de petit gabarit (Morzel et al. 2003). Par la suite, le manque d'oxygène causé par l'accolement des branchies à l'air libre provoque une asphyxie progressive. Le délai entre la sortie de l'eau et la mort de l'animal est très variable d'une espèce à l'autre, il peut aller de quelques minutes à plusieurs heures. La baisse de température induite par la glace va diminuer l'activité métabolique des poissons et augmenter le délai avant la mort (Diggles, Lantos 2012). Cette méthode d'abattage est très stressante pour l'animal et semble de nos jours éthiquement inacceptable (Boaru et al. 2022; Saraiva et al. 2024).

### 3. Asphyxie au CO<sub>2</sub>

Cette méthode d'abattage consiste à saturer l'eau avec du CO<sub>2</sub>. Elle est principalement utilisée en pisciculture afin d'abattre un grand nombre de poissons (Yue 2008). La substitution de l'O<sub>2</sub> par du CO<sub>2</sub> va entraîner un état de narcose chez le poisson. La narcose et l'asphyxie par manque d'O<sub>2</sub> sont obtenues au bout de quelques minutes (Gräns et al. 2016). Durant cette période, le poisson est conscient et subit un stress important qui se manifeste par une activité anormale et de violentes tentatives d'échappement (Poli et al. 2005). Même si l'état d'inconscience est obtenu plus rapidement que lors d'asphyxie sur glace, le stress induit par cette pratique ne semble pas éthiquement acceptable (Gilbert 2019; Boaru et al. 2022).

### 4. Électrocution

L'électrocution peut être réalisée à sec ou dans l'eau. Le maintien des poissons dans l'eau lors de l'électrocution permet de limiter le stress avant la mise à mort. La présence d'électrodes positionnés de chaque côté d'un bac permet d'induire un courant électrique dans l'eau. Ce courant va stimuler le système nerveux du poisson et engendrer un état d'inconscience (Boaru et al. 2022). Cet effet est réversible, le poisson est plongé dans un état de narcose. Si le champ électrique est maintenu assez longtemps et si le voltage est assez puissant, la procédure devient irréversible et entraîne la mort de l'animal. Il est important de trouver le bon équilibre entre l'intensité du courant et la durée d'application afin d'éviter l'apparition de lésions sur la chair du poisson (Morzel et al. 2003; Lines et al. 2003; Concollato 2014). Il est parfois difficile de savoir à partir de quel moment le décès de l'animal survient. L'arrêt des mouvements operculaires permet de s'en assurer (EFSA 2008). Étant donné la nécessité d'acquisition de matériel performant et d'infrastructures adéquates, cette méthode est principalement utilisée en pisciculture (Boaru et al. 2022).

### 5. Ikejime

L'ikejime est une technique de mise à mort ancestrale japonaise couramment utilisée en Asie (Saini 2017). Cette méthode est arrivée en France il y a quelques années mais reste encore très marginale (FranceAgriMer 2019). L'abattage est réalisé en deux étapes. La première consiste à introduire une pointe métallique (tekagi) dans la boîte crânienne dans le but de réaliser une décérébration via des mouvements pendulaires. Dès lors que la pointe entre en contact avec le cerveau, la mort du poisson est instantanée. Elle se manifeste par des brusques mouvements des nageoires puis un relâchement de l'ensemble du corps (Bennison 2000). La deuxième étape réside dans l'introduction d'une tige souple métallique au sein du canal vertébral. Des mouvements de va et vient sont réalisés afin d'assurer une parfaite démyélinisation. Le contact de la tige avec la moelle épinière va engendrer des spasmes caractéristiques lors de la bonne réalisation de l'abattage (HALIOCEAN-IVAMER 2019). Ces étapes sont résumées dans la figure 1 (Darmancourt et al. 2022). L'ikejime nécessite une bonne connaissance de l'anatomie du poisson, la position du cerveau diffère d'un poisson à l'autre. Si la pointe du tekagi n'est pas introduite au bon endroit, la mort recherchée ne sera pas induite et

le poisson ressentira de la douleur (Diggles 2016; Boaru et al. 2022). La formation à cette pratique est rapide mais nécessaire afin de s'assurer de sa bonne exécution (Sørensen 2005).

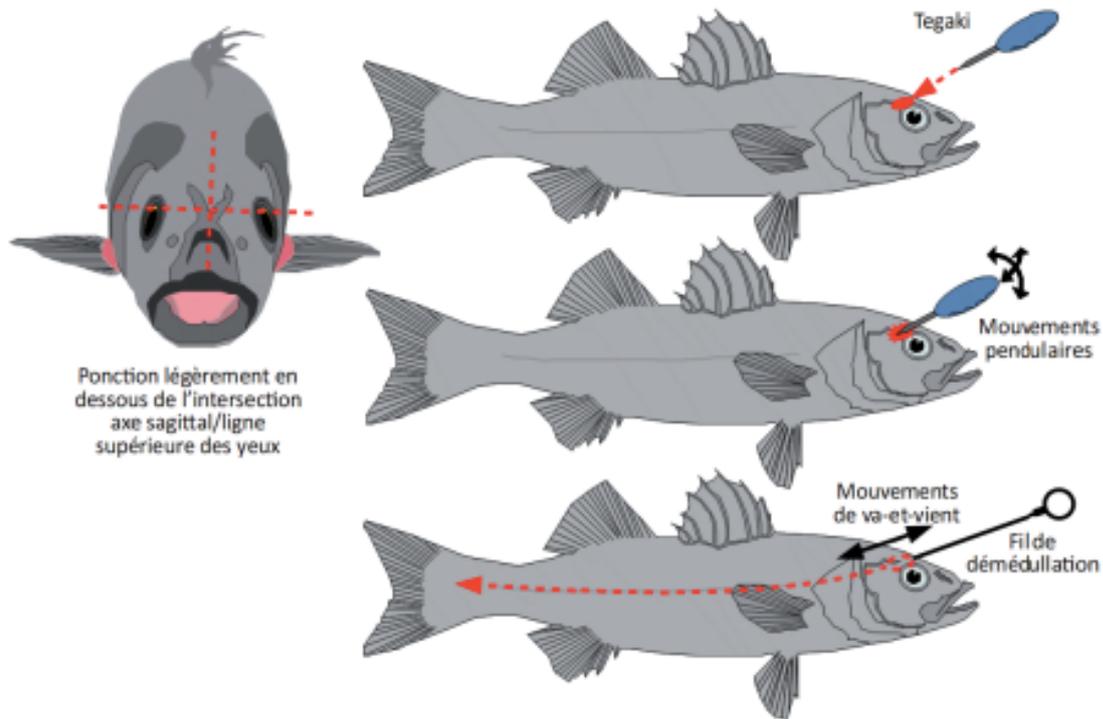


Figure 1 : Schéma de la méthode ikejime (décérébration et déméduation), Darmancourt et al. 2022

En plus de garantir une mise à mort rapide et efficace, cette technique est supposée apporter un goût umami et améliorer la qualité de la chair au cours de la conservation. De nombreuses pages web prônent la capacité cette méthode à transformer le goût du poisson et à offrir une meilleure maturation des filets au cours du temps (sites internet : *FRANCE IKEJIME*, © thejapanesefoodlab, *KILLSHOT Life*). Il est établi que cette méthode permet d'allonger le délai avant l'apparition de la *rigor mortis* grâce à une diminution du stress et au maintien des réserves en ATP du poisson (Harada 1988; EFSA 2004). Cette prolongation entre la mort et l'apparition de la *rigor mortis* facilite le traitement de la chair, mais ne fournit pas d'information sur la qualité intrinsèque des filets (Lowe et al. 1993). Très peu d'études scientifiques ont permis de prouver que l'ikejime apporte une réelle différence de goût et de qualité par rapport aux méthodes d'abattage conventionnelles (Naka 2016; FranceAgriMer 2019).

## 6. La saignée

La saignée d'un poisson peut être effectuée de plusieurs façons. La méthode la plus courante est de sectionner l'artère branchiale. Il est également possible de couper l'aorte en différents endroits : crânialement par rapport au cœur pour l'aorte ventrale ou caudalement à l'opercule pour l'aorte dorsale et également au niveau de la queue (Darmancourt et al. 2022).

L'éviscération permet aussi de saigner le poisson. Il semblerait même qu'il n'existe pas de différence significative entre l'éviscération et la section des artères branchiales (Roth et al. 2005). En revanche, le moment de la réalisation de la saignée est primordial. Plus elle est pratiquée rapidement après la mise à mort, plus elle est efficace (Olsen et al. 2014). La saignée en tant que technique de mise à mort n'est pas à utiliser en raison de la douleur infligée au poisson mais comme un complément pour les techniques décrites précédemment.

L'intérêt de la saignée réside dans une meilleure conservation des qualités de la chair du poisson mais elle fait aussi partie du processus de mise à mort. Certaines méthodes d'étourdissement, telles que la commotion ou l'électrocution, ne garantissent pas la mort de l'animal si elles sont mal réalisées. La réalisation de la saignée, à effectuer durant l'état d'inconscience du poisson, offre une mort certaine (Concollato 2014; Mood, Brooke 2019). En revanche, l'ikejime induit une mort rapide et incontestable. Dans ce contexte, la saignée permet uniquement de préserver les qualités organoleptiques de la chair. Elle permet, par exemple, de diminuer le niveau d'oxydation, de ralentir la croissance bactérienne ainsi que d'améliorer l'odeur et la couleur des filets (Olsen et al. 2014; Sterniša et al. 2018).

## 7. Anesthésie

L'anesthésie s'effectue via la dissolution de médicaments anesthésiques tel que la tricaine méthane sulfonate dans le bac des poissons (Beckman 2016). Cette procédure est non stressante et permet d'obtenir un état d'inconscience rapide (Bowman et al. 2019). Lorsque le produit anesthésique est surdosé ou que la durée de l'anesthésie est prolongée, celle-ci peut induire la mort de l'animal. Sur ce point, l'anesthésie semble être la méthode d'euthanasie la moins stressante, respectant le plus la protection animale. La commercialisation de ces poissons est néanmoins impossible en France étant donnée la présence de résidus médicamenteux (Topic Popovic et al. 2012; Gilbert 2019). Ceci fait de cette méthode un outil intéressant lors d'expérimentations animales en tant que témoin de marqueur de stress *ante-mortem* (Saraiva et al. 2024).

### B. La conservation du poisson

#### 1. Méthodes de conservation

Après la mise à mort, la température du poisson doit être abaissée entre 0 et 2°C afin de préserver une bonne conservation de sa chair. Plus le refroidissement est rapide et plus la conservation sera longue (Huss 1999; Sampels 2015).

Il est possible de retrouver sur le marché des poissons exposés entiers ou en filets. Une fois détachés du squelette, les filets vont mûrir différemment. Ceci va impacter la conservation de ces derniers (Skjervold et al. 2001; Roth et al. 2009; FranceAgriMer 2019). Par ailleurs, il est possible que le contact de la chair avec l'air favorise le développement bactérien, la production de composés basiques et l'oxydation (Chytiri et al. 2004; Duran et al. 2008). Il est cohérent que le filetage précoce modifie la durée de conservation.

Une fois abattu, les poissons ou les filets peuvent être emballer sous vide ou sous atmosphère modifiée afin d'augmenter la durée de conservation. La liste suivante est non exhaustive et d'autres procédés de conservation existent.

#### *a) Sur glace*

La conservation sur glace ou au réfrigérateur maintien les poissons à une température comprise entre 0 et 4°C. A ces températures, la croissance des bactéries psychrotrophes n'est pas stoppée mais ralentie (Sampels 2015). Dans ces conditions, la truite peut se conserver une dizaine de jours (Rezaei et al. 2007). En revanche, si la chaine du froid n'est pas respectée durant la totalité du transport ou de la conservation, cette durée peut drastiquement diminuer.

#### *b) Sous vide*

L'emballage sous vide consiste à empêcher le contact du poisson avec l'air. Dans ces conditions, le milieu devient anaérobie, ce qui limite le développement bactérien. Il possède aussi l'avantage d'apporter une résistance au produit, limitant sa déformation lors des manipulations (Patil et al. 2020). Cette méthode permet d'augmenter la durée de conservation de plusieurs jours mais reste moins efficace que l'utilisation d'atmosphère modifiée (Özogul et al. 2000; Özogul et al. 2004).

#### *c) Sous atmosphère modifiée*

Cette méthode de conservation consiste à introduire un mélange de gaz dans l'emballage afin de favoriser la conservation d'un produit. Au même titre que l'emballage sous vide, un mélange riche en CO<sub>2</sub> permet d'inhiber le développement de la flore aérobie. Chez le poisson, l'atmosphère est constituée d'un mélange CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>. Le ratio de ces gaz varie en fonction du type de poissons, en particulier de son taux de gras. Cette condition permet d'augmenter le temps de conservation de quelques jours à une semaine (Sampels 2015).

### C. Mécanisme d'altération du poisson

L'altération de la chair du poisson a lieu en 4 phases (figure 2). Elle commence par une baisse plus ou moins brutale de la qualité, un à deux jours après l'abattage. Au début de la conservation, c'est l'autolyse qui va engendrer les modifications de la qualité du produit. Ce mécanisme précoce impacte les deux premières phases de conservation. Puis, s'ensuit une période d'altération bactériologique qui agit en complément de l'autolyse, lors des phases 3 et 4. Ces modifications sont plus tardives. Lorsque l'activité bactérienne devient trop importante, le poisson est rejeté de la consommation (Huss 1999).

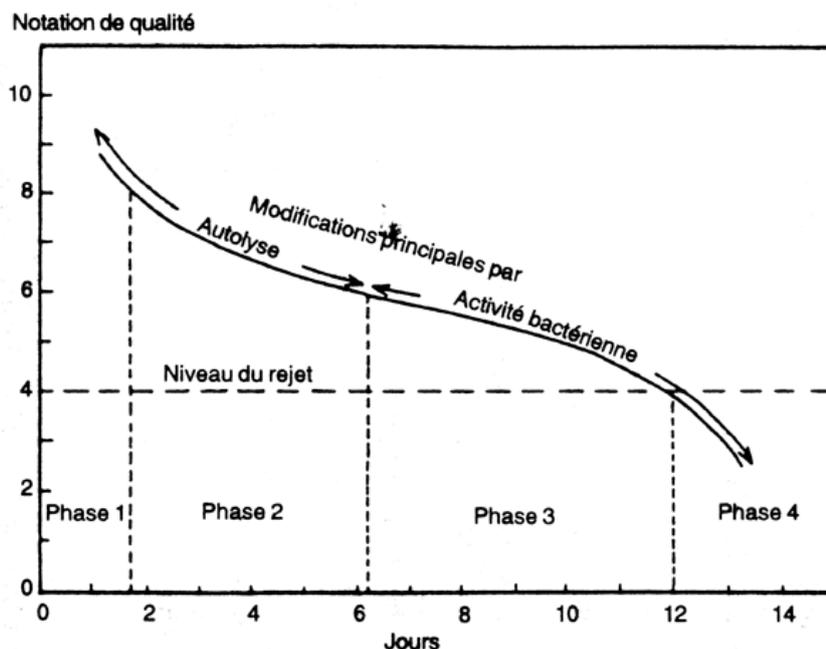


Figure 2 : Modification de la qualité sensorielle du poisson, Huss 1999

## 1. Altération autolytique

L'autolyse, également appelée autodigestion, est définie comme l'ensemble des dégradations enzymatiques se produisant après la mort de l'animal sans l'intervention de facteurs externes. Après la mort, en l'absence d'oxygène, le poisson continue de produire de l'énergie via la glycogénolyse lui permettant la production de l'ATP (adénosine triphosphate). Lorsque tous les stocks sont épuisés et que la formation d'ATP libre n'est plus possible, les cellules musculaires se contractent, entraînant la rigidité cadavérique, ou *rigor mortis*. On suppose que ce sont des enzymes naturelles du muscle qui vont entraîner un relâchement ultérieur de la chair. La *rigor mortis* entraîne des lésions au sein des cellules libérant le contenu enzymatique intracellulaire. Ceci accélère de processus de dégradation (Huss 1999).

L'une des premières réactions enzymatiques se produisant au sein du muscle est la dégradation des molécules reliées à l'ATP. Les dégradations successives de ces molécules entraînent la formation d'IMP (inosine monophosphate) qui serait responsable du goût umami recherché dans les poissons à haute valeur ajoutée (To et al. 2023). En revanche, les produits de dégradation plus avancés tel que l'inosine ou l'hypoxanthine seraient responsables d'un goût désagréable (Huss 1999).

Lors du processus d'altération, il existe également une protéolyse, dégradation des protéines, principalement causée par des cathepsines chez le poisson. Leur activité semble inhibée par la présence d'ATP. Par conséquent, la dégradation protéique est secondaire à l'apparition de la *rigor mortis*. Il est prouvé qu'il existe une corrélation entre l'activité des cathepsines (surtout L) et le ramollissement de la chair. Leur action semble portée sur les protéines de jonction entre les myofibrilles (Roth, Slinde, Arildsen 2006; Bahuaud et al. 2010). Ainsi l'augmentation de son activité va impacter la fermeté de la chair. Les calpains sont aussi décrites comme des enzymes protéolytiques jouant un rôle dans l'altération de la chair. Il

semblerait que leur action soit principalement intracellulaire via la dégradation des protéines en Z des myofibres (Chéret et al. 2007).

L'autolyse dégrade également l'architecture du muscle en jouant sur le tissu conjonctif. C'est l'action de collagénase qui va détruire les fibres de collagène et ramollir la chair (Hernández-Herrero et al. 2003).

## 2. Altération bactériologique

L'altération bactérienne se produit dans un second temps. Les lésions cellulaires causées par l'autolyse favorisent le développement bactérien et l'altération qui en découle. Dans les conditions physiologiques, le muscle du poisson est stérile. Ce sont les bactéries, de la peau, des branchies ou des intestins qui vont pouvoir envahir le muscle en *post-mortem*. Lors de la réfrigération, la majorité des bactéries vont voir leur croissance s'arrêter. Seulement certaines familles bactériennes auront la capacité de se développer à de faibles températures : les bactéries psychrotrophes. Au-delà de la lyse cellulaire, certaines d'entre elles auront la capacité de produire des composés désagréables. On parle de bactéries spécifiques de l'altération. Elles modifient non seulement la texture mais aussi le goût du poisson via divers mécanismes. On peut citer parmi eux la production accrue d'hypoxanthine, la réduction de TMAO (Oxyde d'azote de triméthylamine) en TMA (Triméthylamine), de H<sub>2</sub>S (sulfure d'hydrogène) ou encore de composés basiques volatils (Huss 1999; Kyrana, Lougovois 2002).

L'ensemble de ces processus d'altération vont dégrader la chair à différents niveaux. Divers outils de mesure permettent de quantifier plus ou moins précisément le degré de fraîcheur du produit.

### D. Outils d'évaluation de la fraîcheur du poisson

Il existe différents moyens permettant de caractériser la qualité d'un filet de poisson. Les principaux outils d'évaluation présentés sont ceux que nous avons utilisé lors de notre analyse expérimentale.

#### 1. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle peut être définie comme « la science relative à l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens » (ISO 5492:2008). Cette analyse consiste à mettre en éveil ses sens : la vue, l'odeur, le goût, le toucher et l'ouïe afin de caractériser un produit. Chacun de ces sens peut être relativement différent d'un individu à l'autre. Cette mesure est subjective. De plus, la qualification d'un ressenti n'est pas toujours évidente. Le vocabulaire employé peut amener à des interprétations différentes selon les expériences de chacun (Hyldig, Nielsen 2001). L'analyse sensorielle est un examen complexe qui nécessite d'être normalisé au mieux afin d'éviter les biais. Deux types de tests permettent d'analyser des échantillons. Les tests descriptifs et discriminatifs.

### a) Tests descriptifs

L'objectif de ces tests est de caractériser les différences entre les échantillons et de les hiérarchiser. L'analyse peut se faire via la mesure d'indice de qualité, une échelle structurée ou la détermination d'un profil (Huss 1999).

#### Indice de qualité

La fraîcheur d'un poisson est définie au niveau européen via une grille de cotation fraîcheur issue du règlement communautaire n° 2406/96 du 26 novembre de la Communauté Européenne. La notation du poisson est réalisée selon l'observation de différents critères : la peau, le mucus cutané, les yeux ... Une lettre est attribuée à chaque critère via la grille de cotation en fonction de l'aspect du critère évalué. Ceci permet de classer le poisson en 4 catégories : E (extra), A, B et C (tableau I). La classification C désignant un produit impropre à la consommation. Diverses études utilisent cette cotation afin de comparer l'état de fraîcheur des poissons (Chytiri et al. 2004; Darmancourt et al. 2022).

Tableau I : exemple de grille de cotation fraîcheur chez le bar © NormandieFraicheurMer

Critères	<b>Extra</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>Texture de la chair</b>	Parfaitement rigide, ferme	Partiellement rigide, ferme	Molle
<b>Peau / Ecailles</b>	Couleurs vives, brillantes Présence de toutes les écailles à quelques écailles manquantes Léger rougissement sur la tête et/ou le corps	Ecailles manquantes  Quelques tâches rouges sur la tête et/ou le corps	Aspect gratté Nombreuses écailles manquantes Nombreuses tâches rouges sur la tête et/ou le corps Légère coloration verdâtre du ventre
<b>Œil</b>	Bombé et translucide	Bombé à plat, légèrement opaque	Plat et opaque
<b>Branchies</b>	Rouge vif	Rouge	Rouge brun
	<small>Tous les critères gras sont nécessaires</small>		<small>Un critère gras suffit</small>
<b>Photos</b>			

Il existe d'autres grilles de cotation où une note est attribuée à chaque critère évalué. La sommation de ces notes permet de ressortir un indice de qualité (Huss 1999). (annexe 1).

#### Échelle structurée

L'échelle structurée consiste à décrire avec des termes objectifs et précis le paramètre à étudier. Lors d'une analyse sensorielle, on peut évaluer le goût, la couleur ou encore la texture. La notation se fait la plupart du temps sur une échelle de 0 à 10. Un qualificatif est attribué à chaque numéro (tableau II). La nuance entre les termes n'est pas toujours évidente à décoder. C'est pourquoi, cette méthode d'analyse exige un panel expérimenté (Huss 1999). Cette notation via une échelle structurée a déjà été utilisée afin de comparer la qualité organoleptique du Saumon Atlantique en fonction de la méthode d'abattage. Quatorze caractères ont été étudiés

et classés sur une échelle de 1 à 10 par 8 panelistes expérimentés (K Sorensen et al. 2004). La présence d'expert permet d'apporter une finesse dans la caractérisation du produit afin de détecter de faibles variations.

Tableau II : exemple d'échelle structurée lors de l'analyse sensorielle du poisson cuit, Huss 1999

Qualité			Points	
	Ni goût ni odeur désagréables	I	Odeur/goût caractéristiques de l'espèce	10
			Très frais, algues	9
			Perte d'odeur/goût	8
				7
Acceptable			Neutre	6
	Légers mauvais goût/odeur	II	Légers mauvais goût/odeur tels que de souris, d'ail, de pain, aigre, fruité, rancide	5
				4
Limite d'acceptabilité				
Rejet	Mauvais goût/odeur forte	III	Forts mauvais goût/odeur tels que choux avariés NH <sub>3</sub>	3
			H <sub>2</sub> S ou sulfures	2
				1

### Profil

Le dressage d'un profil sensoriel est une analyse descriptive qui consiste à évaluer un produit selon différents descripteurs définis par un jury expérimenté (figure 3). Lors de l'analyse, les panelistes attribuent une note au produit pour chaque descripteur. Le résultat final est souvent mis sous forme d'un graphique en étoile où l'on peut apprécier le poids de chaque descriptif pour un type de produit donné (Huss 1999a; FranceAgriMer 2019).

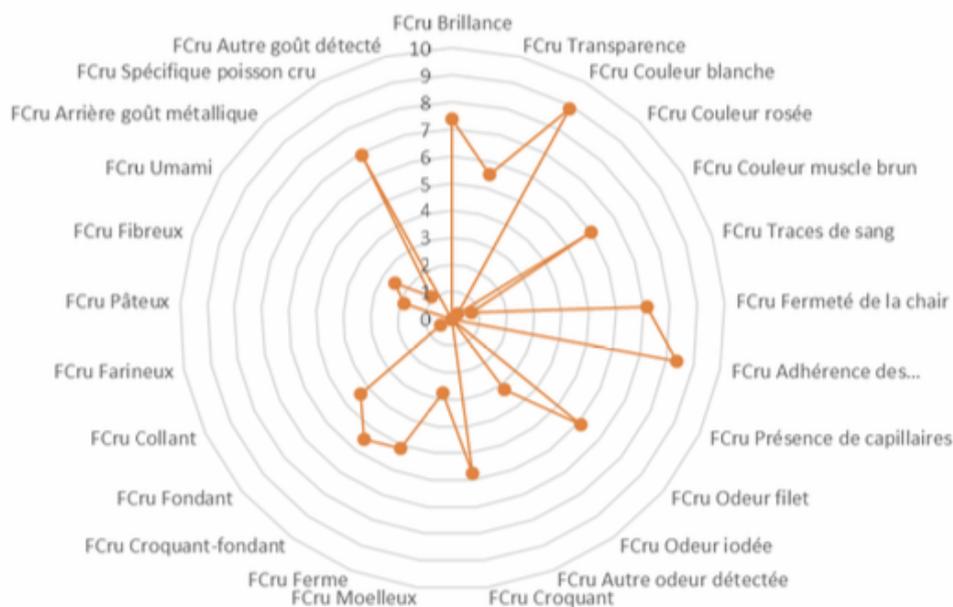


Figure 3 : exemple de profil sensoriel réalisé sur des bars abattus par ikejime, (FCru = Filet cru) FranceAgriMer 2019

## *b) Test discriminatif*

Ces tests consistent à comparer des échantillons entre eux et à pointer leurs différences, ils ne donnent que peu d'information sur la nature de celles-ci.

### *Essai de comparaison par pair*

Cette méthode permet de déterminer s'il existe une différence entre deux produits. Le principe repose sur la comparaison de deux échantillons relativement homogènes. Le jury est contraint de choisir entre ces derniers (choix forcé). Le choix peut se faire selon un ou plusieurs critères initialement établis. La présence d'une différence et la direction de celle-ci est appréciable mais ce test ne donne pas d'information sur l'intensité de celle-ci. C'est ensuite l'analyse statistique qui permet de savoir si le choix des panelistes est lié au hasard ou s'il existe une vraie différence entre deux produits (*ISO 5495:2005*).

Ce test présente l'avantage d'être relativement facile à mettre en œuvre et permet de se passer de l'acquisition d'un panel d'experts. D'autres méthodes offrant plus de précisions existent mais nécessitent un plus grand échantillon ou la présence d'un panel expérimenté.

### *Test triangulaire*

Ce test consiste à analyser des échantillons par lots de trois. Parmi ces lots, deux produits sont identiques et le troisième est différent. L'évaluateur doit identifier le produit qui se distingue des deux autres. À chaque examen, il a une chance sur trois de trouver le bon produit. L'analyse statistique permet de déterminer si la différence entre deux produits est liée au hasard ou non. Ce test permet de confirmer l'existence d'une nuance entre deux produits sans toutefois la caractériser (Huss 1999; *ISO 4120:2004*). Il est fréquemment utilisé dans le milieu de l'agroalimentaire pour comparer deux produits, comme dans l'étude de Chan qui vise à comparer les qualités organoleptiques du mérrou d'élevage et sauvage (Chan et al. 2018).

### *Épreuve de classement*

L'épreuve de classement est souvent basée sur l'étude d'un seul critère. Le panel doit classer dans un ordre croissant ou décroissant l'ensemble des éléments qui lui sont présentés. La différence entre chacun des produits n'est pas manifeste. Ce test est principalement utilisé afin d'effectuer un tri au sein d'un ensemble d'échantillons ou d'évaluer une préférence globale lors de test hédonique (Huss 1999; *ISO 8587:2006*).

## **2. Colorimétrie**

La couleur d'un objet peut être caractérisée subjectivement avec une appréciation visuelle ou objectivement avec un spectrophotomètre. L'appréciation visuelle implique de travailler avec un panel expérimenté capable de distinguer différentes nuances de couleur à partir d'une carte de couleur standardisée. Par exemple, la cartographie *SalmoFan<sup>TM</sup>* peut être utilisée afin de classer des saumons ou des truites (figure 4).

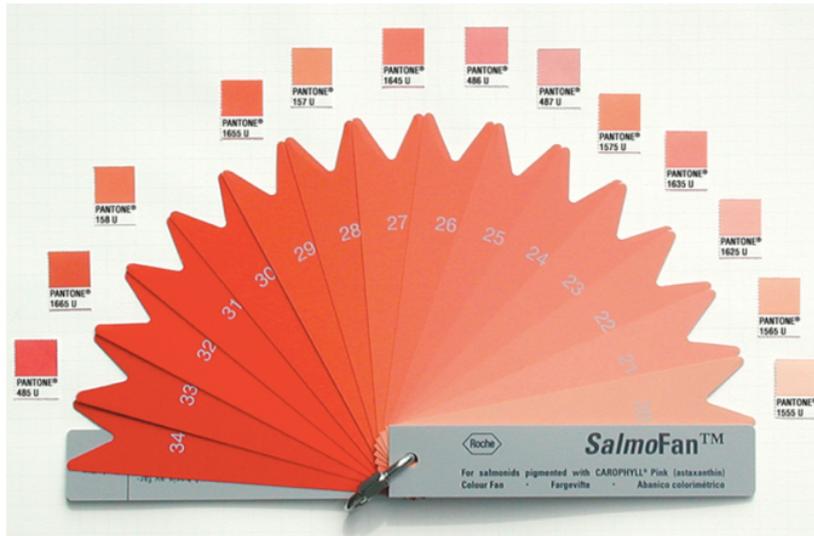


Figure 4 : Cartographie SalmoFan™, ©2024 dsm-firmenich

L'analyse spectrophotométrique mesure la clarté ( $L^*$ ), l'intensité de rouge sur un axe rouge/vert ( $a^*$ ) et l'intensité de jaune sur un axe jaune/bleu ( $b^*$ ) dans le système CIELAB (figure 5). Ces 3 valeurs permettent de placer la couleur d'un objet sur un graphique en 3 dimensions. A partir de  $a^*$  et  $b^*$ , il est possible de calculer le chroma ou l'angle de teinte (© X-Rite).

Ils sont définis par les calculs suivants :

$$\text{Angle de teinte} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{Chroma} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

L'angle de teinte indique la couleur en elle-même, il est exprimé en degrés et ne prend pas en compte le niveau de gris. En revanche, la chroma représente l'intensité de la couleur, c'est-à-dire la distance à laquelle la couleur se situe du gris neutre.

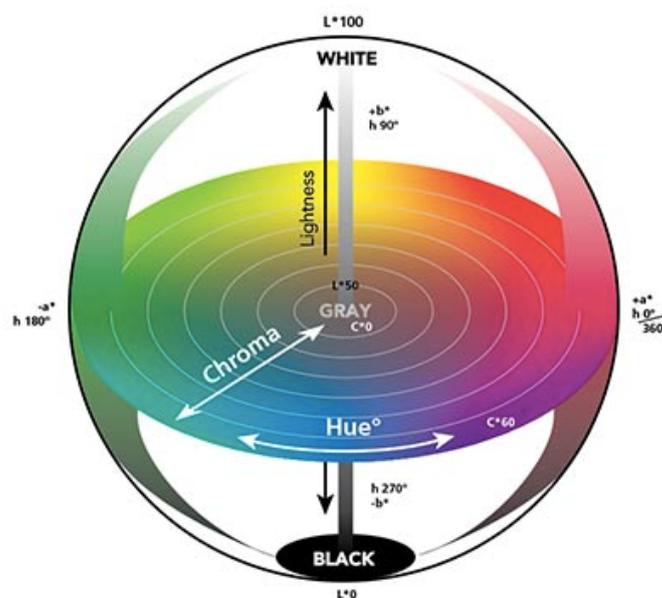


Figure 5 : représentation graphique du système CIELAB, © X-Rite

La couleur du poisson peut être qualifiée par l'ensemble de ces méthodes afin de caractériser la pigmentation de la chair et de déterminer les différents paramètres qui la font évoluer (Skrede, Storebakken 1986; Christiansen et al. 1995; Robb et al. 2000).

### 3. Évaluation texturale

La texture d'un filet de poisson est difficile à mesurer à l'aide d'instruments. Il s'agit de reproduire la sensation perçue dans la bouche du consommateur : le contact de l'aliment avec la langue et la surface interne des joues, ainsi que la pression exercée par la mâchoire lors de la mastication. Cette analyse est particulièrement complexe en raison de l'hétérogénéité de l'agencement des fibres musculaires sur l'ensemble du filet (Hyldig, Nielsen 2001). De plus, la chair du poisson est fragile. Elle se ramollit rapidement lors de sa conservation, contrairement aux produits carnés qui contiennent en moyenne dix fois plus de collagène (Zulema et al. 2010). Ceci ne facilite pas son examen. Il est cependant crucial de qualifier et quantifier cette texture, car le consommateur y accorde beaucoup d'importance. Afin que l'analyse soit la plus précise possible, l'analyse texturale doit être normalisée. La variation des paramètres extrinsèques au produit peut modifier sa texture, en particulier la température, même de petites variations peuvent impacter la texture d'un filet (Veland, Torrissen 1999; Parisi et al. 2002). La texture est différente selon l'alignement des fibres musculaire ainsi que l'épaisseur du filet. Par conséquent, il convient de réaliser les mesures au même endroit sur tous les filets, de préférence en son centre (Hyldig, Nielsen 2001; Sigurgisladottir et al. 1999). L'ensemble de ces éléments rend cette analyse difficile. Néanmoins, une analyse texturale bien réalisée permet de s'affranchir des coûts et des biais potentiels de l'analyse sensorielle grâce à son objectivité (Cheng et al. 2014; Bland et al. 2018).

Plusieurs techniques permettent d'appréhender la texture d'un aliment : la compression simple, la double compression, le cisaillement ou la traction.

#### *a) Méthodes de compression*

Les techniques de compression (simple ou double) consistent à appliquer une force sur le produit à l'aide d'une sonde. L'appareil mesure la force nécessaire pour atteindre un certain pourcentage de déformation. La double compression consiste à reproduire une seconde fois la même compression après un certain temps de repos. Il en résulte une courbe d'évolution de la force appliquée en fonction du temps (figure 6). Ce graphique définit un profil d'analyse de texture (TPA) et permet de mesurer la fermeté, le collant et la cohésion du produit en mimant la mastication. La fermeté représente la force nécessaire pour comprimer le produit, définie comme le maximum du pic et exprimé en Newton. Si l'échantillon reste collé à la sonde, l'appareil doit exercer une force de traction supplémentaire pour revenir à sa position d'origine. Le collant est donc matérialisé par l'aire négative suivant la première compression. Enfin, la cohésion caractérise la capacité de l'objet à retrouver sa forme initiale après une première déformation. Elle se mesure par le rapport de l'aire sous la courbe de la deuxième compression à celle de la première (Hyldig, Nielsen 2001).

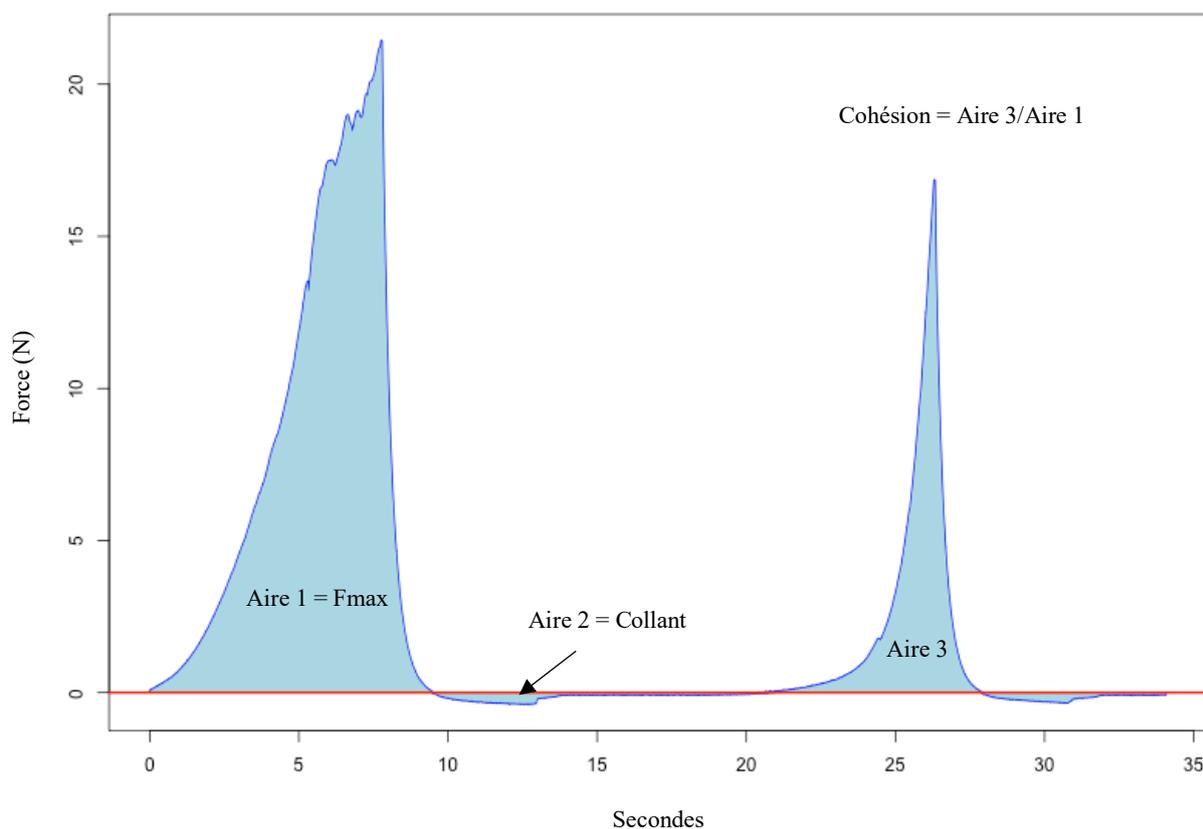


Figure 6 : exemple de mesure de TPA sur un filet de truite

La double compression permet d'obtenir des informations supplémentaires par rapport à une simple compression. Cependant, si le pourcentage de déformation de la première compression est trop important (par exemple 80 %), la chair du poisson sera tellement altérée que la deuxième compression fournira peu d'informations (Hyldig, Nielsen 2001). Il n'existe pas de calibrage standardisé pour les poissons indiquant comment régler l'appareil de mesure. Selon les auteurs, les paramétrages peuvent varier, notamment le type de sonde utilisée, le temps de repos, ainsi que le pourcentage et la vitesse de compression (Rørå et al. 2003; Ashton et al. 2010; Khoshtaghaza et al. 2016). Cependant, le choix des paramètres est crucial et influence les résultats obtenus, tant sur la fermeté, le collant que sur la cohésion. Selon Bernardo et al. (2022), une meilleure répétabilité est obtenue lorsque le pourcentage de compression est situé entre 60 et 75 %, le temps de repos entre 2 et 5 secondes, et la vitesse de compression entre 0,5 et 2 mm/s.

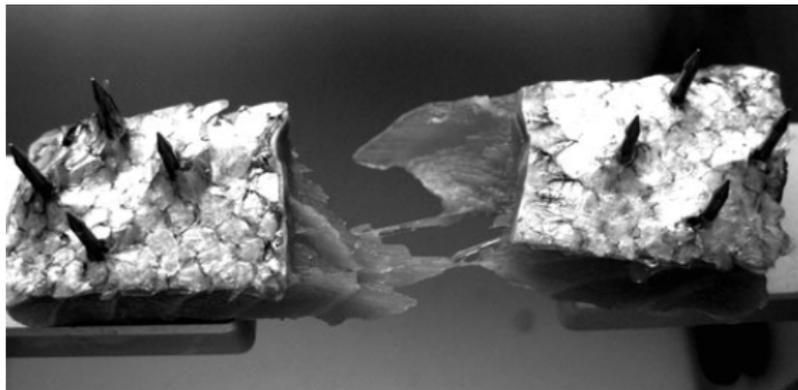
### b) Cisaillement

Le cisaillement est fréquemment utilisé sur les produits carnés dans le secteur agroalimentaire pour évaluer la tendreté d'un aliment. Plus la force de cisaillement est faible, plus le produit est qualifié de tendre (Lobjois et al. 2006). Le principe du cisaillement repose sur la mesure de la force appliquée au moment de la découpe de l'objet. Différents types de lames peuvent être utilisées, plates ou en V. L'angulation de la lame peut également varier. Certains auteurs utilisent des lames aiguisées pour obtenir une découpe précise (Ashton et al.

2010). Cependant, il est difficile d'évaluer l'usure de ces lames. Or, la force appliquée sur un produit peut varier en fonction de l'usure de la lame, ce qui complique la standardisation des mesures (Hyldig, Nielsen 2001). La mesure de cisaillement semble plus sensible que la compression, bien que peu d'études aient été réalisées sur le poisson (Sigurgisladottir et al. 1999). De plus, contrairement à la compression, il ne semble pas y avoir de différences significatives lorsque les mesures sont effectuées en différents points sur le poisson (Hyldig, Nielsen 2001).

### *c) Traction*

L'utilisation de la force de traction est peu décrite dans la littérature. Cette méthode est exposée par Ashton et al. en 2010. Un morceau de poisson (peau + chair) est fixé sur des bras métalliques à l'aide de pointes, la peau située entre ces deux bras est retirée afin de ne garder que le muscle sur cette portion (figure 7). L'un des bras est fixe et l'autre relié au capteur de force. Le bras connecté à l'analyseur est éloigné progressivement afin d'exercer une tension sur le muscle. Ceci permet de mesurer la force maximale et l'énergie nécessaire à la rupture de la chair.



*Figure 7 : photo du dispositif de mesure de la force de traction chez le poisson, Ashton et al. 2010*

Cette technique ne permet pas d'étudier la fermeté, mais elle est intéressante pour évaluer le "gaping". Le gaping est défini par la présence d'espaces béants entre les myotomes et les myoseptes (figure 8), c'est-à-dire la perte de jonction entre le tissu musculaire et le tissu conjonctif (Johnston 2008). La force de traction est inférieure lorsque le gaping est marqué, ce qui est un indicateur de mauvaise qualité du produit.

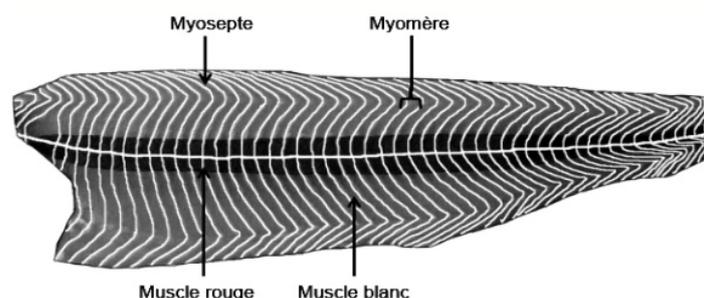


Figure 8 : schéma de l'organisation et répartition de la musculature sur une coupe transversale de truite, Listrat et al. 2015

#### 4. *Rigor mortis* et pH

La *rigor mortis*, encore appelée rigidité cadavérique, est un processus physiologique *post-mortem* entraînant une contraction musculaire de l'ensemble des muscles du poisson. Elle survient dès lors que la concentration d'ATP au sein des tissus passe en dessous d'un seuil à partir duquel, les liaisons entre l'actine et la myosine deviennent irréversibles (Gasco et al. 2014). Après la mort de l'animal, les cellules passent d'une respiration aérobie à une fermentation anaérobie. La glycolyse permet la formation d'ATP. Une fois les réserves en glycogène consommées, la concentration d'ATP va diminuer et la *rigor mortis* va s'installer. Par conséquent, le moment d'apparition de la *rigor mortis* est dépendant des réserves en glycogène. Ainsi, un poisson stressé ou manipulé ayant consommé ses réserves avant ou pendant la mise à mort entrera en *rigor mortis* plus précocement. Le délai d'apparition de la *rigor mortis* est aussi fonction de l'espèce, de la température et du gabarit de l'animal (Huss 1999). Certains auteurs ont mis en évidence des différences de temps d'apparition de la *rigor mortis* en fonction de la méthode d'abattage utilisée. Elle a lieu 9 heures post-abattage lors d'électrocution et 19 heures lors de commotion cérébrale (Secci et al. 2018). L'ikejime permet aussi de prolonger le délai d'apparition de la *rigor mortis* jusqu'à 24 heures (FranceAgriMer 2019).

Il semblerait que la *rigor mortis* soit intimement liée au pH. A partir d'un certain seuil de pH, 6,6-6,7 pour le saumon Atlantique, le poisson entre en *rigor mortis* (Erikson, Misimi 2008). Lors de fermentation anaérobie, la formation d'acide lactique par glycolyse entraîne une diminution du pH. Le pH diminue progressivement dans les heures qui suivent l'abattage. Il atteint un plateau avec une valeur allant de 6 à 6,5 pour la truite (Robb et al. 2000). L'activité du poisson avant la mort va impacter ses réserves et son pH. Par conséquent, des poissons reposés, avec un pH initial élevé (autour de 7) vont entrer en *rigor mortis* plus tardivement que des poissons stressés avec un pH initial bas (figure 9) (Jerrett, Holland 1998). La durée et l'intensité de la *rigor mortis*, et par conséquent les modifications plus ou moins brutales de pH, peuvent impacter la qualité de la chair et entraîner des ruptures entre le tissu conjonctif et les fibres musculaires (*gaping*) (Borderías, Sánchez-Alonso 2011). Cet effet est à proscrire lors de commercialisation car le produit est moins ferme et plus difficile à travailler.

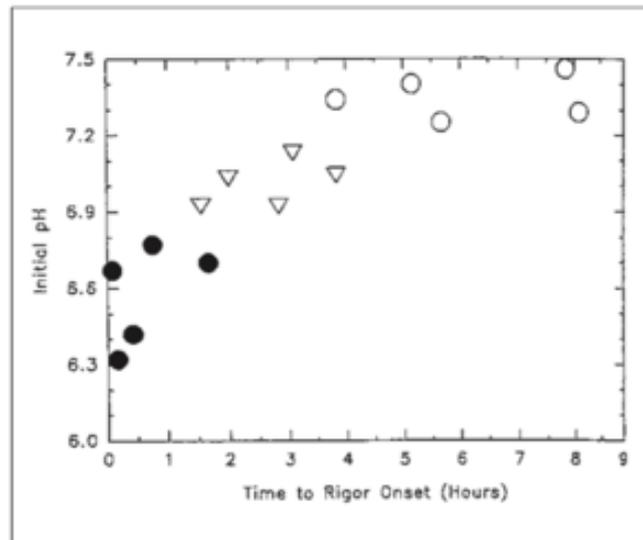


Figure 9 : Relation entre le pH initial et le délai d'apparition de la rigor mortis pour des poissons "reposés" (rond vide), "partiellement stressés" (triangle) et "épuisés" (rond plein) abattus par ikejime, Jerrett, Holland 1998

Lors de conservation à 4°C, le pH augmente progressivement au cours de l'altération de la chair. Certains auteurs ont trouvé chez le Bar Européen une corrélation entre l'augmentation du développement bactérien, des produits de dégradation du poisson (TMA et TVB-N) et du pH entre J12 et J22 post-abattage (Kyrana, Lougovois 2002).

## 5. Bactériologie

La bactériologie est utilisée depuis longtemps pour caractériser la qualité du poisson. La flore bactérienne des poissons peut être très diversifiée. Les principales bactéries pertinentes dans le milieu de l'agroalimentaire sont les bactéries d'altération ainsi que les bactéries pathogènes. Dans le cadre de la conservation, c'est la flore spécifique de l'altération qui va nous intéresser.

La flore bactérienne du poisson vivant en milieu tempéré est principalement composée de bactéries Gram négatif (tableau III), certaines bactéries Gram positif sont aussi présentes mais cette flore domine majoritairement en milieu tropical (Huss 1999; Ghanbari et al. 2013).

Tableau III : flore bactérienne du poisson d'après Huss 1999

Gram-négative	Gram-positif	Commentaires
<i>Pseudomonas</i> <i>Moraxella</i> <i>Acinetobacter</i> <i>Shewnella putrefaciens</i> <i>Flavobacterium</i> <i>Cytophaga</i> <i>Vibrio</i> <i>Photobacterium</i> <i>Aeromonas</i>	<i>Bacillus</i> <i>Clostridium</i> <i>Micrococcus</i> <i>Lactobacillus</i> <i>Coryneforms</i>	<i>Vibrio</i> et <i>Photobacterium</i> sont typiquement marins; <i>Aeromonas</i> est typiquement d'eau douce.

Ces bactéries, présentes sur la peau, sur les branchies ou au sein du tube digestif du poisson ne sont pas toutes capable d'altérer la chair de ce dernier dans les conditions classiques de conservation. En effet, ce sont les bactéries psychrotrophes, capable de se développer à basse température (0 à 4°C), qui seront responsable de l'altération de la chair. Parmi elles, seules certaines peuvent dégrader la chair du poisson via différents mécanismes, tels que la production de H<sub>2</sub>S, la réduction de TMAO en TMA, ou la production d'amines biogènes (Huss 1999). À ces températures, la flore d'altération prédomine. Si la chaîne du froid n'est pas respectée, la flore totale, et particulièrement les entérobactéries, prolifèrent en grand nombre. Cela modifie le processus d'altération du poisson et rend l'analyse bactérienne plus complexe (Huss 1998). Dans la littérature, 3 genres/espèces bactériennes possédant ces capacités d'altération ont été retrouvées chez la truite : *Pseudomonas spp*, *Aeromonas spp*, *Shewanella putrefaciens* (Nedoluha et al. 2001; Huber et al. 2004).

*Aeromonas* et *Pseudomonas* font toutes les deux partie de la flore prédominante de la truite (Salgado-Miranda et al. 2010). De plus, Gram et al. (1990) ont montré que *Aeromonas spp* était capable de réduire le TMAO en TMA et de produire du H<sub>2</sub>S. La présence de cette bactérie chez la truite ainsi que ses capacités enzymatiques en font une des bactéries majeures de l'altération de la truite. *Pseudomonas spp* ne possède pas ces capacités. Pour autant, son développement important sur les filets de poisson est souvent associé à une odeur nauséabonde. Certains auteurs décrivent que le genre *Pseudomonas* joue un rôle dans cette altération avec la production d'autres métabolites tels que des amines biogènes, des esters ou encore des composés soufrés (Gram et al. 1990; Gram, Huss 1996; Xie et al. 2018).

*Shewanella putrefaciens* est aussi capable de réduire le TMAO et de produire du H<sub>2</sub>S (Gram et al. 1990). Elle a été retrouvée en grande quantité sur des filets de dorade royale conservés à 5°C. Sa croissance sur les filets est corrélée à la dégradation sensorielle de ces derniers (Koutsoumanis, Nychas 1999). Cette bactérie est principalement étudiée sur des poissons vivants en milieu marin. Malgré cela, ayant été retrouvée sur des filets de truite et présentant un rôle majeur dans l'altération des filets de poisson au sens large, cette bactérie semble pertinente à étudier (Nedoluha et al. 2001; Du et al. 2022).

Certaines bactéries Gram + sont présentes sur des filets de truites au cours de la conservation. En particulier *Lactobacillus spp*, qui domine la flore d'altération lors de conservation de la truite sous vide ou sous atmosphère modifiée (Stenstrom 1985; Lyhs et al. 2002). Ces bactéries ont la capacité d'inhiber le développement du reste de la flore d'altération via la production d'acide lactique et de bactériocines (Katikou et al. 2007; Babic Milijasevic et al. 2023). Bien qu'elles soient principalement présentes sous atmosphère modifiée, leur dénombrement peut être intéressant lors de la conservation sur glace afin de suivre l'évolution de la flore d'altération et l'influence des bactéries lactiques (Leroi 2010).

Afin d'identifier et de quantifier ces bactéries, de nombreuses techniques existent. La culture sur gélose permet de quantifier et de qualifier plus ou moins précisément certaines familles bactériennes. Cette méthode est accessible et fréquemment utilisée, mais elle reste peu sensible et peu spécifique. Il est intéressant de coupler cette analyse à d'autres méthodes telles que la PCR, l'analyse MALDI-TOF ou encore la métagénomique. La métagénomique est

particulièrement intéressante car elle permet de s'affranchir de la culture bactérienne et présente une forte sensibilité (Martínez-Porchas, Vargas-Albores 2017; Marlida et al. 2023).

## 6. Histologie

Les filets de poisson sont principalement constitués de deux unités : les myomères, définis comme une association de fibres musculaires, et les myoseptes, une structure conjonctive composée majoritairement de collagène (figure 8). Le filet est organisé de manière métamérique, alternant successivement muscle et tissu conjonctif.

La structure du filet de poisson peut être altérée pendant ou après l'abattage. Lors de la conservation sur glace, des modifications de la conformation du filet peuvent être visibles macroscopiquement. La présence de gaping est observée chez la truite dès trois jours de conservation. Il semblerait que la méthode d'abattage joue un rôle dans son apparition. En effet, les poissons abattus par anesthésie sont moins affectés que ceux électrocutés (Robb et al. 2000). L'observation de ces espaces « béants » reste plus ou moins subjective. Une approche histologique permet d'apporter plus de finesse et de précision sur l'agencement microscopique des fibres musculaires et conjonctives. En effet on peut visualiser et quantifier l'apparition d'espacement entre les fibres musculaires, entre les myofibres et le tissu conjonctif ou encore la présence de contraction et de ruptures au sein même des myofibres (Taylor et al. 2002; Bahuaud et al. 2010). De plus, l'agencement microscopique des fibres musculaires semble être corrélé avec la texture du filet (Ayala et al. 2011; Cheng et al. 2014), l'étude conjointe de ces deux paramètres est pertinente afin de juger au mieux de la qualité d'un filet.

## 7. Phénomènes oxydatifs

Au cours de la conservation d'une denrée, les phénomènes oxydatifs vont altérer la qualité du produit. L'oxydation est pour certains auteurs l'élément majeur de la perte de qualité organoleptique des aliments (Huang, Ahn 2019). Elle dépend de nombreux facteurs tels que l'oxygène, la température, la lumière, l'activité bactérienne et la composition intrinsèque du produit. Les principaux phénomènes oxydatifs étudiés sont l'oxydation lipidique et protéique. Pour le poisson, sa richesse en acide gras sensibles aux changements oxydatifs rend l'analyse de l'oxydation lipidique pertinente (Abeyrathne et al. 2021). Il est possible de mesurer plusieurs produits de dégradation lipidique : des produits d'oxydation primaires et secondaires. En raison de l'instabilité des composés primaires, il est plus facile de baser son étude sur les produits d'oxydation secondaires. La méthode TBARS (Thiobarbituric Acid Reactive Substances) permet via spectrophotométrie de mettre en évidence la présence de malondialdéhyde, composé secondaire de l'oxydation lipidique (Abeyrathne et al. 2021). L'acide thiobarbiturique va former un complexe coloré avec le malondialdéhyde. Ce complexe possède un pic d'absorbance autour de 530 nm. La mesure de l'absorbance est relié à la quantité de complexe formé et par conséquent à une quantité équivalente de malondialdéhyde (Jeuge et al. 2012). Plusieurs études ont travaillé sur l'évolution de la concentration en malondialdéhyde dans les filets de poisson au cours de la conservation. Cette concentration augmente avec le temps et peut être influencée par la méthode d'abattage (Morzel, Van De Vis 2003; Simitzis et al. 2014). L'oxydation

lipidique est ralentie par la congélation, la température optimale pour minimiser ce processus est de -80° même si il semblerait que l'oxydation soit toujours présente à cette température (Aydin, Gokoglu 2014). Il reste difficile de déterminer un seuil à partir duquel on peut définir le filet comme rancit (Kyrana, Lougovois 2002). Il en est de même pour les produits carnés, cependant, on peut considérer qu'un produit carné contenant moins de 1 mg équivalent MDA/kg est un produit non oxydé (Jeuge et al. 2012). Pour le poisson, certains auteurs parlent d'un niveau acceptable d'oxydation jusqu'à 7-8 mg équivalent MDA/kg (Aydin, Gokoglu 2014). En revanche, l'analyse deux à deux du niveau d'oxydation est intéressante lors de la comparaison de différents procédés d'abattage ou de conservation.

La filière piscicole voire même la filière pêche étant fragile en France, l'usage d'une nouvelle méthode d'abattage tel que l'ikejime pourrait permettre d'aider la filière à mieux valoriser le poisson. Outre le respect de la protection animale qu'apporte cette méthode, il semblerait qu'elle confère aussi des qualités de maintien de la chair et une meilleure conservation au cours du temps. Le peu d'étude sur le sujet empêche d'affirmer avec certitude que cette technique présente toutes ces qualités. En effet, les facteurs pouvant influencer la qualité du poisson semblent nombreux. Nous avons cherché dans ces travaux à montrer que l'ikejime permet de mieux préserver la chair des truites arc-en-ciel au cours de la conservation en la comparant à l'électrocution, une autre méthode d'abattage couramment utilisée en pisciculture respectant la protection animale au même titre que l'ikejime. En parallèle, nous étudierons l'effet du filetage *ante rigor mortis* par rapport à la conservation des poissons entiers pour chacune des méthodes. Pour se faire, la majorité des outils d'évaluation de la qualité et de la fraîcheur du poisson présentés plus haut ont été utilisés dans notre étude.

## Partie 2 – Étude expérimentale : comparaison des techniques d’abattage, ikejime et électrocution, sur la conservation du poisson

### I. Matériel et méthode

#### A. Matériel biologique

L’expérimentation a été réalisée sur des truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) triploïdes de calibre similaire (750 à 900g) afin de standardiser nos mesures. Soixante truites ont été achetées à la pisciculture de Lussais (Chef Bouttone). Elles sont arrivées à la station aquacole d’Oniris le 18 janvier 2024.

Les poissons ont été stockés dans un même bac de 1000 litres, à une température oscillant entre 11 et 13°C et avec une saturation moyenne en oxygène de 12 mg/L. Ils ont été maintenus à jeun jusqu’à l’abattage, le 24 janvier 2024. Il est supposé que ces truites, vivant dans les mêmes conditions, possédaient le même développement musculaire, une réponse au stress similaire ainsi que la même flore commensale.

L’étude comportait une cohorte de 48 truites. Vingt-quatre poissons ont été dédiés à chaque méthode d’abattage.

#### B. Procédure d’abattage et conservation

Durant chacune des étapes de la mise à mort du poisson, chaque tâche a été effectuée par un seul opérateur.

##### 1. Capture du poisson

Les poissons ont été prélevés un à un dans leur bac. Le prélèvement s’est fait à l’aide d’une épuisette placée dans le fond du bac. Des mouvements de faibles amplitudes permettaient le déplacement du banc de poissons dans le calme. Dès lors qu’un poisson s’introduisait dans le filet, l’épuisette était sortie hors de l’eau et le poisson amené au lieu d’euthanasie et placé dans un seau.

##### 2. Mise à mort

Les poissons étaient pêchés un par un puis stocké par 3 dans un seau. Les poissons étaient abattus par série de trois. Nous avons commencé par euthanasier trois poissons avec la méthode d’abattage ikejime puis trois poissons par électrocution. Nous avons gardé cette alternance durant toute la durée de la mise à mort jusqu’à obtenir 24 poissons euthanasiés par méthode. L’alternance des deux méthodes d’abattage a permis d’éviter que les derniers poissons prélevés (à priori les plus stressés) ne soient attribués à une seule méthode d’abattage et ainsi d’avoir deux cohortes relativement équilibrées.

### *a) Ikejime*

Une fois pêché et placé dans le seau, chaque poisson a été posé au sol dans l'épuisette. Le maintien du poisson dans les filets permettait une meilleure contention. La pointe du tekagi était insérée à 45 degrés au centre de la tête des poissons, un centimètre caudalement aux orbites oculaires. Le choc entre l'extrémité du tekagi et le cerveau du poisson induisait une mort subite. Des mouvements pendulaires au sein de la boîte crânienne ont permis une décérébration complète. Ensuite, un câble métallique a été introduit dans le canal médullaire via le trou formé par le tekagi. Ce câble a été enfoncé le long de la moelle épinière en faisant des mouvements de va-et-vient (démédullation). Lors de la rupture des terminaisons nerveuses, des mouvements involontaires étaient initiés par le poisson. Le câble a été retiré à l'arrêt de ces mouvements. Lors de la démédullation, un poisson a été écarté de l'étude car le câble métallique était sorti du canal médullaire, induisant une altération de la chair du poisson (figure 10).



*Figure 10 : filet de truite altéré par le câble de démédullation (flèche blanche)*

Afin de maîtriser au mieux cette technique, l'opérateur s'est d'abord entraîné sur des poissons morts puis sur un lot de truites vivantes.

### *b) Électrocution*

La cuve à électrocution est constituée de deux plaques (électrodes) qui génèrent un fort champ électrique. Un potentiomètre permet de régler l'intensité du champ électrique (valeur de 1 à 10) en fonction l'action souhaitée : étourdissement ou mise à mort. La cuve était remplie à 2/3, soit environ 50 litres d'eau (figure 11). Vingt-deux grammes de sel ont été ajoutés à l'eau afin de favoriser la conductivité. La conductivité a été testée avant utilisation. Les poissons ont été placés trois par trois dans la cuve. Une fois la cuve refermée, le champ électrique a été activé pendant 90 secondes à forte intensité (valeur 9). A la fin de la procédure, nous avons observé les poissons pendant 30 secondes afin de vérifier l'absence de mouvements operculaires, indiquant la mort de l'animal.



Figure 11 : cuve à électrocution (FIAP profiwork Fish Stunner)

Un poisson a été écarté de l'étude à cause de lésions cutanées sur le flanc, initialement présentes ou induites par la méthode d'abattage.

Chaque poisson écarté a été remplacé pour atteindre le nombre final de 24 poissons par conditions d'abattage.

### c) *Saignée*

Une fois abattus, les poissons ont été saignés en coupant les arcs branchiaux avec des ciseaux. Ils ont été placés trois par trois selon leur méthode d'abattage dans un seau contenant un mélange eau - glace de 10 litres. Le temps de saignée avant l'éviscération était de 5 minutes.

### d) *Éviscération*

Nous avons éviscéré tous les poissons. Le muscle a été incisé ventralement puis les intestins sectionnés à proximité de l'anus ainsi que sur la partie proximale de l'œsophage. L'ensemble des organes a été retiré de la cavité abdominale. Seuls les reins ont été maintenus en place. Une fois vidés, les faces internes et externes des poissons sont rincées à l'eau claire.

## 3. Conservation

### a) *Post mortem immédiat*

Les poissons ont été conservés trois par trois dans leur seau respectif durant la mise à mort des 48 poissons. Le refroidissement de l'eau, jusqu'à environ 4°C, a été atteint en 30 minutes à 1 heure après la mise à mort des poissons. De la glace était ajoutée régulièrement dans chaque seau afin de préserver la fraîcheur.

b) *Méthode de conservation*  
*Poissons entiers ou filets*

Nous avons choisi d'étudier deux états de conservation du poisson : filet ou entier. Les filets des 24 poissons (12 poissons euthanasiés par électrocution « EL » et 12 poissons par ikejime « IK ») ont été levés à la fin du process de mise à mort. Nous avons conservé les autres truites entières vidées. Nous avons quatre lots de 12 poissons, avec 2 méthodes d'abattage et 2 états de conservation différents (figure 12). Les poissons ont été identifiés avec des étiquettes numérotées de 1 à 48 et fixées à la peau du poisson à l'aide d'une agrafeuse chirurgicale.

Pour lever les filets, le couteau était lavé avec de l'alcool à 70° puis séché entre chaque poisson. Tous les trois poissons, c'est-à-dire au changement de méthode d'abattage, la paillasse était lavée et le couteau affûté. Le filet droit du poisson a été levé en premier. Le premier filet, plus facile à lever, était plus épais. Les poissons étant vendus avec la peau dans le commerce, nous avons décidé de la conserver.

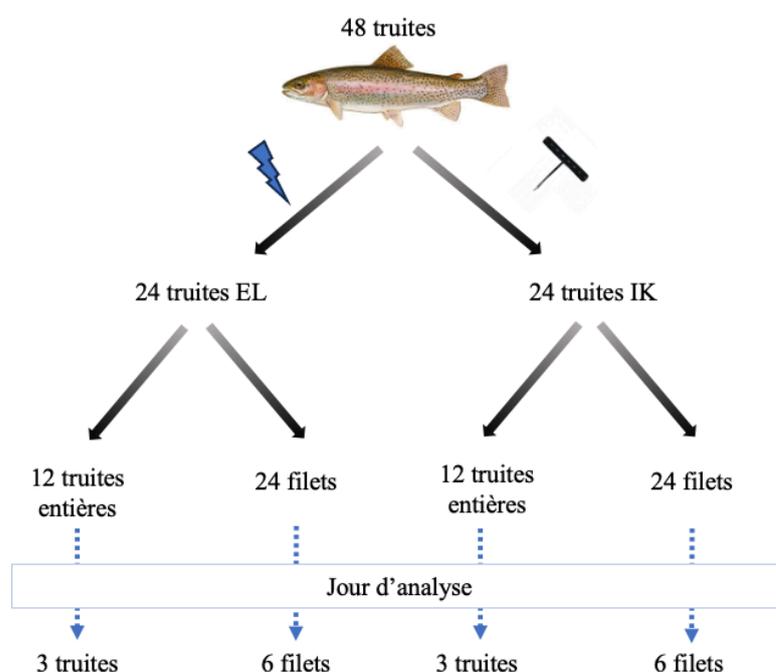


Figure 12 : répartition du nombre de truites par méthode d'abattage et de conservation à un jour d'analyse

Les poissons entiers ainsi que les filets ont été transportés sur glace de la station aquacole jusqu'à la chambre froide. Nous les avons conservés dans des boîtes en polystyrène préalablement désinfectées et recouvertes de papier aluminium. Chaque boîte contenait 6 poissons ou 6 filets.

## Température

La température de la chambre froide a été contrôlée avant l'expérimentation afin de s'assurer de son homogénéité. Au cours de l'expérimentation, la température était comprise entre 3 et 4,2°C. Les poissons ont été conservés dans un milieu aérobie à basse température correspondant aux conditions nécessaires au développement de la flore d'altération du poisson tel que : *Pseudomonas spp*, *Aeromonas spp* et *Shewanella putrefaciens* au détriment de la flore totale (Huss 1999).

### 4. Répartition des échantillons

Nous avons placé les filets droits et gauches dans des boites différentes. Les filets droits ont été dédiés dans un premier temps à l'analyse sensorielle, la colorimétrie puis l'analyse texturale. Pour les filets gauches, quatre portions de filets ont été découpées et chacun a été dédiés à une analyse : la bactériologie, l'histologique, la mesure de pH et l'oxydation des lipides (figure 13). Les poissons entiers ont été levés le jour de l'expérimentation. Une distinction filet droit - filet gauche a été réalisée afin d'effectuer les mesures sur les mêmes côtés de poisson que celles réalisées sur les filets levés post abattage.



Figure 13 : répartition des morceaux de filet (droit) par méthode d'analyse

### C. Récolte des données

#### 1. Période de prélèvement

Nous avons étudié l'évolution de la fraîcheur du poisson de façon discontinue au cours de la conservation. Aucune analyse n'a été réalisée le jour de l'abattage (J0). Les mesures ont été effectuées à J1, J5, J12, J19 post-abattage (respectivement le 25 janvier, le 29 janvier, le 5 février et le 12 février 2024). Une étude sur 19 jours a permis de suivre l'évolution de la chair du poisson à chaque phase de son altération : la phase précoce d'autolyse puis la phase d'altération bactérienne plus tardive (Huss 1999). A chaque jour d'analyse, 12 poissons (soit 24 filets) ont été analysés. Les filets des poissons conservés entiers ont été levés chaque matin de l'analyse. Il en est ressorti 4 groupes différents de 3 poissons : IK\_Entier, EL\_Entier, IK\_Filet et EL\_Filet. Le reste des poissons était laissé dans la chambre froide pour l'analyse des jours suivants.

## 2. Analyse sensorielle

### a) Description du panel

Le panel d'évaluateur était constitué selon les jours de 18 à 21 personnes travaillant ou étudiant à Oniris. A chaque jour d'analyse, le panel a été divisé en 2 afin de réaliser 2 sessions de 30 minutes.

### b) Environnement

L'analyse s'est déroulée dans 3 salles différentes afin que chaque évaluateur puisse être isolé au mieux de l'influence des autres participants. Quatre filets de truites étaient exposés par salle, chacun dans une boîte en plastique, posée sur de la glace pilée (figure 14).

### c) Paramètres étudiés

L'analyse sensorielle s'est déroulée en 2 parties. L'une résidait dans l'évaluation de la couleur, l'aspect, la texture et l'odeur des filets via une grille de cotation (annexe 1). L'autre dans la comparaison de l'état de fraîcheur de deux filets. Les filets ont été changés de position entre les différentes analyses.

#### *Cotation fraîcheur*

Le panel était amené à noter les filets via le barème de cotation CEE présenté en annexe 1. Chaque critère : l'aspect, l'état et l'odeur de la peau et de la chair, était noté de 0 à 3. La note finale du filet pouvait varier entre 0 et 12. Les filets de poisson étaient découpés en deux afin que l'examineur puisse observer la peau et palper la partie caudale du filet (figure 14). La partie crâniale a été préservée de toute manipulation afin de ne pas biaiser l'étude de la texture ayant lieu ultérieurement.



Figure 14 : exposition des filets de truite lors de l'analyse sensorielle, portion manipulable par l'évaluateur indiqué par une (\*)

La couleur est un paramètre que nous avons ajouté à l'évaluation. Nous avons constaté lors de la levée des filets que la couleur rosée était très variable d'un filet à l'autre. Sachant qu'une chair de couleur rose vif est indicatrice de qualité dans notre société, il nous a semblé intéressant d'ajouter cette information à l'étude afin de voir s'il existait une corrélation entre la couleur perçue par le paneliste et la notation. Chaque évaluateur donnait une note de couleur allant de 1 à 4. Le chiffre 1 représentait une couleur rose vif et 4 une couleur rose pâle (annexe 2).

Le panel n'étant pas expérimenté dans l'évaluation de la fraîcheur des filets de poisson, un atlas explicatif a été mis à disposition afin de fournir un outil comparatif et de standardiser au mieux l'évaluation (annexe 2).

### *Essai de comparaison par paire*

Les filets comparés deux à deux étaient issus de truites ayant subi la même méthode de conservation (poisson entier ou filet levé après euthanasie) mais des méthodes d'abattage différentes (ikejime versus électrocution). Un numéro à trois chiffres (ex : 572) était attribué à chaque filet afin de ne pas influencer le panel dans son choix (figure 14). L'évaluateur devait choisir le filet qui lui semblait le plus frais parmi les deux qui lui étaient présentés.

## 3. Colorimétrie

Le filet de truite était déposé coté chair sur un spectrophotomètre (Konica Minolta CM-5). Les valeurs de L\* (clarté), a\* (intensité de rouge) et b\* (intensité de jaune) ont été mesurées par l'appareil. Nous avons procédé à 3 mesures réparties le long du filet afin de lisser les éventuelles erreurs de mesure liée à la localisation.



Figure 15 : mesure colorimétrique d'un filet de truite à l'aide d'un spectrophotomètre

#### 4. Analyse texturale

L'analyse a été effectuée dans le même environnement pour chaque échantillon. Les filets de poissons ont été sortis de la chambre froide juste avant la procédure. Ceci a permis d'éviter les variations texturales en lien avec la température. Chaque mesure a été réalisée en 3 points du filet afin de minimiser les variations biologiques. Les filets étaient placés sur leur côté peau, la chair vers le haut. Les mesures de TPA ont été effectuées sur les portions les plus épaisses des muscles dorsaux et la force de cisaillement entre chaque mesure de TPA (figure 16).

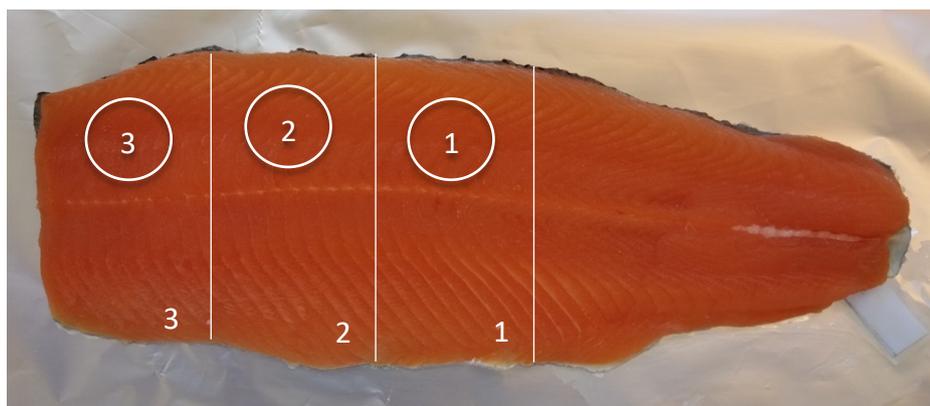


Figure 16 : répartition des zones de mesure de texture : TPA représenté par les cercles blanc et cisaillement par les lignes blanches

##### a) TPA : profil d'analyse texturale

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un TA-XT+<sup>®</sup> avec un capteur force de 5kg (figure 17). L'appareil a mesuré la force nécessaire à la compression de 50% de la hauteur du filet à l'aide d'un cylindre de 2 cm de diamètre. La vitesse de compression était de 1 mm/s (Darmancourt et al. 2022). Une deuxième compression a été réalisée après un temps de relâchement de 5 secondes. L'évolution de la force appliquée sur le muscle était reportée sur un graphique afin d'obtenir une courbe de force-distance. Les paramètres mesurés sont la force max, le collant et la cohésion (figure 6).

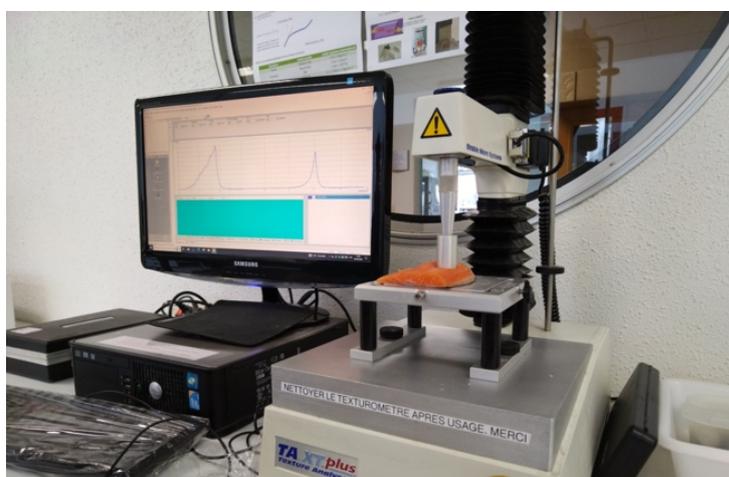


Figure 17 : mesure de TPA sur une truite à l'aide d'un TA-XT+<sup>®</sup>

## b) Force de cisaillement

Nous avons découpé ventralement et dorsalement les filets afin de les positionner dans l'entrefer de la sonde de cisaillement. La force de cisaillement a été mesurée à l'aide d'une lame Warner Bratzler (capteur force 5 kg). Le cisaillement a été effectué à l'aide d'un V métallique non aiguisé. La force était appliquée à une vitesse de 1 mm/s. L'appareil a mesuré la force et l'énergie nécessaire à la découpe du filet.

## 5. Mesure de pH

Nous avons réalisé les mesures de pH sur la portion crâniale du filet gauche après avoir découpé les morceaux servant à la bactériologie, l'histologie et l'analyse d'oxydation (figure 13). Deux mesures ont été faites par filet. La sonde à pH (Mettler Toledo) était introduite dans la chair du filet dorsalement et ventralement à la ligne latérale (figure 18). Elle a été rincée à l'eau distillée entre chaque analyse.



Figure 18 : mesure de pH sur un filet de truite

## 6. Bactériologie

### a) Bactéries étudiées

L'analyse bactérienne était centrée sur l'étude de la flore d'altération spécifique de la truite. Nous nous sommes intéressés au dénombrement de *Aeromonas spp*, *Pseudomonas spp* et *Shewanella putrefaciens*. L'évolution de la flore lactique a aussi été dénombrée même si ces bactéries sont moins présentes lors de conservation en milieu aérobie. Nous avons aussi étudié la flore totale comme marqueur d'hygiène et de qualité de la méthode de conservation du poisson.

### b) Prélèvement

Vingt-cinq grammes de filets ont été prélevés sous hotte avec une lame de bistouri stérile. Le filet a été découpé transversalement en son centre (figure 13). Nous avons choisi cette localisation car elle se situe loin des branchies et de l'anus, afin de limiter au maximum les contaminations. Le morceau découpé a été placé dans un sac à stomacher avec 225 grammes

d'eau peptonée 0,1% afin d'obtenir une solution mère diluée au 1/10 (notée D<sub>1</sub>). Le mélange a été homogénéisé dans un stomacher pendant une minute (Koutsoumanis, Nychas 2000). De façon stérile, 1 mL de la solution mère a été prélevé puis dilué au dixième en ajoutant 9 mL d'eau peptonée 0,1% (D<sub>2</sub>). Plusieurs dilutions ont été réalisées afin de faciliter le dénombrement de colonies par la suite. Le nombre de dilution a augmenté au cours de l'étude. L'ensemble des dilutions réalisées par jour d'analyse et type de gélose est répertorié dans l'annexe 3.

Nous avons rencontré quelques problèmes de croissances bactériennes à J12 et J19. Par conséquent, nous avons renouvelé l'analyse des poissons issus de J12 avec des morceaux de filets de truites qui avaient été congelés dans l'attente de réalisation d'une autre analyse. Ces filets ont été conservés à -20°C pendant 4 mois avant d'être décongelé à température ambiante pour réaliser à nouveau cette étude bactériologique. Afin de mieux homogénéiser la suspension, nous avons ajouté 5% de Tween80 à la solution d'eau peptonée. Ce mélange a été ajouté dans les sacs stomacher contenant les morceaux de filets. Un massage manuel d'une minute a été réalisé avant l'homogénéisation dans le stomacher. La suite de la procédure a été rigoureusement identique.

Par souci de temps, nous n'avons pas pu réaliser la même procédure pour tous les autres jours d'analyse. De ce fait, le protocole est différent entre J12 et les premiers jours d'analyse. Les analyses bactériologiques réalisées à J19 n'ont pas été prises en compte.

### c) *Ensemencement et incubation*

Cent microlitres de solution ont été prélevés et étalés sur chaque gélose en commençant par les solutions les plus diluées pour finir par les plus concentrées. L'ensemble des boîtes de Pétri a été mis à incuber pendant 48 à 72 heures à 25 ou 30°C selon la bactérie recherchée.

#### *Flore totale*

Le dénombrement de la flore totale a été effectué sur gélose PCA (Plate Count Agar) après une incubation de 72 heures à 30 °C. Bien que la flore totale ne soit pas un indicateur direct de la dégradation du poisson, elle fournit une vue d'ensemble du développement bactérien au sein des filets. Elle sert de référence pour comparer avec les flores spécifiques d'altération de la truite. La croissance bactérienne observée sur cette gélose permet de vérifier la validité des prélèvements effectués.

#### *Aeromonas spp*

Plusieurs milieux de culture sont propices au développement du genre *Aeromonas*. Certains milieux sont exclusivement sélectifs d'*Aeromonas* tel que la gélose ABA (ampicillin blood agar) (Janda, Abbott 2010). Les géloses CIN (Cefsulodin-Irgasan-Novobiocin), XGA (Xylose galactosidase agar) et GSP (Glutamate Starch Phenol Red), permettent le développement du genre *Aeromonas* mais aussi d'autres bactéries tels que *Pseudomonas*, *Yersinia*, *Salmonella* et *Shigella* (Fuentes-Valencia et al. 2022). Nous avons choisi de travailler

avec la gélose GSP, facile d'utilisation. Elle est spécifique de *Pseudomonas* et *Aeromonas*. Les colonies apparentées à *Aeromonas* étaient colorées en jaune et *Pseudomonas* en rouge. Seules les colonies jaunes ont été dénombrées, les *Pseudomonas* étant étudiées sur gélose CFC (Cetrimide Fusidin Cephaloridine). Les bactéries ont été incubées à 25°C pendant 72 heures.

### *Pseudomonas spp*

L'incubation de *Pseudomonas spp* a été réalisée sur une gélose CFC dans une étuve à 25°C pendant 48 heures (Oberlé et al. 2022). Cette gélose est spécifique de *Pseudomonas spp* et classiquement utilisée pour y dénombrer ses bactéries. Chaque colonie au caractère morphologique différent a été prélevée. Afin de différencier les *Pseudomonas* des entérobactéries, un test à l'oxydase a été réalisé. Les colonies oxydase + ont été apparentées à des *Pseudomonas spp*, les entérobactéries étant oxydase -.

### *Shewanella putrefaciens*

L'incubation de *Shewanella putrefaciens* a été réalisée sur une gélose SS (Salmonella Shigella) dans une étuve à 25°C pendant 48 heures. Cette gélose, autrement appelée gélose au fer contient du citrate d'ammonium ferrique. Dans ces conditions, les colonies produisant du sulfure d'hydrogène se colorent en noir (Huss 1999). Cette gélose n'est pas spécifique de *Shewanella putrefaciens*, elle permet aussi aux entérobactéries de se développer. Cependant, le dénombrement de colonies noires permet, même sans connaître la famille exacte de la bactérie, d'évaluer la présence de bactéries responsables de l'altération du poisson via la production de de H<sub>2</sub>S.

### *Bactéries lactiques*

Les bactéries lactiques ont été incubées sur une gélose MRS (De Man, Rogosa et Sharpe) pendant 3 jours à 30°C (Fiche technique BIOKAR ; Babic Milijasevic et al. 2023). Cette gélose est spécifique des bactéries lactiques. Elle permet de dénombrer les principales bactéries lactiques retrouvés chez le poisson tel que *Lactobacillus sakei*, *Lactobacillus curvatus* et *Carnobacterium piscicola* (Lyhs et al. 2002 ; Katikou et al. 2007).

Le tableau suivant résume le type de gélose, la température et la durée d'incubation utilisées pour chaque bactérie recherchée.

Tableau IV : gélose et incubation utilisées en fonction de la bactérie recherchée

	Flore totale	Aeromonas spp	Pseudomonas spp	Shewanella putrefaciens	Bactéries lactiques
Gélose	PCA	GSP	CFC	SS	MRS
Température d'incubation	30°C	25°C	25°C	25°C	30°C
Durée d'incubation	72h	72h	48h	48h	72h

#### d) Identification MALDI-TOF

Sur chaque boîte de pétri, un maximum de 3 colonies de phénotypes différents a été isolé et repiqué sur gélose TSA (Tryptone Soja Agar) pendant 24 heures, à 25 ou 30°C selon la gélose prélevée (tableau IV). Si l'étalement n'était pas contaminé (qualifié de pur), une colonie était prélevée et repiquée dans un tube TSB (Tryptic Soy Broth) pendant 24 heures. Le lendemain, 500 uL de chaque tube étaient prélevés et placés dans un cryo-tube contenant 500 uL de Glycérol à 40%. L'ensemble a été conservé à -80°C dans l'attente d'une identification MALDI-TOF.

Une colonie noire issue de la gélose SS a été analysée au MALDI-TOF afin de réaliser une identification précise.

## 7. Histologie

Un centimètre de filet de truite a été découpé au scalpel et placé dans un pot de formol 4% le jour de l'analyse. Nous avons étudié chaque échantillon à postériori. La préparation des lames a été réalisée par le LHA (Laboratoire d'Histopathologie Animale) d'Oniris. Chaque échantillon a été découpé à l'aide d'un microtome dans un bloc de paraffine. Les 3 micromètres de tissu prélevés ont été récupérés et placés sur une lame. La lame a été séchée puis colorée à l'hématoxyline-éosine-safran (HES).

De par la structure du muscle des poissons et l'altération de la chair au cours du temps, certains échantillons ont été difficiles à couper. En effet, des lésions artéfactuelles de ruptures cellulaires étaient présentes en quantité plus ou moins importante selon les lames (figure 20). Les lames des poissons 5 et 10 ont été refaites afin de pouvoir apprécier plus facilement l'état du tissu musculaire.

Nous avons évalué l'altération microscopique du tissu musculaire à deux niveaux : structurel et cellulaire (Taylor et al. 2002; Bahuaud et al. 2010). L'appréciation structurelle des tissus a été notée selon deux critères : l'apparition d'un espacement entre les myofibrilles et le détachement des myofibrilles au tissu conjonctif. Nous avons attribué une note allant de 0 à 3 pour chacun de ces paramètres grâce à la grille lésionnelle présentée dans le tableau V. L'évaluation de l'espacement entre les myofibrilles a été réalisée au grossissement x40, principalement sur les portions de coupe transversale des myofibrilles. En revanche, le détachement myofibrilles-conjonctif a été évalué en coupe longitudinale au grossissement x100.

Tableau V : grille de classification histologique de l'altération structurelle des myofibres de la truite

Espacement entre les myofibres
<ul style="list-style-type: none"><li>○ 0 : pas d'espacement entre les myofibres</li><li>○ 1 : espacement entre de nombreux myofibres, distance constante et faible</li><li>○ 2 : espacement entre de nombreux myofibres, distance irrégulière (0-50%)</li><li>○ 3 : espacement large entre la majorité des myofibres (&gt;50%)</li></ul>
Détachement myofibres-conjonctif
<ul style="list-style-type: none"><li>○ 0 : pas de détachement</li><li>○ 1 : détachement des myofibres de moins de 33%</li><li>○ 2 : détachement entre 33% et 66%</li><li>○ 3 : détachement de plus 66%</li></ul>

Nous avons estimé l'atteinte cellulaire en comptant le nombre de myofibres en hypercontraction et le nombre de ruptures cellulaires. Le dénombrement a été réalisé sur les zones non artéfactuelles comprenant le plus de lésions. Un pourcentage de myofibres lésés a été déterminé après observation de 50 myofibres. Un exemple de chacune des lésions observées est répertorié figure 19.

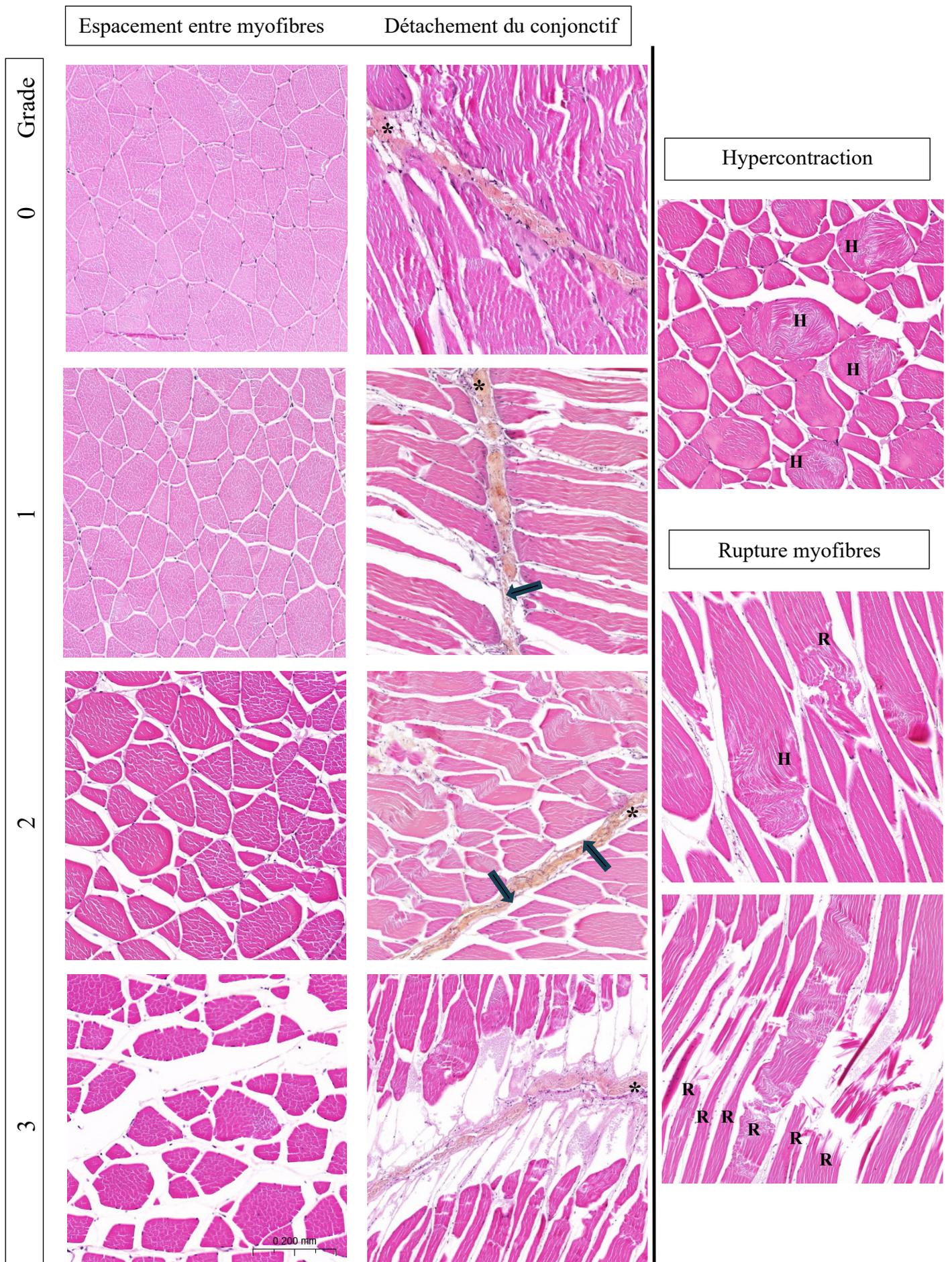


Figure 19 : planche de classification lésionnelle de lames histologiques du muscle de la truite à différents stades de conservation, (H) cellule en hypercontraction, (R) rupture cellulaire, (\*) tissu conjonctif, (flèche) décollement des myofibrilles au tissu conjonctif

La difficulté de l'analyse réside dans le choix des champs à évaluer. En effet, de nombreuses lésions tissulaires et cellulaires sont liées à la découpe. Il est important de ne pas confondre des lésions avec des artefacts de découpe afin que l'analyse soit répétable. Par exemple, l'étude de l'agencement des cellules au niveau de la peau a souvent été écartée. La découpe de la peau et des écailles est plus difficile et favorise l'apparition d'artefacts. De même, de nombreux artefacts sont présents en bordure de lame (figure 20). Chaque lame a été lue deux fois à l'aveugle par le même examinateur. En cas d'écart important entre les deux lectures, un deuxième examinateur est intervenu pour trancher quant à la classification des lésions.

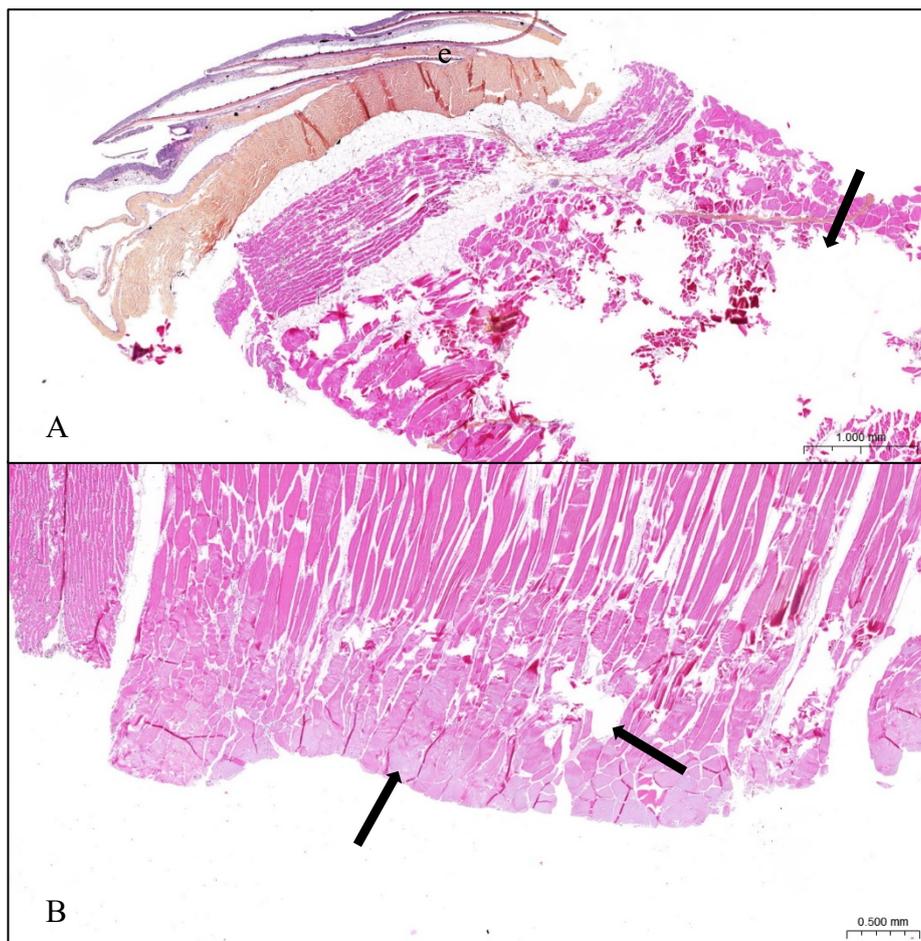


Figure 20 : artéfact de coupe sur des lames histologique de muscle de truite, (A) artéfacts liés à la proximité des écailles, (B) artéfact de bord de lame, (e) écailles, (flèche) zone de rupture et/ou d'hypercontraction

## 8. Oxydation lipidique : mesure des TBARS

L'ensemble des analyses sur l'oxydation a été effectué sur la portion caudale des filets gauches des poissons (figure 13). En raison de la durée des manipulations et afin de faciliter l'organisation globale des expérimentations, les morceaux de filets ont été congelés à  $-80^{\circ}\text{C}$ . A cause de problèmes de logistique, les morceaux issus de J1 ont d'abord été congelés à  $-20^{\circ}\text{C}$  pendant 4 jours avant d'être placés à  $-80^{\circ}\text{C}$ . Au bout de 10 semaines, nous avons décongelé les

filets à température ambiante avant de les analyser. La méthode des TBARS a été utilisée afin de quantifier l'évolution de la quantité en composés d'oxydation secondaire, en particulier le malondialdéhyde.

Après décongélation, nous avons enlevé la peau des filets afin de ne travailler qu'avec la chair : une matrice homogène. Lors de la première étape d'extraction, les échantillons ont été mixés à l'aide d'un broyeur IKA A11 jusqu'à l'obtention d'une pâte molle. Environ 2 grammes de matrice ont été prélevés et placés dans un tube à centrifugation de 15 mL. Nous y avons ajouté 8 mL de solution d'extraction contenant de l'acide trichloracétique, du Propyl Gallate et de l'EDTA. Le tout a été homogénéisé à l'ULTRA-TURRAX, 3 fois 15 secondes à 11 000 tours/minutes. Nous avons centrifugé le mélange à une température de 4°C pendant 10 minutes à 4 000 G. Le surnageant a été filtré à l'aide d'un filtre plissé n°4. Puis 0,5 mL de la solution filtrée a été placé dans un eppendorf. Nous y avons ajouté le même volume d'acide thiobarbiturique 0,3%. En parallèle, nous avons préparé une gamme d'étalonnage en mélangeant du tétraméthoxypropane (malondialdéhyde) avec de la solution d'extraction et de l'acide thiobarbiturique. La gamme correspondait à 0/0,5/1/1,5 et 2 mg/L de malondialdéhyde. L'ensemble des eppendorfs (échantillons et gamme) a été agité au vortex puis placé dans un bain marie sec à 100°C pendant 30 minutes. Les eppendorfs ont été ouverts toutes les 5 minutes pour effectuer un dégazage. Après chauffage, nous avons refroidi les eppendorfs dans un bain de glace pendant environ 10 minutes. Les solutions ont été placés dans des cuves de spectrophotomètres. Une fois les blancs exécutés, nous avons mesuré l'absorbance entre 400 et 600 nm. Enfin, la teneur en TBARS, équivalent à la teneur en malondialdéhyde, a été reliée à l'absorbance à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Teneur en TBARS} = \frac{A_{532 \text{ nm corrigé}} * V_{\text{réactionnel (l)}} * 10^3}{a * m_{\text{pesée (g)}}}$$

( $\mu\text{g}$  équivalent MDA / g de matrice)

a : coefficient directeur de la droite d'étalonnage

## D. Analyse statistique

### 1. Analyse univariée

Au vu de l'indépendance entre les échantillons et d'effectifs inférieurs à 30, nous avons réalisé les tests statistiques suivant :

- des tests de Wilcoxon pour la comparaison de moyennes entre deux groupes de variables quantitatives ou d'une variable qualitative avec une variable quantitative,
- des tests de Kruskal-Wallis lorsque le nombre de groupes à analyser était supérieur à deux.

L'étude statistique de deux variables qualitatives a été réalisée à l'aide de tests de Fisher. Les liens entre différentes variables ont été étudiés à l'aide de corrélation de Pearson.

## 2. Analyse multivariée : ACP et CAH

L'analyse en composante principale (ACP) permet d'étudier le lien entre différentes variables. Le degré de similitude entre ces variables est calculé avec le coefficient de corrélation. Graphiquement, 2 variables situées sur le même axe sont fortement corrélées, que ce soit positivement ou négativement.

Associée à cette analyse, la classification ascendante hiérarchique (CAH) sans à priori consiste à regrouper par clusters des individus possédant des caractéristiques identiques ou proches. Ce sont les paramètres les plus discriminants qui vont permettre de créer ces clusters. Il est ensuite possible de comparer ces clusters avec les groupes de notre étude (méthode d'abattage et état de conservation). Si les individus présents dans chacun des clusters correspondent à ceux des différents groupes initiaux, alors, les variables les plus discriminantes sont bien adaptées à l'étude et permettent de différencier une méthode d'abattage ou un état de conservation.

Les variables que nous avons choisi d'étudier dans cette analyse multivariée sont celles qui nous semblaient les plus discriminantes à au moins un jour d'analyse. Les variables avec de fortes hétérogénéités de valeurs n'ont pas été incluses dans l'analyse. Nous avons ainsi gardé, la cotation fraîcheur, le pH, l'ensemble de l'analyse histologique à l'exception de l'hypercontraction des myofibres, et la fermeté du filet (Fmax). Chaque observation est effectuée à un jour d'analyse.

## II. Résultats

### A. Analyse sensorielle

#### 1. Grille de cotation fraicheur

Dans un premier temps, nous avons cherché à voir comment évoluait la cotation de la fraicheur et la couleur des filets au cours de la conservation.

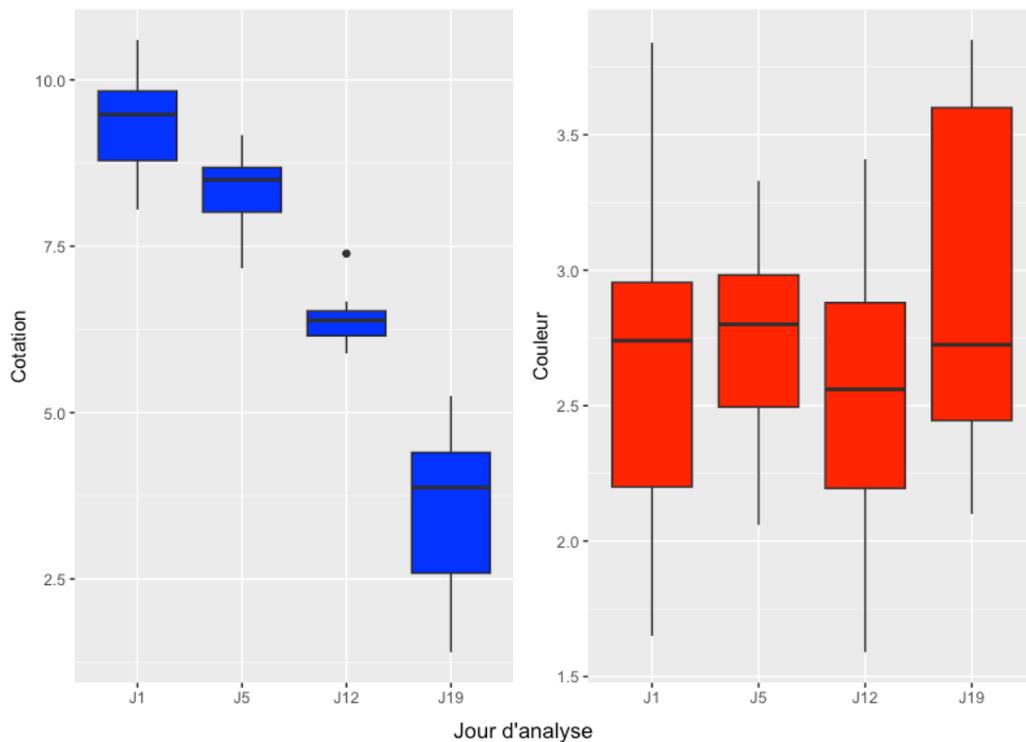


Figure 21 : Boxplots de l'évolution moyenne de la cotation fraicheur et de la couleur des filets au cours de la conservation

Nous observons que la cotation de la fraicheur des filets diminue significativement au cours de la conservation (test de Kruskal-Wallis,  $p$ -value =  $4,1 \times 10^{-9}$ ). En revanche, il ne semble pas y avoir une variation marquée de la couleur des filets. La dispersion de la couleur entre les filets est plus grande à J19 (figure 21).

Au cours de la saisie des résultats, nous avons remarqué que les notes attribuées à un même poisson variaient d'un évaluateur à l'autre. Par conséquent, nous avons calculé le coefficient de variation de la cotation et de la couleur de chaque poisson, la moyenne de ces coefficients de variation est indiquée dans la figure 22.

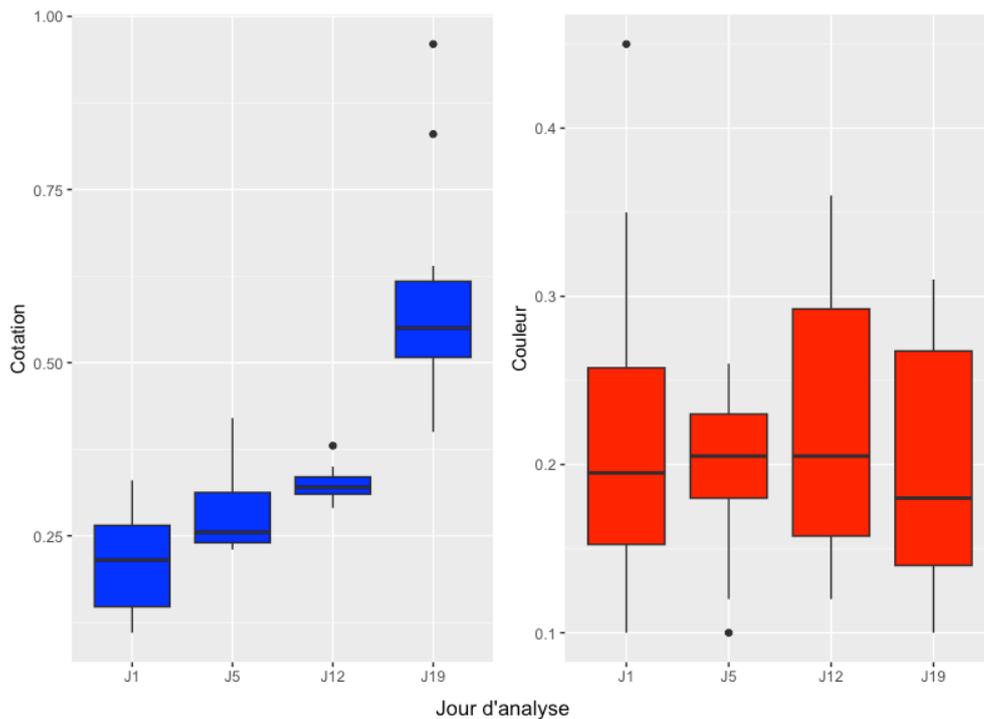


Figure 22 : Boxplots de la moyenne des coefficients de variation de la cotation et de la couleur au cours de la conservation

Le coefficient de variation attribué à chaque filet augmente au fur et à mesure de la durée de conservation. Au fil de l'analyse, les divergences d'opinion parmi les panélistes sur la notation des filets s'accroissent. Il est à noter que, même à J1, la moyenne des coefficients de variation peut être qualifiée d'élevée (>20%). Ce coefficient est également élevé pour la couleur des filets, oscillant entre 15% et 30% (figure 22).

La figure suivante (figure 23) montre l'évolution de la cotation fraîcheur à chaque jour d'analyse en fonction de la méthode d'abattage et de l'état de conservation. Ces derniers semblent peu impacter la cotation de la fraîcheur. À l'exception de J19, où les poissons conservés en filets sont en moyenne significativement moins bien notés que les poissons conservés entiers (test de Wilcoxon, p-value = 0,005). L'ikejime n'apporte pas un état de fraîcheur supérieur à l'électrocution au cours de la conservation. Seule une tendance en faveur d'une cotation fraîcheur plus élevée pour les poissons abattus par izejime à J1 est observée (test de Wilcoxon, p-value = 0,054).

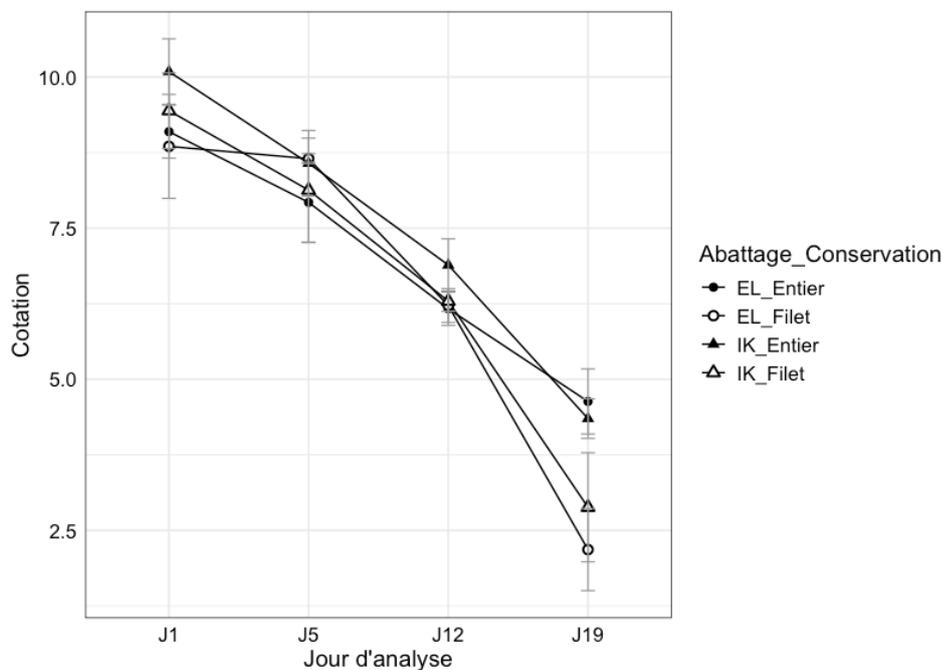


Figure 23 : évolution moyenne de la cotation au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation, écarts types représentés par des barres d'erreur

Nous avons également examiné la corrélation potentielle entre la couleur du poisson et la cotation qui lui est attribuée. En effet, sur le marché aquacole, une truite d'une couleur rose vif est généralement perçue comme plus attrayante qu'une truite aux teintes fades. Dans cette optique, il est pertinent d'analyser l'influence de la couleur perçue par l'évaluateur sur la cotation.

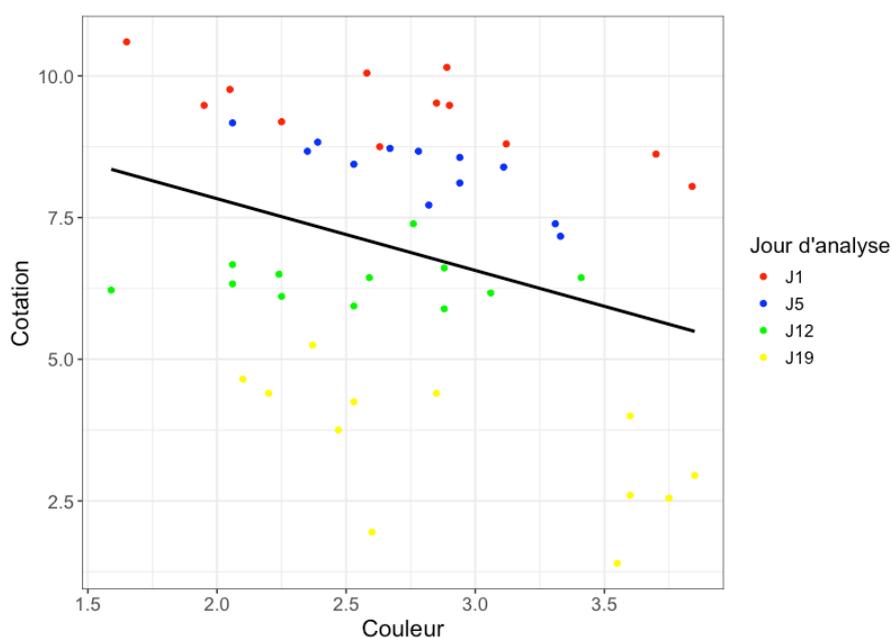


Figure 24 : répartition de la cotation en fonction de la couleur des filets à chaque jour d'analyse, représentation de la droite de régression linéaire en noir

La répartition des cotations en fonction de la couleur est très dispersée. Sur l'ensemble de l'étude, la couleur est très faiblement corrélée à la cotation, avec un coefficient de corrélation de -0,3 (corrélation de Pearson, p-value = 0,035). Le jour d'analyse influence davantage la cotation de la fraîcheur que la couleur du filet (figure 24). À chaque jour d'analyse, il semble exister un lien plus ou moins étroit entre la cotation et la couleur du filet. Plus la couleur se rapproche de 4 (couleur perçue comme fade), plus la cotation attribuée au filet est faible. Cependant, cette observation ne semble pas se vérifier pour J12, jour pour lequel, tous les points sont alignés sur le même axe. En effet, à J1, J5, et J19, la corrélation est de modérée à élevée, avec des valeurs respectives de -0,73, -0,83, et -0,62. Aucune corrélation n'a été trouvée à J12. On peut considérer qu'au moins durant les premiers jours d'analyse, la couleur du filet influence moyennement à fortement la notation des panélistes. Les filets présentant une couleur plus fade ont tendance à être légèrement moins bien notés que ceux de couleur vive.

## 2. Essai de comparaison par paire

Nous avons d'abord cherché à déterminer si le choix de l'évaluateur était influencé par la couleur du filet. Le graphique suivant montre la répartition de la différence de couleur des poissons comparés entre eux, en fonction du pourcentage d'évaluateurs ayant choisi les filets abattus par ikejime comme étant plus frais. Une différence de couleur élevée (autour de 1) signifie que le filet du poisson abattu par ikejime présentait une couleur plus vive que celui abattu par électrocution lors de la comparaison.

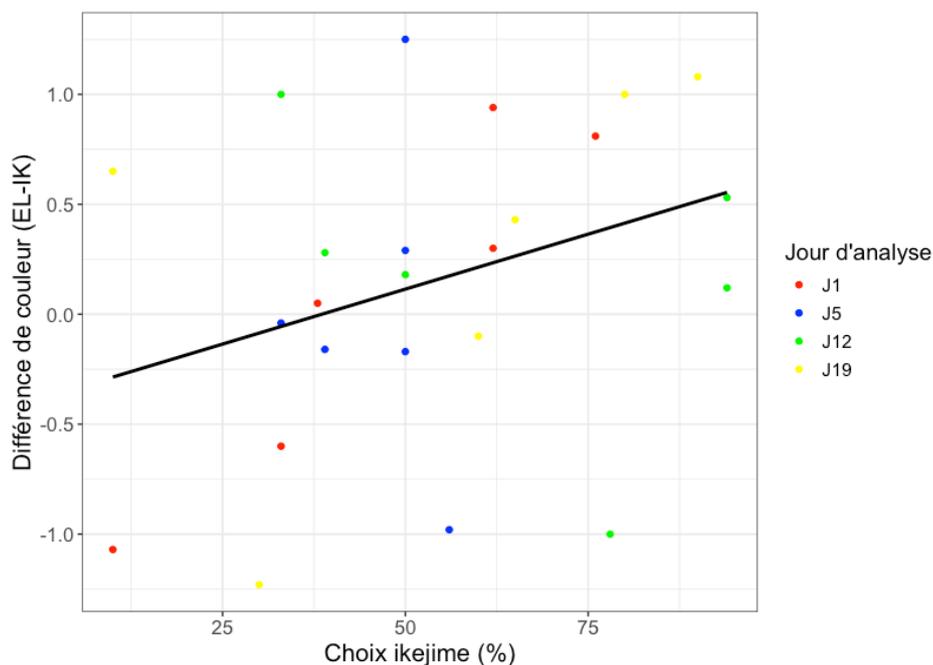


Figure 25 : répartition de la différence de couleur entre deux filets en fonction du choix des panelistes à chaque jour d'analyse lors de la comparaison par paire, droite de régression linéaire en noir

La dispersion des valeurs est très élevée. Sur l'ensemble de l'analyse, aucune corrélation n'existe entre la couleur des filets et le choix de l'évaluateur (corrélation de Pearson, p-value = 0,12). En revanche, à J1, il existe une corrélation entre le couleur du filet et le choix de l'évaluateur (coefficient de Pearson : 0,94 et p-value = 0,0054). À J5, J12 et J19, la couleur des filets n'influence pas le choix de l'évaluateur.

Le tableau VI résume les choix des panélistes sur les 24 comparaisons de filets qui ont été réalisées. Sur l'ensemble de l'étude, les poissons abattus par ikejime ont été classés comme étant les plus frais dans 11 cas, ceux abattus par électrocution dans 9 cas, et 4 comparaisons n'ont pas permis de départager les deux filets. L'état de conservation ne semble pas influencer le choix des panélistes. Parmi les choix en faveur de l'ikejime, 5 filets sur 11 étaient conservés entiers et 6 en filets. Une proportion similaire est observée pour les poissons abattus par électrocution. Parmi les 20 comparaisons qui ont penché en faveur d'une des méthodes d'abattage, seulement 8 sont considérés comme significatives (Loi Binomiale, p-value < 0,05). Seulement 2 poissons abattus par électrocution apparaissent comme plus frais contre 6 abattus par ikejime. Si on ne prend pas en compte J1, jour d'analyse durant lequel la couleur des filets influence le choix de l'évaluateur, seules 6 comparaisons persistent. Une en faveur de l'électrocution et 5 pour l'ikejime à J12 et J19.

Tableau VI : choix de l'ensemble des panelistes lors de l'essai de comparaison par pair à chaque jour d'analyse. Différences significatives notées en rouges.

Jour d'analyse	Conservation	Choix IK	Choix EL	Nombre d'évaluateur	Pourcentage IK	Filet le plus frais	Loi binomiale (p-value)	Différence couleur
J1	Entier	7	14	21	33	EL	0.19	-0.60
	Entier	13	8	21	62	IK	0.3	0.30
	Entier	16	5	21	76	IK	0.027	0.81
	Filet	2	19	21	10	EL	0.00022	-1.07
	Filet	8	13	21	38	EL	0.38	0.05
	Filet	13	8	21	62	IK	0.38	0.94
J5	Entier	7	11	18	39	EL	0.48	-0.16
	Entier	9	9	18	50	Aucun	1	0.29
	Entier	9	9	18	50	Aucun	1	1.25
	Filet	9	9	18	50	Aucun	1	-0.17
	Filet	6	12	18	33	EL	0.24	-0.04
	Filet	10	8	18	56	IK	0.81	-0.98
J12	Entier	6	12	18	33	EL	0.24	1.00
	Entier	17	1	18	94	IK	0.00014	0.12
	Entier	17	1	18	94	IK	0.00014	0.53
	Filet	7	11	18	39	EL	0.48	0.28
	Filet	14	4	18	78	IK	0.031	-1.00
	Filet	9	9	18	50	Aucun	1	0.18
J19	Entier	2	18	20	10	EL	0.0004	0.65
	Entier	13	7	20	65	IK	0.26	0.43
	Entier	6	14	20	30	EL	0.12	-1.23
	Filet	18	2	20	90	IK	0.0004	1.08
	Filet	12	8	20	60	IK	0.5	-0.10
	Filet	16	4	20	80	IK	0.012	1.00

## *Bilan analyse sensorielle*

### *Cotation fraîcheur :*

- La méthode d'abattage n'impacte pas l'état de fraîcheur des filets (seulement une tendance en faveur de l'ikejime à J1).
- La méthode de conservation impacte l'état de fraîcheur à J19 en faveur des poissons conservés entiers.
- La couleur des filets influence les panelistes dans leur notation, au moins à J1 et J5.

### *Comparaison par paire :*

- La couleur des filets influence le choix des panelistes uniquement à J1.
- Une différence significative entre les filets apparait à J12 et J19 en excluant J1 pour lequel les panelistes sont influencés par la couleur.
- Les poissons abattus par ikejime semblent plus frais que ceux abattus par électrocution (5 contre 1).

## B. Colorimétrie

La couleur des filets de truites se situe en moyenne autour de faibles valeurs de  $a^*$  (intensité de rouge) et  $b^*$  (intensité de jaune). La clarté  $L^*$  des filets est aussi dans les valeurs basses. La répartition des couleurs est hétérogène durant l'analyse (figure 26).

Au cours des 12 premiers jours de conservation, la couleur ( $a^*$  et  $b^*$ ) des filets ne semble pas évoluer. Leur médiane respective se trouve autour de 10 et 9. Les méthodes d'abattage et de conservation n'ont l'air d'avoir aucun impact sur la couleur. Pour la clarté ( $L^*$ ), les poissons conservés en filets sont significativement plus clairs que ceux conservés entiers à J1. Cette tendance s'inverse à partir de J5 (test de Wilcoxon,  $p$ -value < 0,05).

À J19, les valeurs de  $a^*$  et  $b^*$  ont tendance à diminuer avec une médiane autour de 7 et celles de  $L^*$  à augmenter avec une médiane autour de 37. Ce sont les poissons conservés en filets qui sont les plus modifiés ce jour d'analyse (test de Wilcoxon,  $p$ -value < 0,01).

La méthode d'abattage a moins d'influence sur la modification de la couleur au cours de la conservation. Cependant, à J19, les poissons abattus par électrocution ont une clarté significativement supérieure à ceux abattus par ikejime (test de Wilcoxon,  $p$ -value = 0,0044).

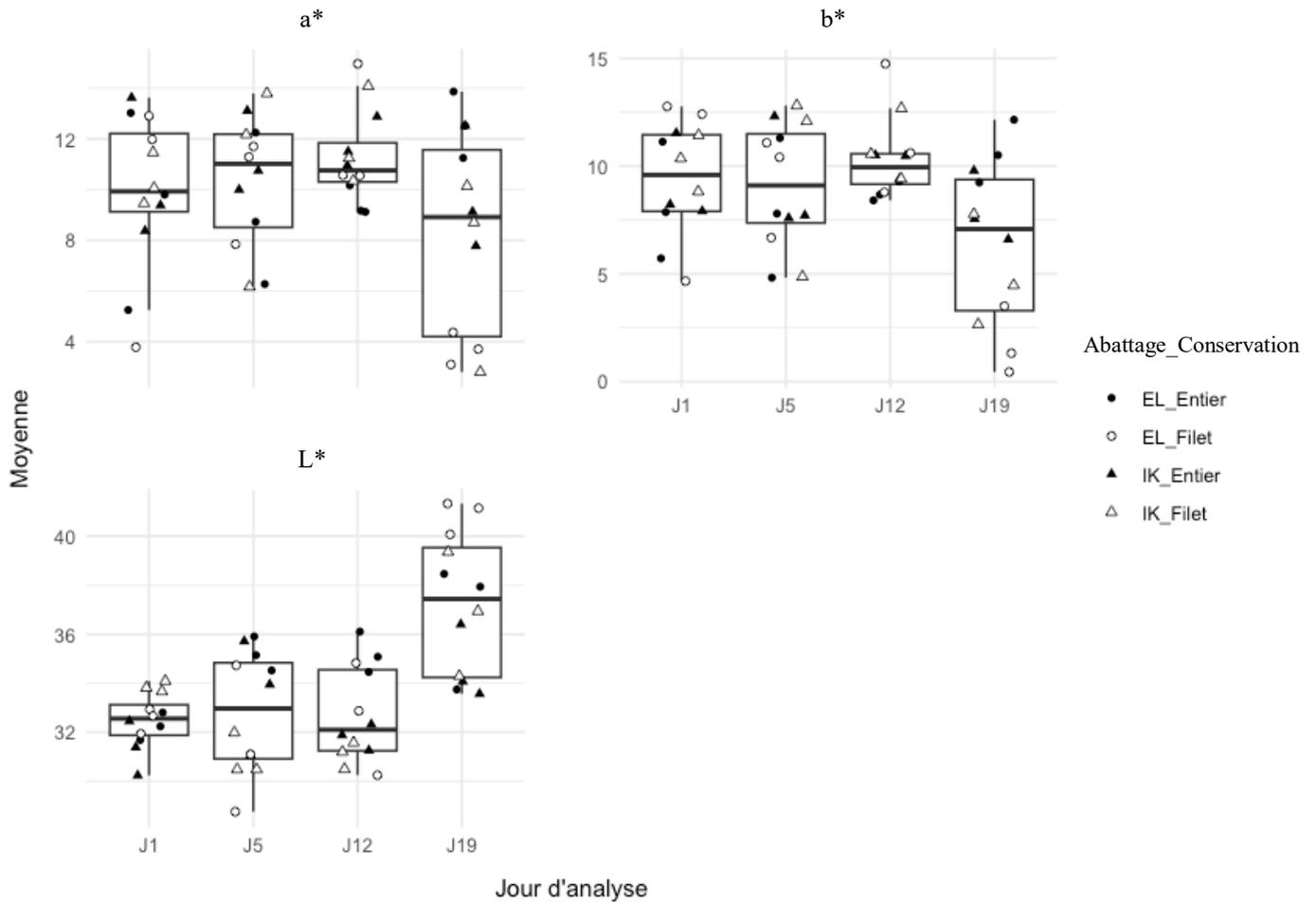


Figure 26 : évolution de la couleur moyenne des filets de poisson dans le système CIELAB au cours de la conservation

### Bilan colorimétrie

- La couleur (a\* et b\*) est stable au cours de la conservation de J1 à J12.
- La clarté est significativement plus élevée pour les poissons conservés en filets à J1 et le résultat inverse est présent à J5.
- A J19, ce sont les poissons conservés entiers qui voient leur couleur changer : augmentation de la clarté (L\*), diminution de l'intensité de rouge (a\*) et de jaune (b\*)
- A J19, ce sont les poissons abattus par électrocution qui sont les plus modifiés (augmentation de la clarté)

## C. Analyse texturale

### 1. TPA : profil d'analyse texturale

#### a) Dureté

A J1, la dureté est relativement hétérogène entre les poissons conservés en filets et entiers. Elle est significativement plus élevée que lors des autres jours d'analyse (test de Kruskal-Wallis,  $p\text{-value} = 7,3 \cdot 10^{-5}$ ). La force de compression varie entre 20 et 54 N pour une déformation de 50%. Les filets les plus fermes sont ceux issus des poissons abattus par la méthode ikejime (test de Wilcoxon,  $p\text{-value} = 0,0086$ ). Parmi eux, ce sont les poissons conservés en filets qui semblent les plus fermes (figure 27).

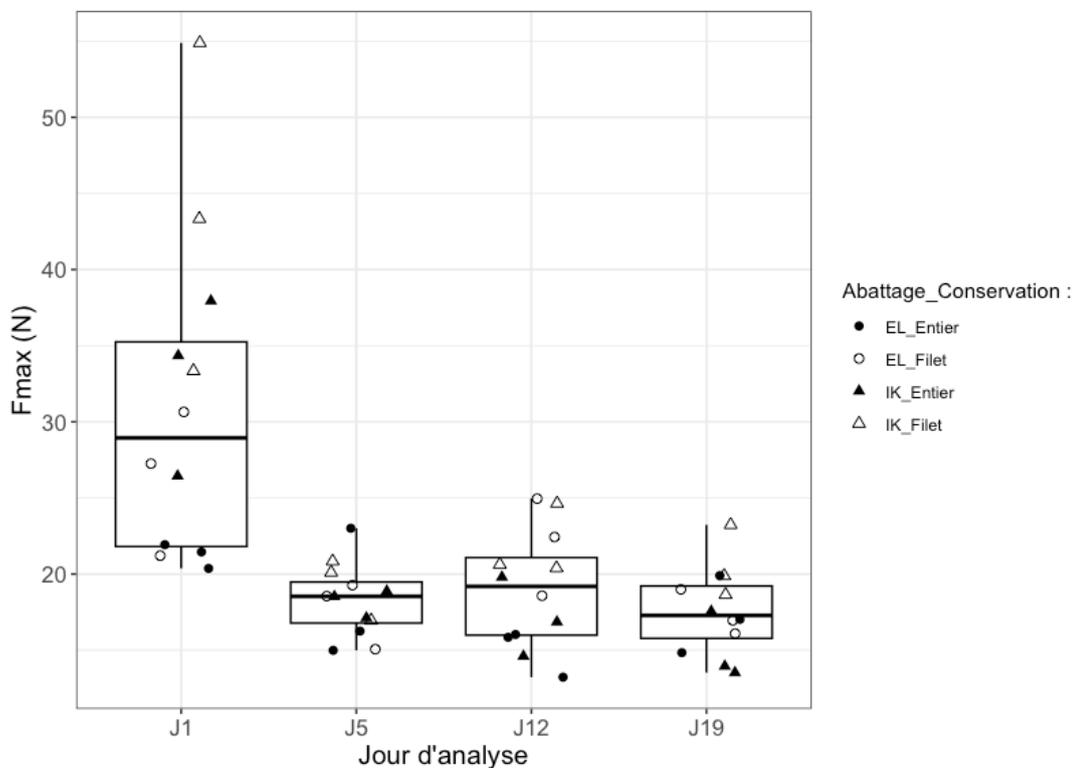


Figure 27 : évolution de la dureté des filets au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation

La dureté entre J5 et J19 est homogène avec une médiane autour de 18 N et inférieure à celle de J1. À ces stades, il n'existe pas de différence significative de dureté en fonction de la méthode d'abattage. En revanche, à J12, les poissons conservés en filets sont significativement plus fermes que ceux conservés entiers (test de Wilcoxon,  $p\text{-value} = 0,0043$ ) (tableau VII et figure 27).

Tableau VII : dureté moyenne et écart-type des filets à J12 selon l'état de conservation

Conservation à J12	Dureté (moyenne en N)	Écart type
Entier	16,1	1,08
Filet	21,9	1,78

b) Collant

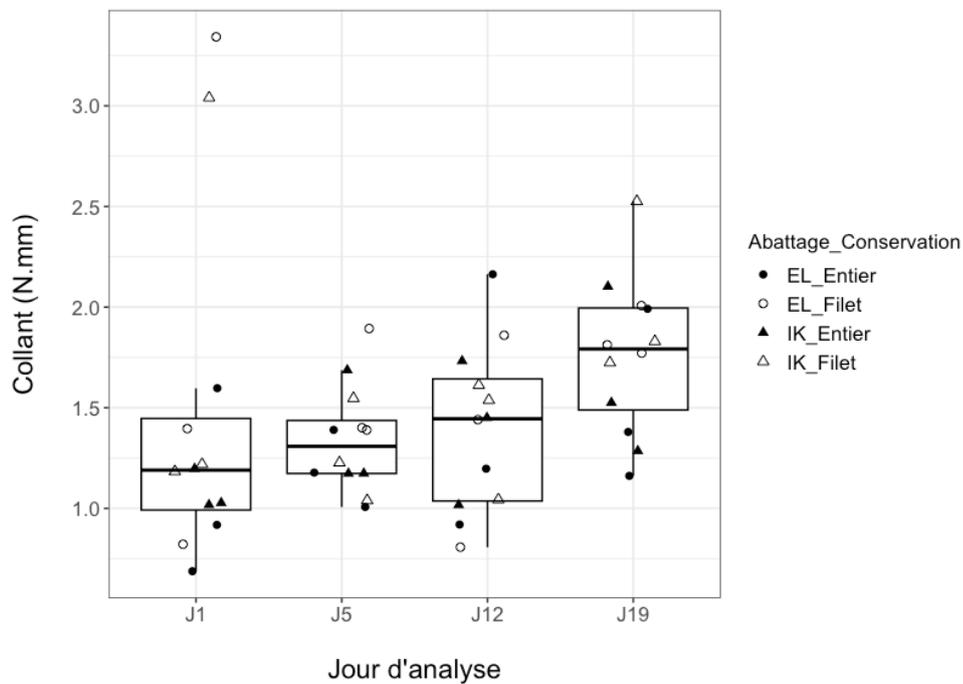


Figure 28 : évolution du collant au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation

La dispersion des valeurs de collant est hétérogène et quelques valeurs aberrantes sont présentes au cours de l'analyse (figure 28). Le collant augmente significativement au cours de la conservation (test de Kruskal-Wallis,  $p$ -value = 0,047). Cette différence est remarquable entre J1 et J19. Elle reste négligeable sur les autres jours d'analyse. Aucune tendance ne se dégage quant à l'influence de l'état de conservation et de la méthode d'abattage.

c) Cohésion

A chaque jour d'analyse, la dispersion des valeurs est moyenne. Le pourcentage de cohésion peut varier drastiquement pour une même méthode d'abattage et de conservation. On peut noter la présence de quelques valeurs aberrantes, particulièrement à J5 et J19. Par exemple, le pourcentage de cohésion varie de 21% (EL\_Filet) à J5 et 11% (IK\_Filet) à J19 pour une même méthode d'abattage et de conservation.

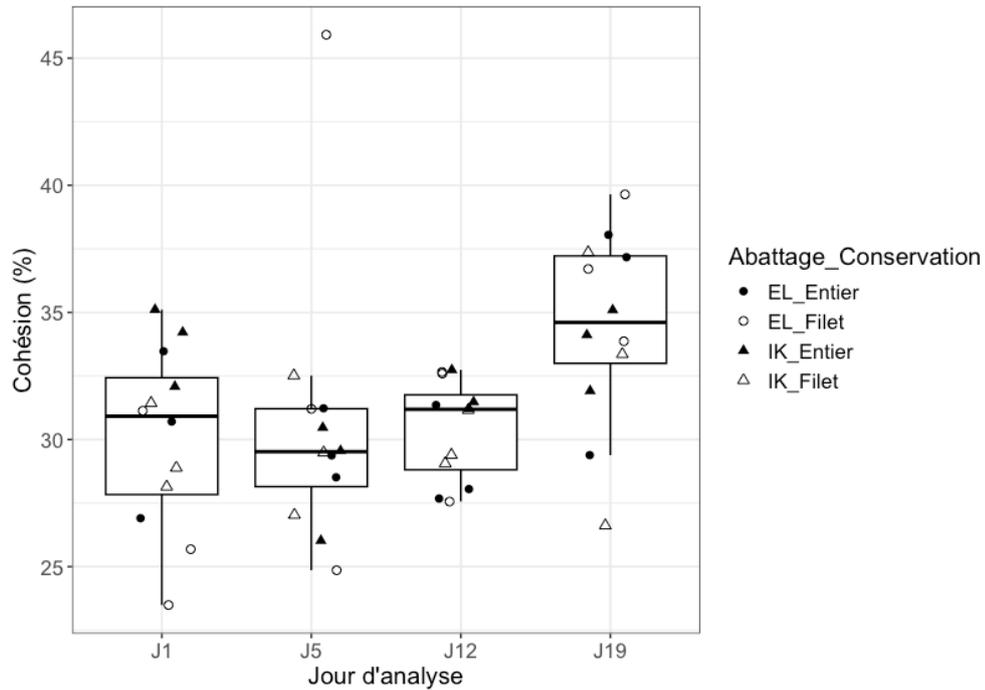


Figure 29 : évolution de la cohésion au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation

La cohésion ne semble pas varier au cours des 12 premiers jours de conservation, la médiane se trouve autour de 30%. A J19, la cohésion augmente légèrement avec une médiane à 35%. La cohésion est significativement plus importante par rapport à J5 (test de Kruskal-Wallis, p-value = 0,013). Aucune différence entre les méthodes d'abattage ou de conservation ne se dégage à chaque jour d'analyse.

## 2. Force de cisaillement

La dispersion de la force de cisaillement est élevée à chaque jour d'analyse. On peut noter quelques valeurs aberrantes à J1. Graphiquement, il semblerait que la force de cisaillement augmente au cours de l'analyse. Après avoir réalisé un test de Kruskal-Wallis, on remarque que la tendreté n'évolue pas au cours de la conservation.

La tendreté semble plus importante pour les poissons conservés en filets à J12, la tendance s'inverse à J19 (figure 30). Cette différence est significative uniquement à J12 (test de Wilcoxon, p-value = 0,0022). La méthode d'abattage ne semble pas impacter la tendreté des filets, même à J1.

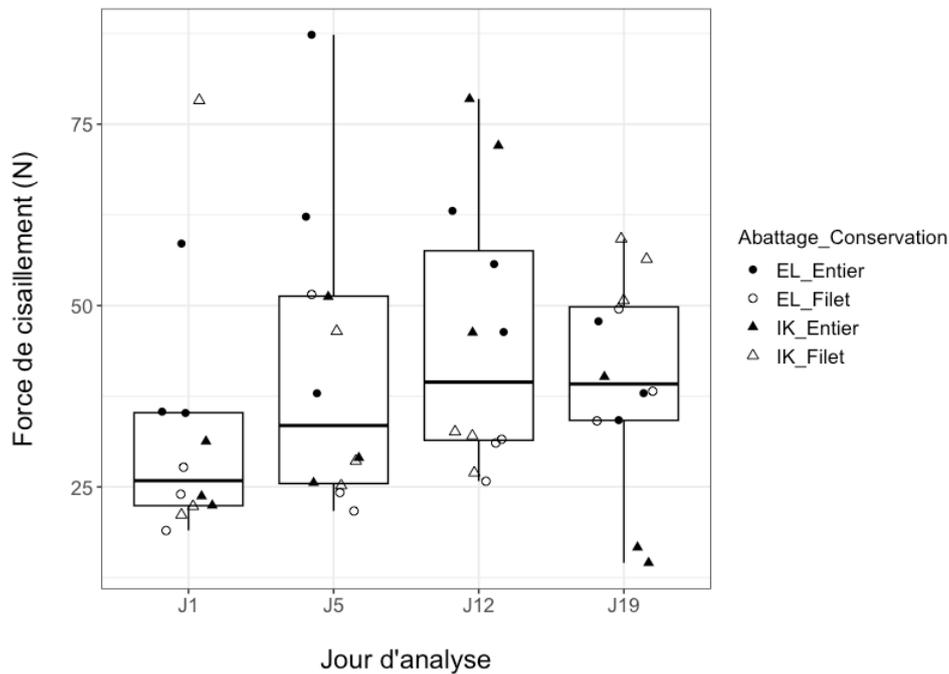


Figure 30 : évolution de la tendreté au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation

### Bilan texture

#### Dureté (compression) :

- Les poissons abattus par ikejime ont une chair significativement plus ferme à J1 uniquement. Parmi eux ce sont les poissons conservés en filets qui sont les plus fermes.
- Les poissons conservés en filets sont significativement plus fermes à J12 uniquement.
- A partir de J5, la dureté des filets reste constante avec une médiane autour de 18N.

#### Collant :

- Le collant augmente au cours de la conservation, particulièrement à J19.
- L'état de conservation ainsi que la méthode d'abattage n'influence pas le collant.

#### Cohésion :

- La cohésion au sein des filets est plus importante à J19.
- La cohésion n'est pas impactée par la méthode d'abattage et l'état de conservation.

#### Tendreté (cisaillement) :

- La tendreté des filets n'évolue pas au cours de la conservation.
- A J12, les poissons conservés en filets sont plus tendres que ceux conservés entiers.
- La méthode d'abattage n'affecte pas la force de cisaillement

Le mesure de fermeté par compression est plus sensible que celle de tendreté par cisaillement à J1.

## D. Évaluation du pH

La mesure du pH des filets de truite a été réalisée en 2 points, une mesure au niveau des muscles dorsaux et une au niveau des muscles ventraux. La figure suivante montre la répartition des pH dorsaux et ventraux de chaque filet de truite (figure 31).

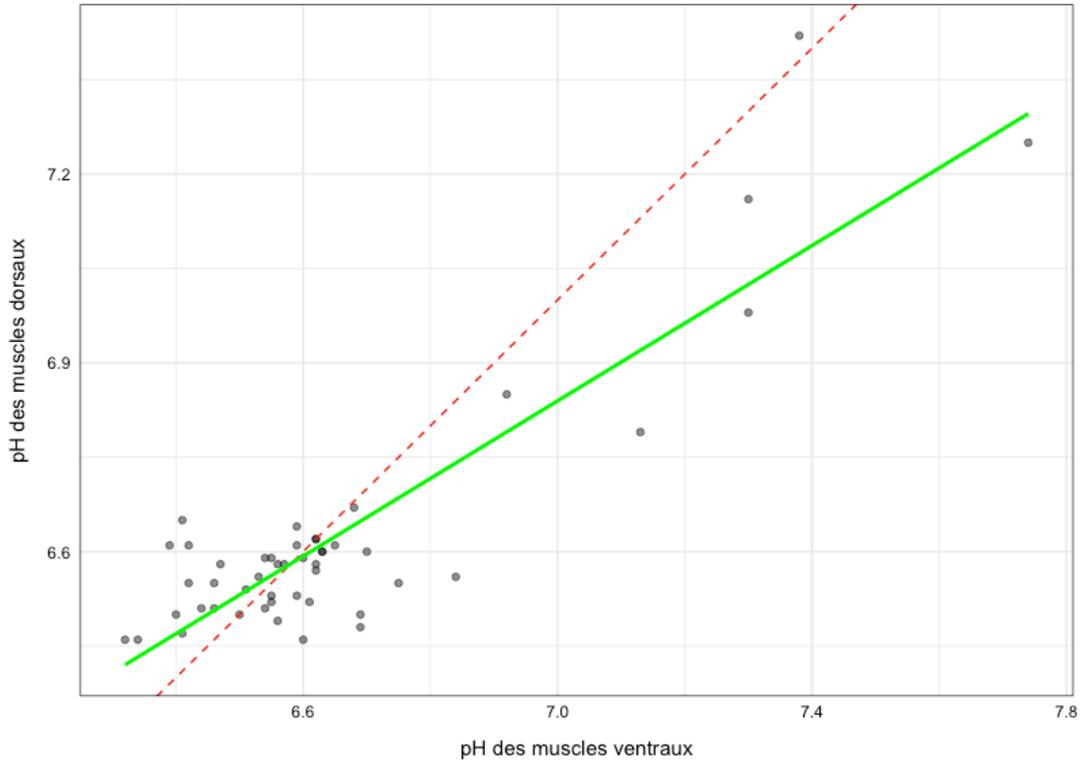


Figure 31 : répartition des pH des muscles ventraux et dorsaux chez la truite avec la droite de régression linéaire (vert) et la droite  $y = x$  (pointillé rouge)

Le coefficient de corrélation entre les pH dorsaux et ventraux est de 0,88 (corrélation de Pearson,  $p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$ ). Le coefficient directeur de la droite de régression linéaire est de 0,61. Par conséquent, le pH est différent selon la localisation sur le filet mais il existe une forte corrélation entre les pH dorsaux et ventraux. Pour chaque filet, nous avons décidé de faire la moyenne du pH dorsal et ventral afin de minimiser l'erreur liée à la localisation de la mesure.

La moyenne du pH des filets d'une même méthode d'abattage et de conservation est calculée à chaque jour d'analyse. Durant la totalité de la conservation, le pH reste globalement stable, il varie entre 6,5 et 6,8. Seuls les poissons conservés en filets voient leur pH augmenter à J19 avec une moyenne oscillant autour de 7,1 et 7,3 (figure 32).

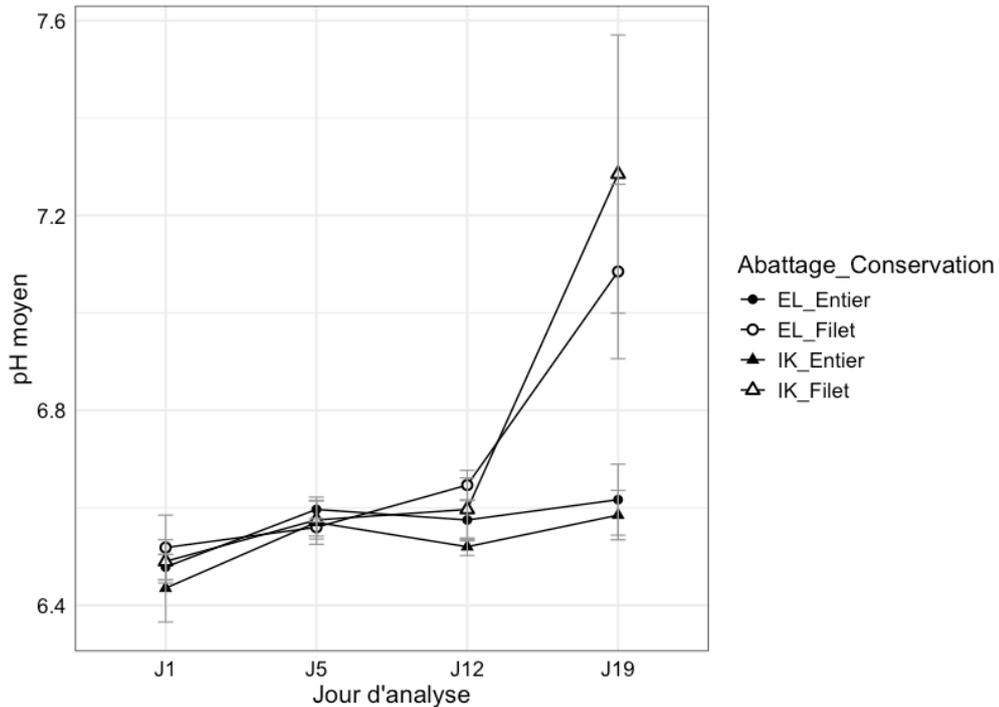


Figure 32 : évolution moyenne du pH musculaire au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation écarts types représentés par des barres d'erreur

A J19, le pH des poissons conservés en filets est significativement plus élevé que celui des poissons conservés entiers (test de Wilcoxon, p-value = 0,0022). La même tendance est présente à J12 mais n'est pas significative (p-value = 0,077).

### *Bilan pH*

- Les pH des muscles dorsaux et ventraux sont différents mais corrélés.
- Le pH de la truite évolue entre 6,4 et 7,3 au cours de la conservation.
- L'état de conservation impacte significativement le pH à J19 (Filet > Entier), la même tendance se dégage à J12.
- Aucune influence de la méthode d'abattage n'a été trouvée.

## E. Bactériologie

Lors de l'analyse bactériologique de J12 et J19, nous avons rencontré des problèmes de croissances bactériennes. De nombreuses incohérences étaient présentes lors du dénombrement. Par exemple, pour certains poissons, le nombre de colonies était non comptable sur la gélose de dilution  $D_n$  alors qu'aucune colonie n'était présente sur la dilution  $D_{n+1}$ . De même, pour une même dilution, le nombre de colonies était plus important à J5 qu'à J12. Par conséquent nous avons renouvelé l'expérience avec des filets congelés issus de J12 en modifiant le protocole (comme indiqué dans le matériel et méthode). Par soucis de temps, nous n'avons pu réaliser la même procédure pour les filets issus de J19. De ce fait, le dénombrement bactérien a été étudié

uniquement à J1, J5 et J12. L'évolution du nombre de colonies en fonction de la bactérie recherchée et selon les milieux de culture est renseignée dans la figure suivante.

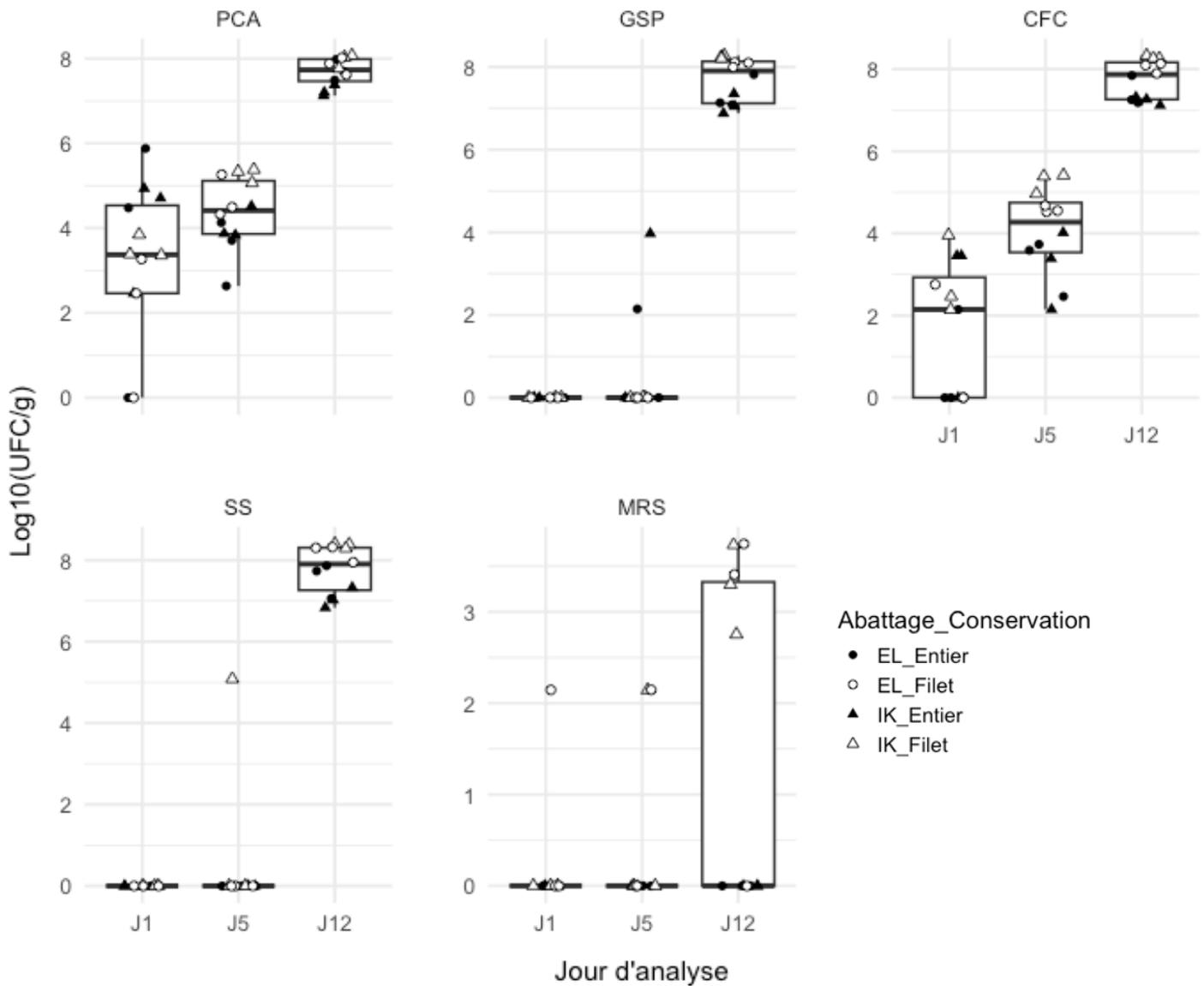


Figure 33 : dénombrement bactérien au cours de l'analyse en fonction de la méthode d'abattage et de la conservation

### a) Flore totale (PCA)

La flore totale croît de façon exponentielle de J1 à J12. La répartition du dénombrement bactérien est hétérogène à J1. Les poissons conservés entiers semblent plus contaminés à J1 même si cette différence n'est pas significative (test de Wilcoxon, p-value = 0,23). La dispersion est moindre aux autres jours d'analyse. Les poissons conservés en filets ont une charge bactérienne significativement plus élevée à J5 et J12 (test de Wilcoxon, p-value < 0,05).

### b) *Aeromonas spp (GSP)*

À J1, aucune bactérie de type *Aeromonas* ne s'est développée sur les géloses. Seulement 2 poissons présentaient des colonies apparentées à *Aeromonas* à J5. En revanche, à J12, tous les poissons étaient colonisés par *Aeromonas*, avec un dénombrement élevé autour de 8 log<sub>10</sub>(UFC/g). Les poissons conservés en filets sont environ 10 fois plus contaminés que les poissons conservés entiers. Cette différence est significative (test de Wilcoxon, p-value < 0,05). La méthode d'abattage ne semble pas impacter le développement d'*Aeromonas*.

### c) *Pseudomonas spp (CFC)*

Dès J1, certains poissons étaient colonisés par des *Pseudomonas*. La croissance bactérienne est proche de celle retrouvée sur la flore totale et elle est exponentielle. La médiane passe de 2 log<sub>10</sub>(UFC/g) au premier jour d'analyse à 8 log<sub>10</sub>(UFC/g) à J12. À J5 et J12, les poissons conservés en filets sont plus contaminés que les poissons conservés entiers (test de Wilcoxon, p-value < 0,05). Aucun impact de la méthode d'abattage ne peut être avancé.

### d) *Shewanella putrefaciens (SS)*

Les bactéries apparentées à *Shewanella putrefaciens* se sont principalement multipliées à J12. Seulement un poisson était contaminé à J5. À J12, le nombre de bactéries productrices de H<sub>2</sub>S était très élevée avec une valeur médiane autour de 8 log<sub>10</sub>(UFC/g). De même, que précédemment, ce sont les poissons conservés en filets qui étaient les plus contaminés (test de Wilcoxon, p-value < 0,05). La méthode d'abattage ne semble pas impacter le développement de ce genre bactérien.

### e) *Bactéries lactiques (MRS)*

Les bactéries lactiques ont été retrouvées uniquement sur des poissons conservés à l'état de filets. La charge bactérienne est restée faible au cours de la conservation. En moyenne entre 1,7 log<sub>10</sub>(UFC/g) et 3,5 log<sub>10</sub>(UFC/g). À J12, seulement un poisson conservé en filets ne présentait pas de bactéries lactiques. Aucune tendance ne se dégage quant à l'effet de la méthode d'abattage sur le développement de ces bactéries.

### f) *Identification MALDI-TOF*

Une souche bactérienne isolée d'une colonie noire cultivée sur gélose SS a été soumise à une analyse par MALDI-TOF pour identification. Cette souche a été identifiée comme appartenant à l'espèce *Shewanella putrefaciens*, avec un score d'identification de 2,41.

## *Bilan bactériologie*

- La croissance bactérienne de la flore totale et de *Pseudomonas* est exponentielle entre J1 et J12. La médiane se trouve autour de  $10^8$  UFC/g pour les *Pseudomonas* à J12.
- Pour les autres flores d'altérations, *Aeromonas* et *Shewanella* ainsi que les bactéries lactiques, la croissance est plus tardive et survient à J12.
- Le dénombrement des bactéries lactiques reste faible et ne concerne que les truites conservées en filets.
- Seul l'état de conservation impacte significativement la croissance bactérienne. Les poissons conservés en filets sont plus contaminés à J5 (flore totale et *Pseudomonas*) et à J12 (toutes les bactéries étudiées).
- Les bactéries productrices de H<sub>2</sub>S identifiées sur les géloses SS semblent apparentées à *Shewanella putrefaciens* d'après l'identification MALDI-TOF.

## F. Histologie

### 1. Analyse structurelle

Les tableaux suivants résument, par méthode d'abattage et jour d'analyse, la gradation de l'espacement entre les myofibres des muscles de truites. Nous nous sommes intéressés ici uniquement à l'impact de la méthode d'abattage et non de l'état de conservation. Les mêmes tableaux classant les poissons selon l'état de conservation ne sont pas présentés car aucune tendance ne s'en dégage.

*Tableau VIII : gradation de l'espacement entre les myofibres en fonction du jour d'analyse et de la méthode d'abattage*

Jour analyse		J1		J5		J12		J19	
Gradation	Abattage	IK	EL	IK	EL	IK	EL	IK	EL
	0	(absent)	1	0	0	0	0	0	0
1	(étroit)	2	4	4	1	0	1	1	0
2	(large <50%)	3	2	1	5	4	3	5	4
3	(large >50%)	0	0	1	0	2	2	0	1

À un jour *post-mortem*, les jonctions entre les myofibres sont presque toutes rompues. Un seul poisson (IK) ne présente pas d'espacement entre les myofibres. À J5, il semblerait que l'espacement entre les myofibres des poissons abattus par ikejime soit moins marqué que pour ceux abattus par électrocution. Cette différence n'est pas significative (test de Fisher, p-value = 0,08).

Durant les 5 premiers jours de conservation, l'espacement entre les myofibres reste moyen même s'il est déjà marqué pour certains filets. En revanche, à partir de J12, seulement 2 filets sur 24 présentent encore un faible espacement entre les myofibres contre 11 sur 24 entre J1 et J5. À J19, l'espacement entre les myofibres a l'air moins marqué qu'à J12 (tableau VIII).

Le détachement des myofibres du tissu conjonctif survient plus tardivement. À J1, la majorité des filets étudiés conservent encore 100% de leurs attaches au tissu conjonctif (7 filets sur 12). À ce stade d'analyse, 100% des poissons abattus par ikejime ont encore la totalité de leur tissu musculaire attaché au conjonctif. Seulement un poisson abattu par électrocution présente les mêmes caractéristiques. L'ikejime permet une meilleure conservation des jonctions entre les myofibres et le conjonctif à J1 (test de Fisher, p-value = 0,0015).

À J5, la totalité des filets présente des myofibres détachées, au moins partiellement, du tissu conjonctif. Les poissons abattus par ikejime semblent conserver d'avantage d'attaches entre les myofibres et le conjonctif que les poissons abattus par électrocution. Cette différence n'est pas significative. Aucune différence ne se dégage de l'analyse à J12 et J19 (tableau IX).

Tableau IX : gradation du détachement des myofibres au tissu conjonctif en fonction du jour d'analyse et de la méthode d'abattage

Jour analyse		J1		J5		J12		J19	
Gradation	Abattage	IK	EL	IK	EL	IK	EL	IK	EL
	0	(0%)	6	1	0	0	0	0	0
1	(<30%)	0	5	4	1	0	1	2	1
2	(30-60%)	0	0	2	4	5	3	1	2
3	(60%)	0	0	0	1	1	2	3	3

## 2. Analyse cellulaire

La dispersion du pourcentage de myofibres en hypercontraction et de ruptures des myofibres à chaque jour d'analyse est importante. Quelques valeurs aberrantes sont présentes, en particulier à J12 (figure 34 et 35).

Le pourcentage médian de myofibres en hypercontraction passe de 14 à 37% en 19 jours. L'hypercontraction des myofibres augmente significativement au cours de la conservation (test de Kruskal-Wallis, p-value = 0,00058). Cette différence devient notable à partir de J12 en comparaison par rapport à J1. Aucun penchant ne se dégage quant à l'influence de la méthode d'abattage ou de l'état de conservation (figure 34).

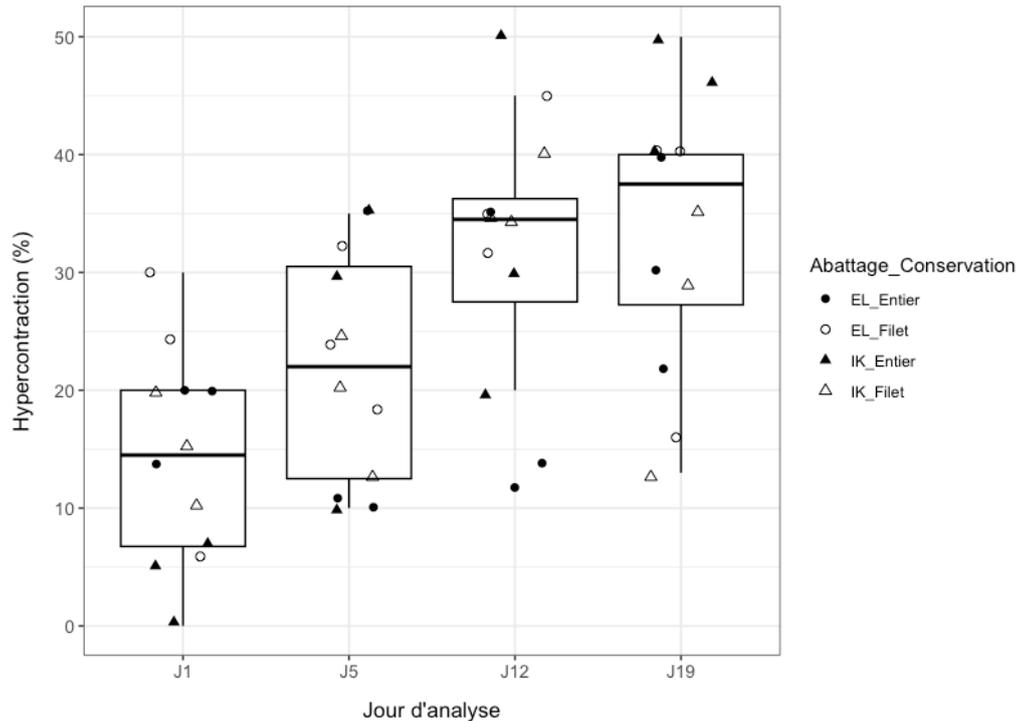


Figure 34 : évolution du pourcentage de contraction de myofibres au cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation

De même que pour la contraction, le pourcentage médian de rupture au sein des myofibres augmente au cours de la conservation. Il passe de 9% à 49% en 19 jours (figure 35). Cette augmentation est significative (test de Kruskal-Wallis,  $p\text{-value} = 6,6 \times 10^{-5}$ ).

Les poissons conservés en filets présentent plus de rupture au sein des myofibres. Dès J5, on observe quelques filets avec un taux de rupture autour de 40% alors qu'il ne dépasse pas les 20% pour les poissons conservés entiers. Les poissons conservés entiers possèdent significativement moins de ruptures au sein de leur myofibres, en particulier à J12 (test de Wilcoxon,  $p\text{-value} = 0,016$ ). La même tendance se dégage à J5 ( $p\text{-value} = 0,054$ ) mais n'est plus observée à J19.

A propos de l'influence de la méthode d'abattage, à J1, les poissons abattus par ikejime ont significativement moins de myofibres rompues que ceux abattus par électrocution (test de Wilcoxon,  $p\text{-value} = 0,042$ ).



## G. Oxydation lipidique

La dispersion des valeurs d'oxydation lipidique est faible sur l'ensemble de l'étude à l'exception de J1 (figure 36). Quelques valeurs aberrantes persistent, en particulier à J1 et J12. À J1, les filets, pourtant plus frais, sont significativement plus oxydés que les filets conservés 5, 12 et 19 jours en chambre froide (test de Kruskal-Wallis, p-value <0,05). À ce jour d'analyse, l'état oxydatif des poissons conservés entiers est significativement plus marqué (test de Wilcoxon, p-value =  $1 \times 10^{-5}$ ).

Dans l'ensemble de l'analyse, les valeurs TBARS varient peu au cours de la conservation, elles oscillent entre 1 et 2 mg/kg. L'oxydation au sein des filets augmente significativement entre J5 et J12 (test de Kruskal-Wallis, p-value <0,05), puis elle se stabilise.

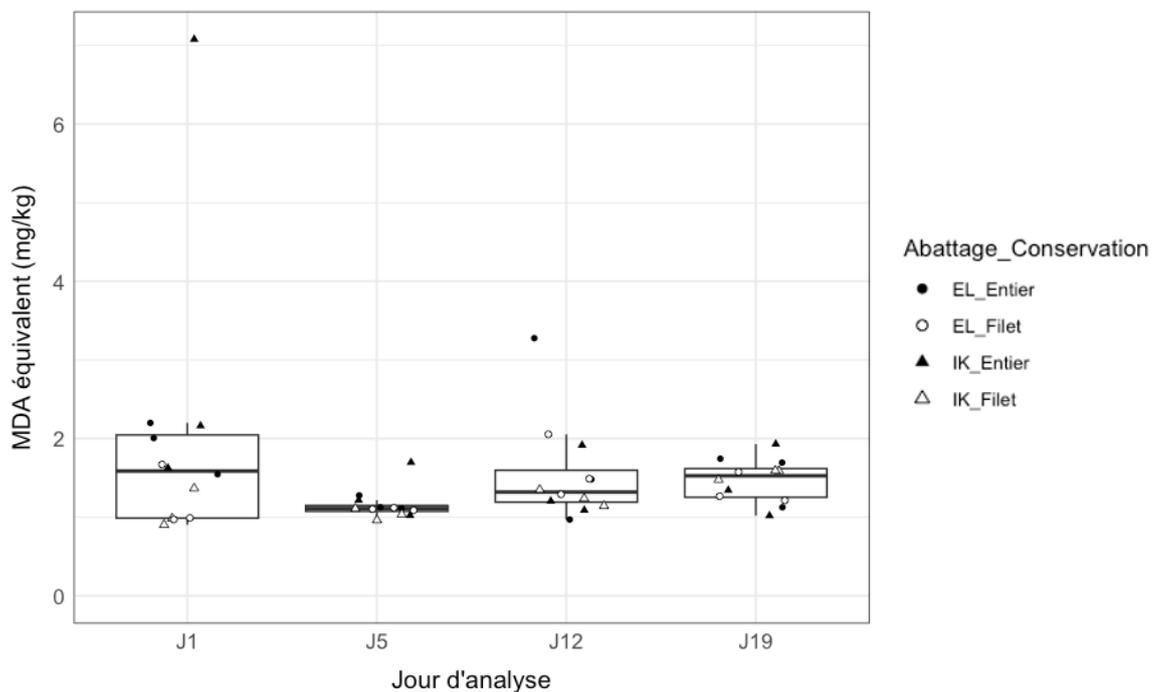


Figure 36 : évolution de la teneur en MDA cours de la conservation en fonction de la méthode d'abattage et de conservation

Nous avons également étudié l'impact de la couleur des filets sur l'oxydation (figure 37). Les caroténoïdes, qui contribuent à la coloration des filets, possèdent des propriétés antioxydantes. Ainsi, des filets de couleurs différentes peuvent présenter un niveau d'oxydation évoluant de manière similaire.

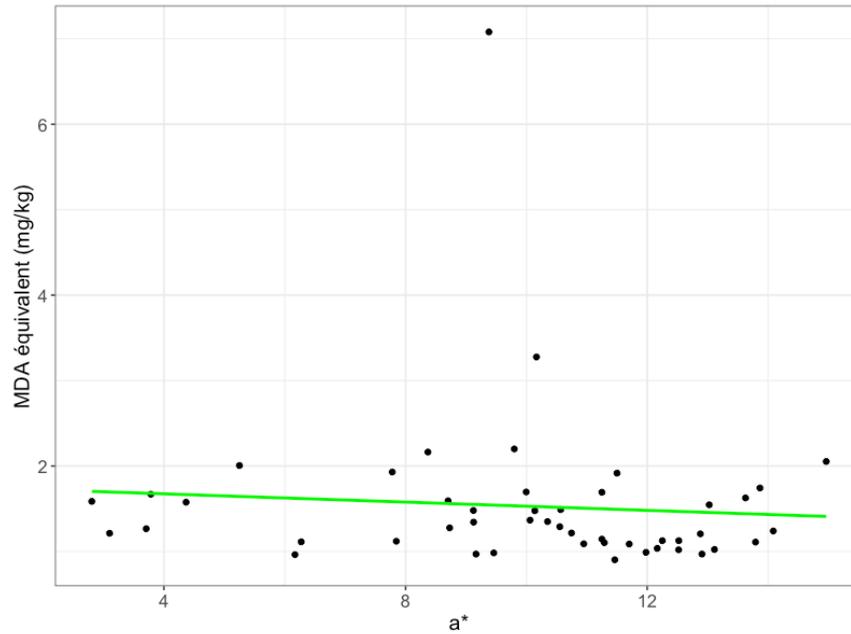


Figure 37 : répartition de la teneur en MDA des filets de truites en fonction de leur couleur  $a^*$ , droite de régression linéaire en vert

Aucune corrélation n'existe entre l'intensité de rouge des filets et l'oxydation (corrélation de Pearson,  $p$ -value > 0,05).

### *Bilan oxydation lipidique*

- L'oxydation diminue à J5 et augmente à J12.
- Les résultats trouvés à J1 sont étonnants.
- Seule la méthode de conservation impacte le niveau d'oxydation et uniquement à J1 (Entier > Filet).
- Aucune corrélation n'existe entre la couleur des filets et l'état d'oxydation.

## H. Analyse statistique multivariée : ACP et CAH

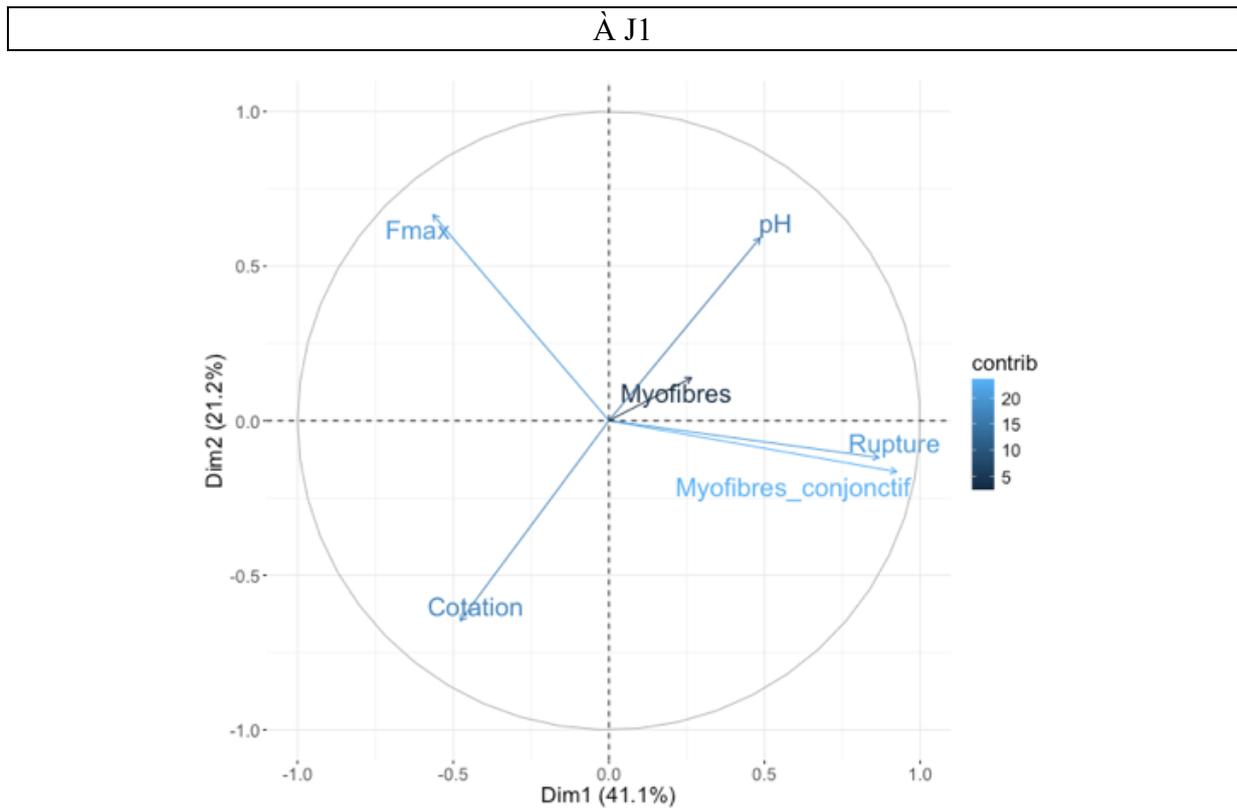


Figure 38 : répartition graphique des variables à J1 selon 2 dimensions avec l'ACP

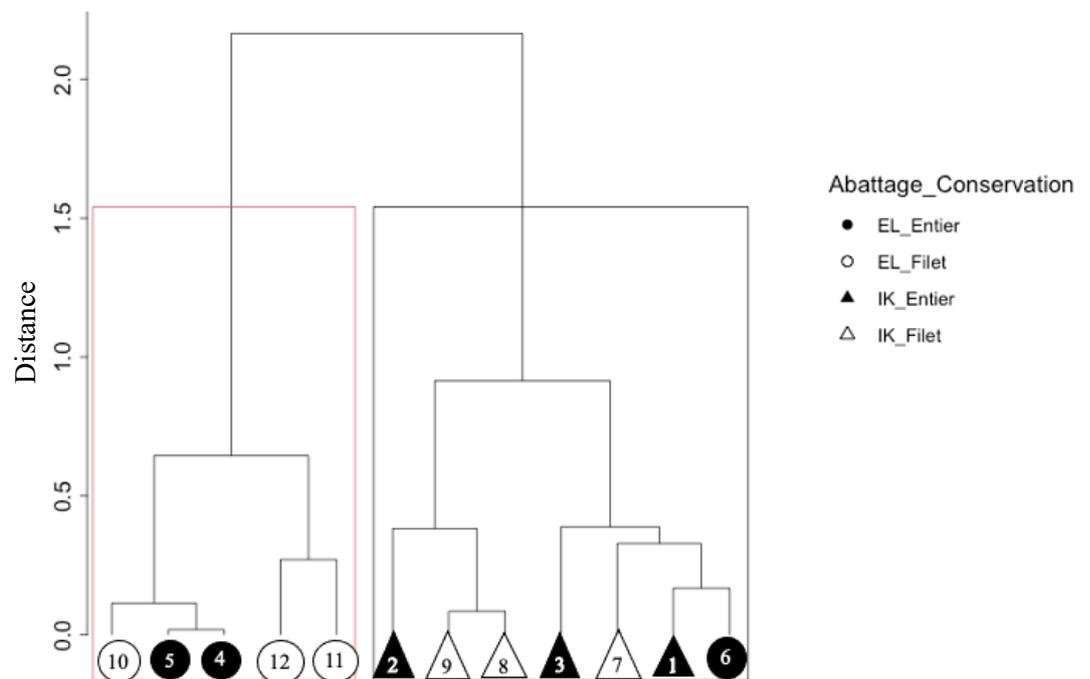


Figure 39 : dendrogramme de la classification hiérarchique à J1, les 2 clusters sont matérialisés par des rectangles rouges (cluster 1) et noirs (cluster 2)

L'ACP montre une bonne corrélation entre la rupture des myofibres et le détachement des cellules musculaires au tissu conjonctif. Ces deux paramètres semblent corrélés négativement à la fermeté de la chair (figure 38). L'espace entre les myofibres a peu de poids dans la répartition des poissons. La CAH permet de classer les clusters en deux groupes de 5 et 7 poissons (figure 39). Les deux variables qui contribuent significativement à la création de ces clusters sont la rupture cellulaire et le détachement des myofibres au conjonctif. Le cluster 1 (encadré en rouge) est composé exclusivement de poissons abattus par électrocution. Ces poissons possèdent significativement plus de ruptures de myofibres et un détachement plus important au tissu conjonctif. Le cluster 2 (encadré noir) comporte 1 poisson EL et 6 poissons IK. Ces 2 clusters permettent de différencier significativement les 2 méthodes d'abattage avec une bonne répartition à 91%. En revanche, à J1, le classement par cluster est mal réparti en fonction de l'état de conservation.

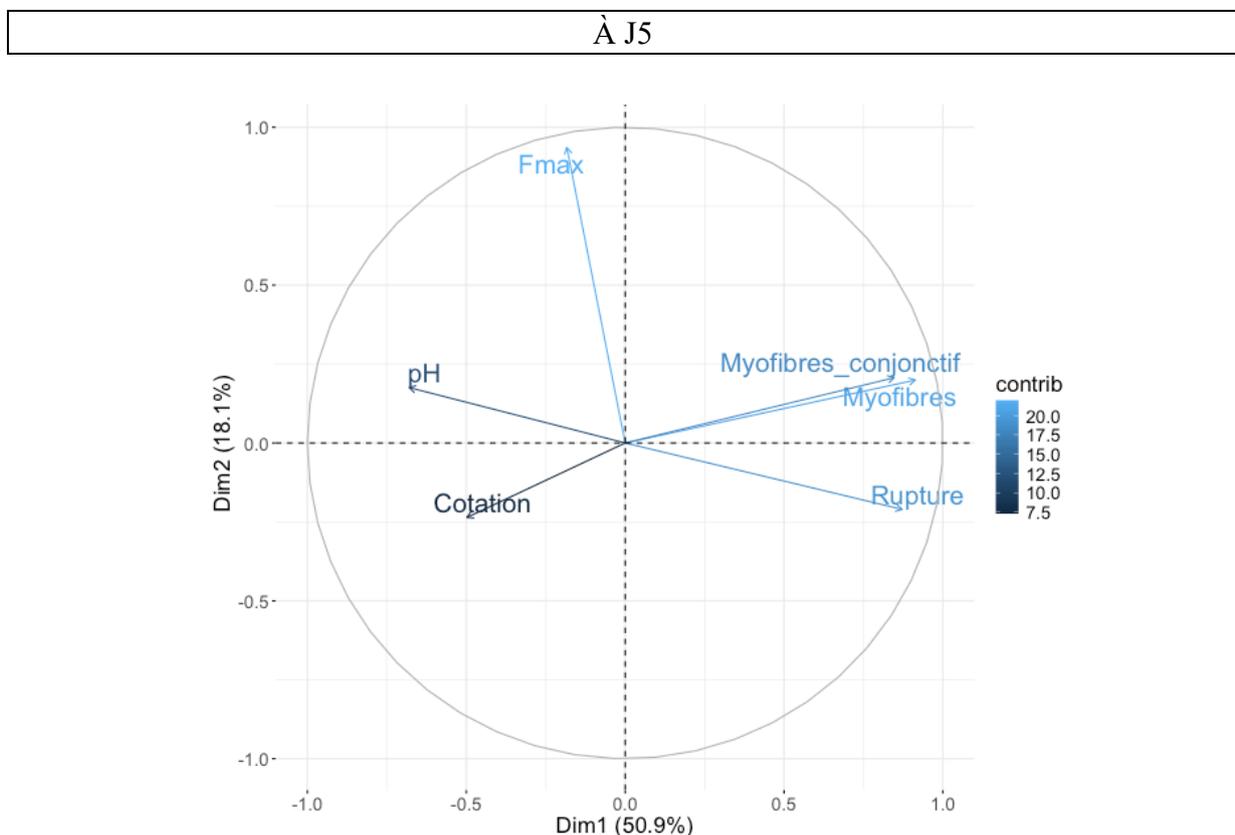


Figure 40 : répartition graphique des variables à J5 selon 2 dimensions avec l'ACP

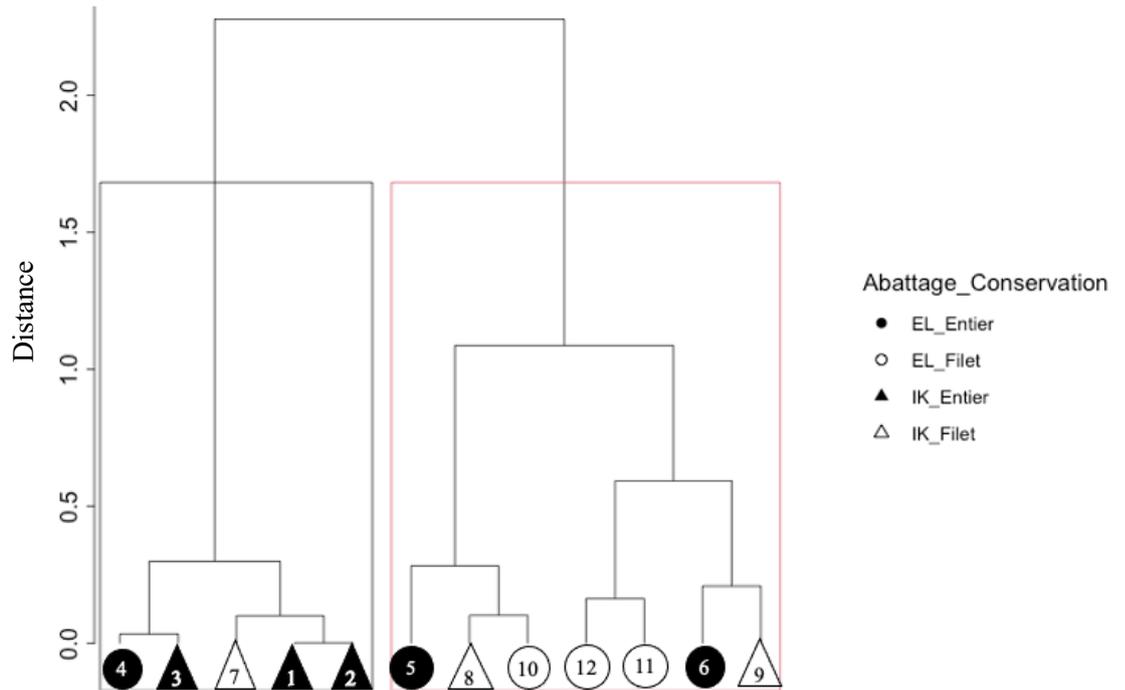


Figure 41 : dendrogramme de la classification hiérarchique à J5, les 2 clusters sont matérialisés par des rectangles rouges (cluster 1) et noirs (cluster 2)

L'ACP montre une très bonne corrélation entre l'espaceur entre les myofibrilles et le détachement du tissu conjonctif (figure 40). La CAH a classé 2 clusters composés chacun de 5 et 7 poissons. Le cluster 1 (rouge) est composé de 2 poissons IK et 5 EL alors que le 2<sup>e</sup> (noir) comporte de 4 poissons IK et 1 EL (figure 41). À J5, les 2 clusters permettent de moins bien différencier les groupes en fonction de la méthode d'abattage (75% de bonne répartition). Les variables les plus discriminantes sont les mêmes qu'à J1 (rupture cellulaire et détachement du conjonctif) avec en plus l'espaceur entre les myofibrilles. Le cluster 2 incluant le plus de poissons IK possède des moyennes d'altération histologique significativement plus faibles que le cluster 1. La formation de ces clusters permet de regrouper correctement 75% des poissons selon l'état de conservation.

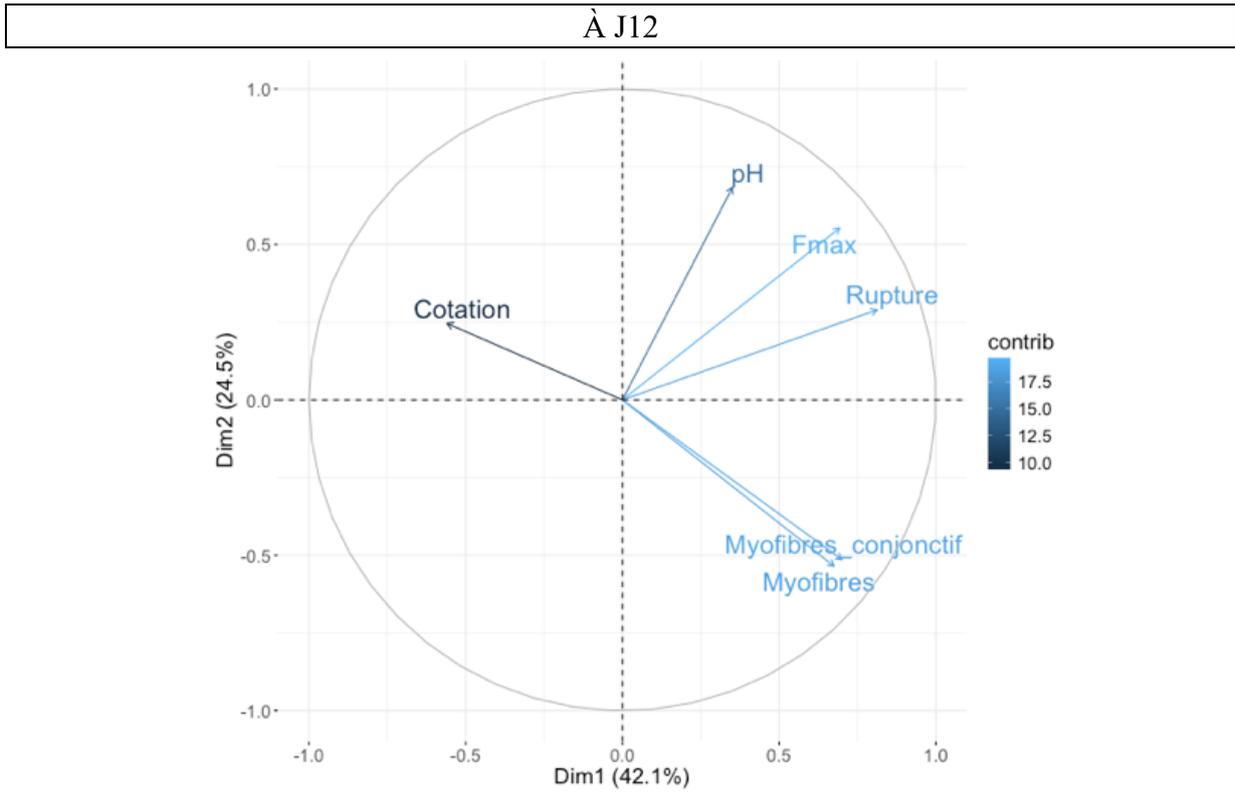


Figure 42 : répartition graphique des variables à J12 selon 2 dimensions avec l'ACP

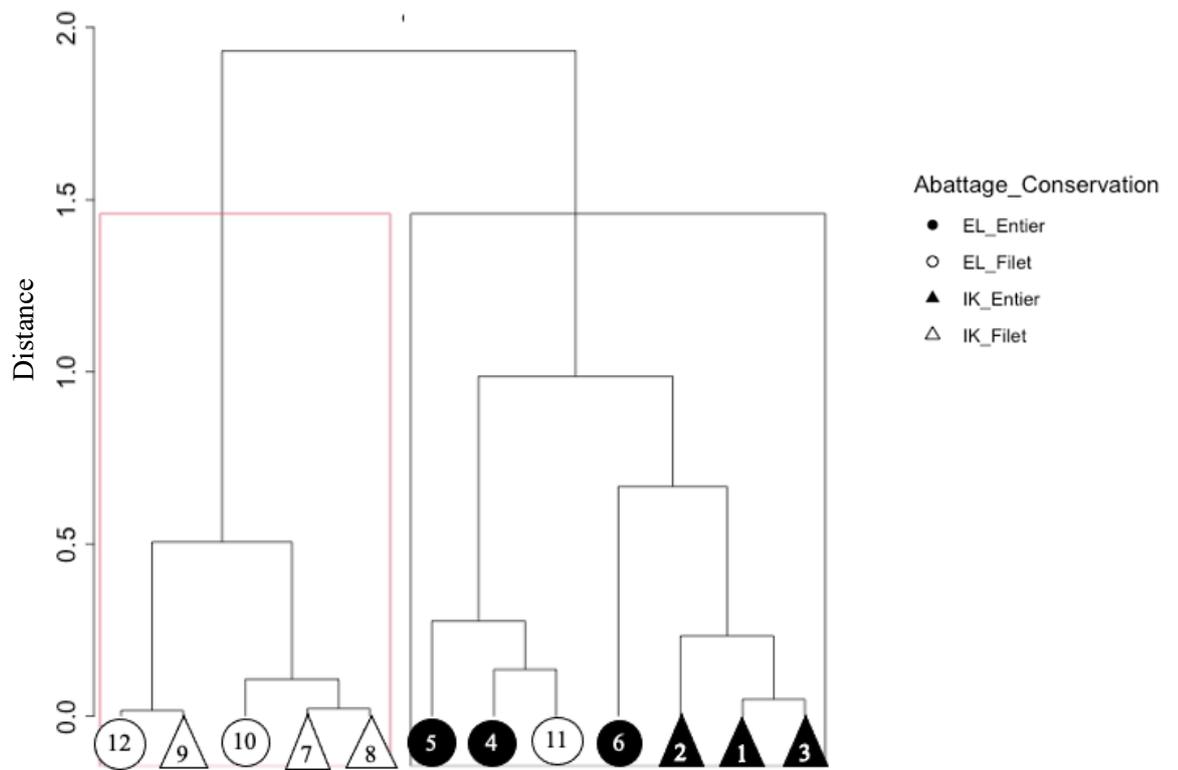


Figure 43 : dendrogramme de la classification hiérarchique à J12, les 2 clusters sont matérialisés par des rectangles rouges (cluster 1) et noirs (cluster 2)

Comme à J5, une forte corrélation existe entre l'espacement entre les myofibres et le détachement du conjonctif. À J12, ces variables sont corrélées négativement à la cotation fraîcheur (figure 43). Les 3 variables contribuant significativement à la réalisation des 2 clusters sont la fermeté, la rupture des myofibres et l'espacement entre ces dernières. Les poissons sont bien répartis à 91% selon l'état de conservation (figure 42). Il existe une différence significative entre les poissons conservés entiers et en filets. Le cluster 1 (rouge), comportant 5 poissons conservés en filets, possède des valeurs de fermeté plus grande mais aussi un plus grand nombre de ruptures cellulaires et d'espacements entre les myofibres. La distribution en clusters ne permet pas de différencier les deux méthodes d'abattage.

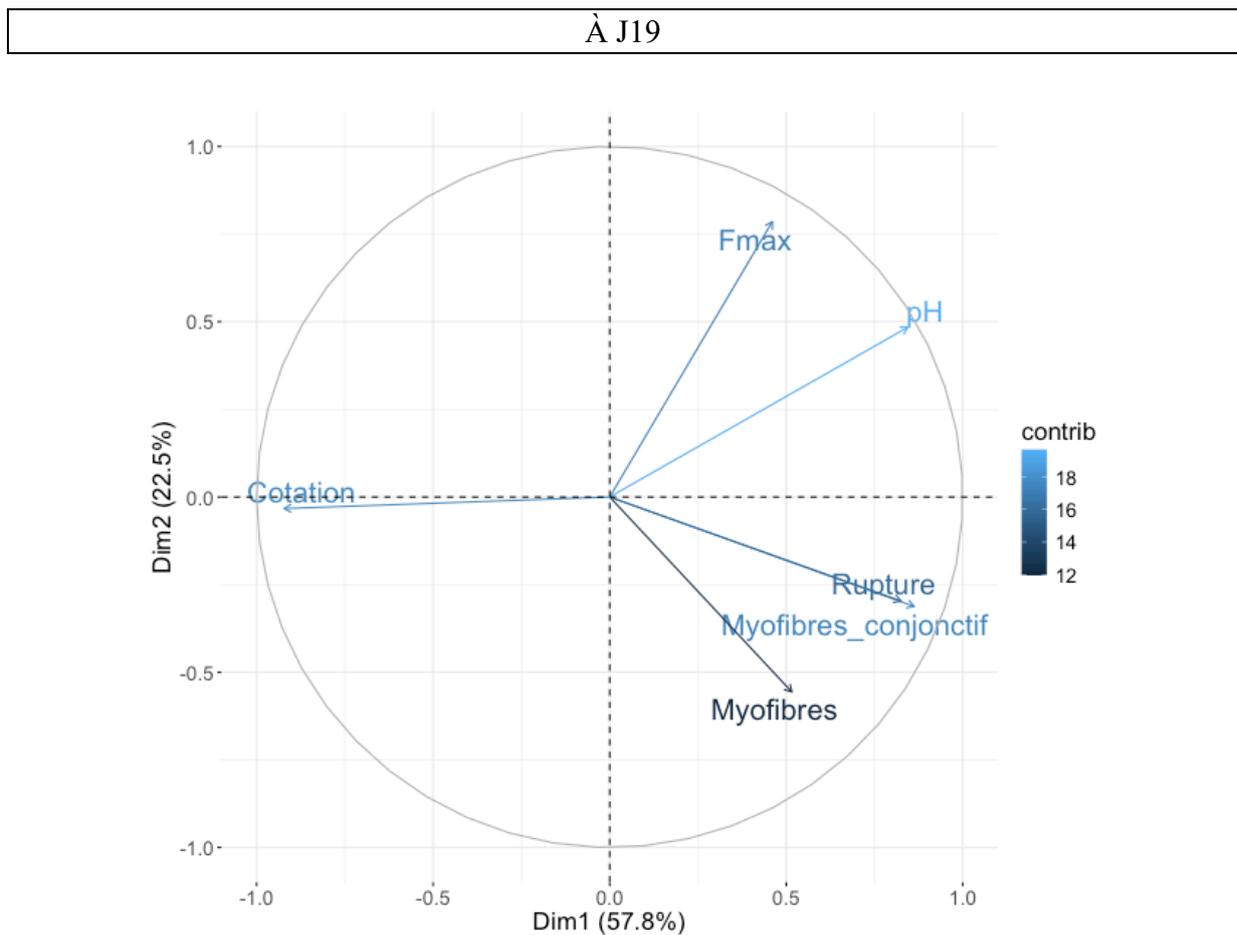


Figure 44 : répartition graphique des variables à J19 selon 2 dimensions avec l'ACP

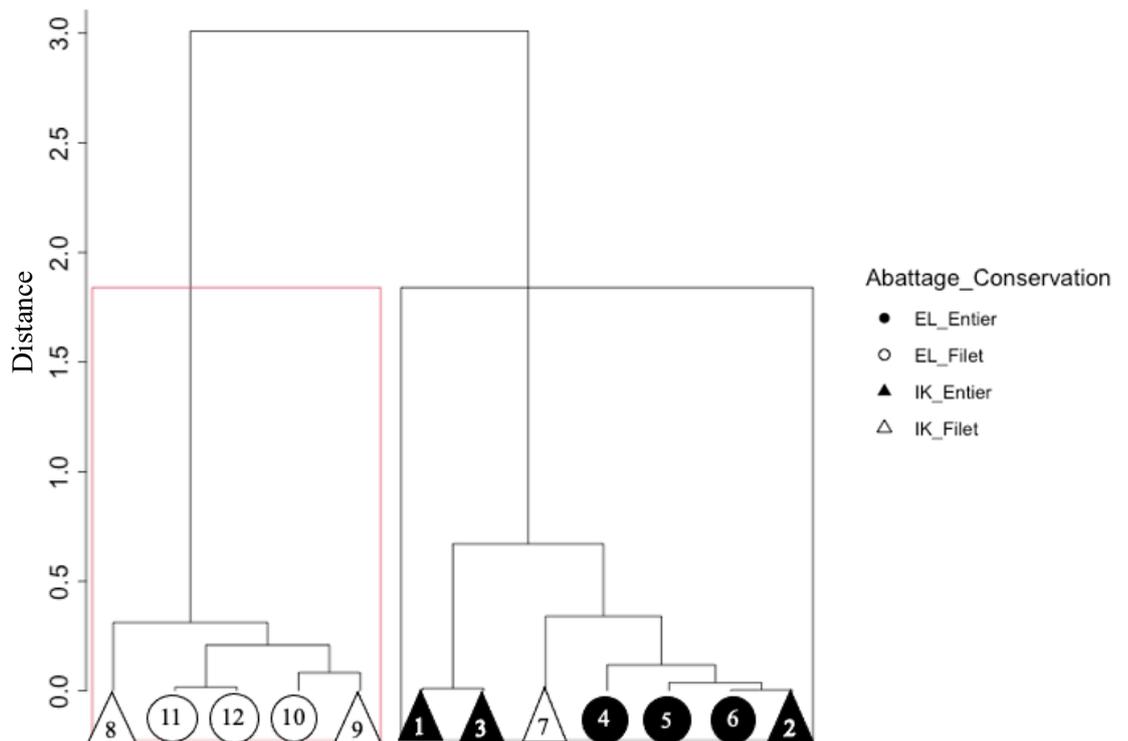


Figure 45 : dendrogramme de la classification hiérarchique à J19, les 2 clusters sont matérialisés par des rectangles (cluster 1) et noirs (cluster 2)

De même qu'à J1, la corrélation entre la rupture cellulaire et le détachement entre les myofibrilles est forte. Le pH et la cotation semblent plus influents qu'aux autres jours d'analyse (figure 44). La CAH permet de créer 2 clusters significativement différents. Ils correspondent à 91% aux groupes correspondant à l'état de conservation du poisson (figure 45). Les 5 poissons conservés en filets (cluster 1) ont des valeurs significativement plus élevées de pH, ruptures de myofibrilles et de détachement au conjonctif par rapport à l'autre cluster. De même la cotation fraîcheur est plus faible pour ces poissons. À ce stade de conservation, la distribution en clusters ne permet pas de différencier les deux méthodes d'abattage.

### *Bilan analyse multivariée*

- La méthode d'abattage influence sur la qualité principalement à J1, son impact est moindre à J5 puis la tendance s'inverse J12 et J19 : c'est l'effet de l'état de conservation qui prédomine.
- Les paramètres les plus discriminants dans la différenciation des méthodes d'abattage sont les données histologiques. En plus de ces variables, la fermeté à J12 et le pH et la cotation à J19 permettent aussi de différencier significativement les deux états de conservation.

### III. Discussion

#### A. Analyse sensorielle

##### 1. Grille de cotation

Seul l'état de conservation (entier ou en filet) impacte significativement la cotation de la fraîcheur des filets à J19. Les poissons conservés à l'état de filets sont moins bien notés que les poissons conservés entiers. Ces résultats sont différents de ceux trouvés par Chytiri et al. (2004) qui n'ont montré aucune différence significative entre ces deux groupes malgré une différence bactériologique. Dans notre étude, la méthode d'abattage ne semble pas avoir de répercussion sur la cotation des filets, sauf peut-être à J1 où les filets IK sont légèrement mieux notés (différence non significative). Il semble difficile de prouver qu'une méthode d'abattage apporte une meilleure qualité de la chair. Plusieurs études, comparant ikejime ou d'autres méthodes d'abattage n'ont montré aucune différence significative entre chacune d'elles (Tejada, Huidobro 2002; K Sorensen et al. 2004; Salazar Duque et al. 2019; Darmancourt et al. 2022). En revanche, l'étude de FranceAgriMer (2019) basée sur l'abattage ikejime en France a mis en évidence, via une analyse sensorielle gustative, que les poissons abattus par ikejime possédaient de meilleures qualités organoleptiques par rapport à une mort dans un bain de glace. Les poissons IK cuits étaient plus fondants en bouche et les poissons crus moins fermes et moins croquants. Après 12 jours de conservation, leur tenue était meilleure. De plus, le goût umami a été retrouvé seulement sur les poissons abattus par ikejime. Malgré la différence entre les paramètres de fraîcheur évalués dans notre étude, la comparaison avec l'étude FranceAgriMer reste intéressante. Il est possible que nous n'ayons pas retrouvé de telles différences, car la méthode d'abattage par électrocution est moins stressante que l'asphyxie dans un bain de glace. De plus, dans leur étude, seuls les poissons IK ont été saignés. On peut alors se demander si la méthode d'abattage a réellement un impact ou si la saignée a joué le rôle majeur. Cependant, il est certain qu'un panel de goûteurs expérimentés est infiniment plus précis qu'une évaluation via une grille de cotation, ce qui peut expliquer de telles différences avec notre étude.

La couleur des filets était très hétérogène à chaque jour d'analyse et a influencé les évaluateurs durant les premiers jours d'analyse. Il aurait été idéale d'avoir des filets de couleur neutre (blanc) afin qu'une partie de l'étude ne soit pas biaisé par l'idée reçue associant la couleur rosée à la qualité.

Dans notre étude, pour un même poisson, le coefficient de variation de la cotation fraîcheur était élevé et a augmenté au cours de la conservation. Selon les évaluateurs, des notes très différentes étaient attribuées au même poisson. Dans un premier temps, il faut prendre des précautions quant à l'utilisation du coefficient de variation sur des variables qualitatives, en particulier avec une échelle ordinale. En effet, l'intervalle entre chaque cotation n'est pas forcément équivalent et linéaire. Il est possible que certains paramètres, plus discriminants, aient plus de poids que d'autres. Ceci rend l'étude du coefficient de variation moins significative. En revanche, l'analyse de l'évolution du coefficient de variation est très intéressante. Dans notre étude, on observe qu'il augmente au cours de la conservation, en particulier à J19. C'est-à-dire que plus les poissons sont altérés et plus il est difficile, pour un évaluateur non entraîné, d'utiliser la grille de cotation. Il est possible que certaines notions de la grille ne soient pas faciles à appréhender, comme par exemple « odeur d'algue marine ». Cette odeur peut être

désagréable pour certaines personnes (Hyldig, Nielsen 2001) mais peut être un critère de qualité dans notre étude rappelant la mer. Même si chacun des paramètres a été expliqué au début de l'évaluation, il est possible que certaines notions trop précises n'aient pu être comprises par l'ensemble des évaluateurs. En effet, cette grille est utilisée dans d'autres études mais employée par des panelistes expérimentés (Chytiri et al. 2004; Ninan et al. 2011). D'autre part, certains évaluateurs étaient différents à chaque jour d'analyse, ce qui ajoute une hétérogénéité supplémentaire. Finalement, à défaut de panelistes expérimentés, il aurait fallu un effectif beaucoup plus important afin de dégager des résultats significatifs. Du point de vue organisationnel, il aurait été pertinent d'avoir une pièce par évaluateur afin que les réactions de chacun à la vue ou à l'odeur de certains filets n'influencent pas les autres.

## 2. Essai de comparaison par paire

La comparaison de l'état de fraîcheur subjectif des filets IK et EL a permis de mettre en évidence que les poissons abattus par ikejime semblaient plus frais après 12 jours de conservation. Cette différence est significative à J12 et J19 et rejoint l'étude menée par FranceAgriMer (2019). Cette méthode permet de s'affranchir des biais d'interprétation de la grille de cotation lorsque les évaluateurs ne sont pas expérimentés. En revanche, elle n'apporte aucune indication sur les différences pouvant exister entre les filets.

Étonnamment, dans cette partie, la couleur n'a pas influencé les évaluateurs (à l'exception de J1). Cette approche n'apportant pas d'information sur la raison du choix des panelistes, il est difficile d'expliquer pourquoi la couleur impacte moins lors de la comparaison par paire des filets que lors d'une évaluation avec une grille de cotation.

Dans notre étude, même si le nombre d'évaluateurs était supérieur ou égal aux 18 sujets recommandés (Voirin, 2014), il aurait été pertinent d'avoir plus de panelistes afin de pouvoir discriminer plus facilement et significativement certains filets. Un test triangulaire aurait été intéressant de manière à apporter plus de poids au test statistique, mais la faible quantité de poisson n'aurait permis de réaliser seulement 4 tests par jour d'analyse. De plus, avec ce test, le sens des différences n'aurait pas été indiqué.

### B. Colorimétrie

D'après Germond et al. (2023), la couleur de la chair, évolue principalement lors des 24 premières heures post-abattage. Une fois la *rigor mortis* passée, elle reste stable au cours de la conservation. Dans leur étude, Robb et al. (2000) mettent en évidence une clarté plus marquée pour des truites électrocutés par rapport à des poissons tués par anesthésie. D'après eux, des poissons stressés lors de l'abattage (ici l'électrocution) vont connaître une chute brutale de pH qui va dénaturer plus rapidement les protéines. Elles vont devenir insolubles, ce qui engendre une fuite d'eau vers l'extérieur du filet. Cette couche d'eau va modifier la réflexion de la lumière et augmenter la clarté du filet. A l'inverse, d'autres auteurs, décrivent qu'un stress *ante-mortem* diminue la clarté des filets (Roth et al. 2006; Lefèvre et al. 2008). L'étude de Morzel et al. en 2003, décrit une diminution de la clarté et une augmentation de l'intensité de rouge chez des turbots tués par électrocution. L'électrocution entrainerait une vasoconstriction veineuse qui

empêche un bon remplissage cardiaque et ainsi limite l'expulsion sanguine lors de la saignée. Dans notre étude, nous avons fait le choix de rincer les filets après la découpe. Il est possible que cet ajout d'humidité ait masqué la perte d'eau présente sur les filets ayant subi un stress durant l'abattage. Une autre hypothèse serait que la diminution brutale du pH et la vasoconstriction des veines liées à l'électrocution soient deux effets qui s'annulent. C'est pourquoi les poissons EL seraient de la même couleur que les poissons IK au début de l'analyse. Il aurait été pertinent de réaliser la déméduation lors de l'ikejime après la saignée. En effet, les contractions musculaires induites par cette méthode auraient pu permettre une meilleure expulsion sanguine et ainsi modifier la couleur des filets.

Les résultats obtenus indiquent que la méthode d'abattage (ikejime ou électrocution) influence de manière négligeable la couleur des filets de poisson durant la période de conservation. La couleur était hétérogène au sein des mêmes lots de poissons. Dès le prélèvement des filets post-abattage, des différences significatives de couleur ont été notées entre des poissons soumis aux mêmes conditions d'abattage. La coloration de la chair semble être principalement déterminée par l'apport de caroténoïdes d'origine alimentaire (astaxanthine), leur quantité ainsi que leur digestibilité influençant directement la teinte des filets (Choubert 1992). Ne connaissant pas précisément les conditions d'élevage, on peut supposer que la densité des poissons dans les bassins ainsi que la capacité d'absorption de chaque individu (appétit, accès à la nourriture) peuvent faire varier la couleur de chacun des filets. Les caroténoïdes sont des composés stables ainsi après la mort de l'animal, la concentration n'évolue pas, même au bout de 22 jours de conservation sur glace (Lerfall et al. 2016). Les modifications de couleur des filets durant la conservation semblent plutôt résulter de phénomènes tels que l'évolution de la texture, affectant ainsi l'absorption et la réflexion de la lumière (Germond et al. 2023). Par exemple, le moment du filetage impact la couleur des filets. Si il est réalisé avant la *rigor mortis*, la chair aura tendance à être plus sombre (Skjervold et al. 2001). Ce processus de *rigor mortis*, survenant dans un filet détaché du squelette, modifie d'autant plus la forme et la couleur du filet. Des résultats similaires ont été trouvés dans notre étude pour les poissons conservés en filets à J5. Ces filets probablement plus fermes sont ressortis plus sombres lors de la mesure de clarté.

Les variations de couleurs observées à J19 (augmentation de L\* et diminution de a\* et b\*) sont probablement dues à la putréfaction des filets. On a pu remarquer à ce stade, que les poissons conservés à l'état de filets, présentaient des taches jaune-vertes associées à une odeur nauséabonde. Ces taches étaient inégalement réparties sur les filets. Les variations de couleur plus marquées sur les poissons EL à J19 peuvent être expliquées par le fait que les mesures aient été réalisées sur des zones plus fortement impactées par la putréfaction.

## C. Analyse texturale

### 1. TPA : profil d'analyse texturale

#### a) *Dureté*

La dureté des filets décroît entre J1 et J5, puis reste stable jusqu'à J19. Des résultats comparables sont décrits dans la littérature (Duran et al. 2008). Une fois la *rigor mortis* passée, la force nécessaire pour comprimer 50% du filet avoisine les 18 N. Des résultats similaires ont été trouvés par Darmancourt et al. (2022) avec des médianes allant de 15 à 22 N entre J0 et J9. Dans cette dernière étude, la différence de fermeté entre J0 et J3 était moindre. Il est probable que cet écart soit lié au moment de la mesure par rapport à la *rigor mortis*. Il est possible que dans leur étude, à J0, la mesure de dureté ait été réalisée avant la *rigor mortis*. Ainsi la différence de dureté entre J0 et J3 ressort moins marquée que dans la nôtre, pour laquelle les mesures à J1 ont été réalisées pendant la *rigor mortis* des poissons IK. Dans la suite de l'analyse, la méthode d'abattage n'a pas impacté la dureté.

À J1, les truites abattues par ikejime sont plus fermes que les poissons abattus par électrocution. Cette différence s'explique par le fait que les poissons IK soient encore en *rigor mortis* 24 heures après l'abattage (FranceAgriMer 2019). Parmi les poissons IK de J1, ce sont les poissons conservés en filets qui présentent une fermeté accrue. Étant donné que seulement trois poissons par méthode d'abattage et de conservation ont pu être comparés, nous avons procédé à une analyse purement descriptive pour ce critère. Ce phénomène pourrait être attribué à un filetage précoce. En effet, les filets prélevés avant l'apparition de la *rigor mortis* peuvent présenter une plus grande amplitude de contraction par rapport aux filets ayant leurs muscles encore attachés à la colonne vertébrale. (Skjervold et al. 2001; Mørkøre et al. 2008). La fermeté de la chair se trouve alors augmentée. Dans notre étude, cette fermeté se prolonge dans le temps et les poissons conservés en filets sont aussi plus ferme à J12. Les mêmes résultats ont été trouvés dans les travaux de Skjervold et al. en 2001 au cours de 15 jours de conservation. Il semblerait que le moment du filetage impacte plus la fermeté de la chair que la méthode d'abattage utilisée (Roth et al. 2009). On peut supposer qu'un niveau de contraction plus important lors de la *rigor mortis* entraîne un relâchement plus faible des fibres musculaires (Huss 1999). Pour autant, nous avons vu dans l'analyse histologique que les filets conservés entiers possédaient plus de ruptures cellulaires. De ce fait, il n'y a pas de corrélation entre la fermeté et les cassures au sein des myofibrilles. La fermeté des filets serait alors reliée au maintien des structures conjonctives plutôt que musculaires (Ando et al. 1992). De plus, la fermeté de la chair est sûrement influencée par de nombreux autres facteurs, comme la qualité du nettoyage de la cavité abdominale après éviscération (Jacobsen et al. 2017).

#### b) *Collant*

Le collant n'a pas été impacté par la méthode d'abattage et l'état de conservation. Ces résultats coïncident avec une partie de la bibliographie qui ne décrit aucun impact de la méthode d'abattage sur la caractéristique collante des filets (Concollato et al. 2019; Darmancourt et al. 2022). En revanche (Cavali et al. 2024) a montré que l'électrocution augmentait la valeur du collant en comparaison à une mort par asphyxie. Par ailleurs, en analyse sensorielle, les poissons

ikejime sont apparus comme légèrement plus collants que les poissons abattus par asphyxie (FranceAgriMer 2019). L'ikejime et l'électrocution apportent toutes les deux plus de collant par rapport à l'asphyxie mais aucune différence n'a pu être mise en évidence entre ces deux pratiques.

Nous avons remarqué une augmentation du collant à J19. Les poissons avec une valeur de collant plus élevée sont en majorité des poissons qui ont été conservés en filets. On peut supposer ici que cette augmentation est liée à l'état de conservation avancée des filets ainsi qu'à la putréfaction.

### *c) Cohésion*

Les valeurs médianes de cohésion dans notre étude sont autour de 30-35%. Des résultats similaires ont été trouvés dans les travaux de Darmancourt et al. en 2022. La cohésion reste stable au cours des 12 premiers jours de conservation puis augmente à J19. A l'inverse, Bordignon et al. (2024) ont mis en évidence une diminution de la cohésion au cours de la conservation. Avec le TPA, la cohésion est définie comme la capacité de la chair à retrouver son état initial après une compression. Elle est calculée en faisant le rapport des forces appliquées lors de la première compression avec la deuxième. Les résultats de J19 sont étonnants. On aurait pu s'attendre à une perte de cohésion lorsque l'état de putréfaction avance. L'augmentation du collant à J19 peut expliquer ce phénomène. Il est possible que le retrait de la sonde après la première compression favorise la remise en place des constituants présents avant la compression. Ainsi la force nécessaire à la deuxième compression est augmentée et la cohésion augmente. De plus, nous avons remarqué lors de l'analyse histologique qu'il y avait une diminution de l'espacement entre les myofibrilles à J19 du fait de la lyse bactérienne. Ce qui va aussi dans le sens d'une augmentation de la cohésion. Il aurait été intéressant de connaître l'élasticité des filets en complément de la cohésion afin de mieux comprendre ce phénomène.

La méthode d'abattage et de conservation ne paraît pas intervenir dans la cohésion. Ces résultats sont en accord avec la littérature (Concollato et al. 2019; Bordignon et al. 2024).

## **2. Force de cisaillement**

La force de cisaillement, apparentée à la tendreté n'évolue pas au cours de la conservation. Nos résultats coïncident avec la littérature, qui montre que la méthode d'abattage n'a aucun impact sur ce paramètre (Roth et al. 2006; Simitzis et al. 2013; Dalle Zotte et al. 2020). A chaque jour d'analyse, les résultats trouvés étaient très hétérogènes. La différence marquée de texture entre le chair et la peau du poisson peut expliquer ces fortes variations de forces à la découpe. En travaillant sur des filets sans peau, Morzel, et al. (2003) et Zhang et al. (2019) ont remarqué que les poissons stressés avant abattage ainsi que ceux abattus par électrocution étaient plus mous au cours de la conservation. Il aurait été intéressant de réaliser cette expérience sur la chair exclusivement afin d'avoir des résultats plus représentatifs.

A J12, les poissons conservés en filets ont besoin d'une force moins grande pour être découpés que les poissons entiers. Ils sont alors caractérisés comme plus tendres. Ces résultats sont surprenants sachant que d'après le TPA, ces mêmes filets sont plus fermes. On retrouve

les mêmes résultats à J1, les poissons les plus fermes sont ceux avec la force de cisaillement la plus faible. Les filets de poissons sont difficiles à découper à cause de leur caractère mou et collant. Il est possible que la fermeté d'un filet favorise sa découpe. Le terme de tendreté pour caractériser le cisaillement semble alors moins adapté au poisson. Néanmoins, nos résultats sont opposés à ceux de de Dalle Zotte et al. (2020) où la force de cisaillement évolue dans le même sens que la force de compression. La force de cisaillement a été calculée pour une vitesse de cisaillement de 15mm/s contre 1mm/s dans notre étude. Il est possible qu'une découpe plus franche permette d'avoir des résultats plus précis.

En comparant l'étude de la compression à celle du cisaillement, on s'aperçoit que la mesure de compression permet d'avoir des résultats plus discriminants à J1. La compression est plus sensible que le cisaillement. Cependant, ces deux paramètres restent pertinents à étudier car ils apportent des informations différentes.

## D. pH

Les valeurs de pH mesurées dans notre étude sont similaires à celles retrouvées dans la littérature. En effet, Robb et al. 2000 et Darmancourt et al. 2022, ont mesuré, sur des truites abattues par électrocution et ikejime, des pH avoisinant les 6,5 un jour après l'abattage.

Nous avons remarqué aucune différence de pH entre les deux méthodes d'abattage. D'après la littérature, les variations de pH les plus marquées ont lieu lors des premières 24 heures après la mise à mort (Rammouz et al. 2013). Les poissons ayant subi un stress important voient leur pH diminuer brutalement par rapport aux poissons non stressés. En revanche, d'après Borderías et Sánchez-Alonso (2011), au bout de 24 heures, le pH des poissons non stressés atteint le même niveau que ceux qui ont été stressés. Ceci explique pourquoi on ne distingue pas de différence de pH entre l'ikejime et l'électrocution au cours de la conservation. Il aurait pu être intéressant de mesurer le pH dès la mise à mort du poisson. Malgré tout, démarrer les analyses 24 heures post-abattage a permis de réaliser l'abattage des poissons ainsi que leur stockage en chambre froide dans des conditions idéales afin de respecter la chaîne du froid à chacune des étapes.

Le pH a augmenté de façon significative chez les poissons conservés à l'état de filets à J19, c'est-à-dire à la fin du processus d'altération du poisson. D'après Huss (1999), c'est à ce stade que l'altération bactériologique impacte la qualité de la chair. On peut supposer que cette augmentation de pH est due à l'activité bactérienne. D'après Duran et al. (2008), ce sont les bactéries qui convertissent l'azote présent dans les filets en composé basique. L'augmentation du pH serait alors corrélée à la charge bactérienne. Ces données sont en adéquation avec notre étude bactériologique qui montre que les poissons conservés en filets ont une charge bactérienne plus élevée que ceux conservés entiers. Cette différence bactériologique est notable entre J5 et J12. On peut supposer dans un premier temps que la charge bactérienne augmente sans modifier le pH. Puis qu'à partir d'un certain seuil, ces bactéries produisent assez de composés basiques pour modifier le pH du filet.

## E. Bactériologie

La croissance bactérienne est exponentielle au cours de la conservation. Le nombre médian de bactéries à J12 avoisine les  $10^8$  UFC/g sur PCA mais aussi pour les flores d'altération. Cette concentration est au-dessus des normes pour la consommation humaine qui se trouve entre  $10^6$  et  $10^7$  UFC/g (Roberts et al. 1996; Chang et al. 1998).

La croissance des *Pseudomonas* est proche de celle trouvée pour la flore totale. À J5, nous avons dénombré en moyenne  $6 \times 10^4$  UFC/g de *Pseudomonas* sur les géloses. Les autres flores d'altération (*Aeromonas* et *Shewanella putrefaciens*) ont montré une croissance retardée par rapport aux bactéries de la flore totale. Ces bactéries étaient quasiment absentes à J1 et J5. En revanche, leur effectif a augmenté de façon exponentielle à J12, atteignant des niveaux comparables à ceux de la flore totale. Dans l'ensemble des analyses bactériologiques, il apparaît que l'altération survient dans un second temps, après 5 jours de conservation, comme décrit par Huss en 1999. Un schéma de croissance bactérienne similaire a été observé dans l'étude de Chytiri et al. (2004) et Darmancourt et al. (2022). Le dénombrement de *Pseudomonas* augmente rapidement dès 6 jours de conservation alors que la croissance des bactéries produisant du  $H_2S$  a lieu entre le 6<sup>e</sup> et 12<sup>e</sup> jour de conservation. D'après González et al. (2001), la croissance d'*Aeromonas spp* est également tardive et survient après 9 jours de conservation sur glace. Sachant que le caractère rancit de la truite conservée en filet est décrit au 10-12<sup>e</sup> jours de conservation (Taliadourou et al. 2003; Chytiri et al. 2004), on peut se demander si la capacité d'altération des bactéries productrice d' $H_2S$  (apparentées à *S. Putrefaciens*) ainsi que des *Aeromonas* est plus significative que celles de *Pseudomonas*. Le peu d'études sur le sujet ne permet de conclure face à cette interrogation. Il aurait été pertinent d'étudier la croissance bactérienne des filets entre J5 et J12 afin de mieux se rendre compte de la cinétique du développement bactérien.

À partir de J5, ce sont les poissons conservés à l'état de filets qui présentaient la plus grande charge bactérienne. Des résultats similaires ont été trouvés par Chytiri et al. (2004). Le dénombrement bactérien des truites conservées en filets était supérieur à celles conservées entières, même non éviscérées. Dans un premier temps, on peut supposer que lorsque les poissons sont conservés à l'état de filets, la chair se retrouve directement en contact avec les bactéries commensales du poisson ou des bactéries de l'environnement. Par conséquent, en l'absence de péritoine pour protéger la chair, le développement bactérien y est facilité. De plus, l'analyse histologique a permis de montrer que les poissons conservés en filets présentaient plus de ruptures cellulaires. L'augmentation de lésions cellulaires libérerait un contenu propice à la croissance des bactéries (Duran et al. 2008). Cette lyse cellulaire est probablement due à la forte contraction des filets lors de la *rigor mortis*. Il aurait été pertinent de lever des filets après la *rigor mortis* afin de voir si l'augmentation de la charge bactérienne est bien due à ces lésions cellulaires.

La croissance des bactéries lactiques a principalement débuté à J12 et n'a concerné uniquement les poissons conservés à l'état de filets. Le dénombrement est resté faible, avec une moyenne autour de  $2,7 \times 10^3$  UFC/g. Lors d'une conservation au réfrigérateur, cette flore ne commence à croître que sur des filets déjà altérés. A cette concentration, la croissance de la flore d'altération n'est pas inhibée. Dans leur étude, Bahmani et al. (2011) montrent un développement plus important des bactéries lactiques sur des mulets conservés entiers 16 jours

au réfrigérateur (environ  $5 \times 10^3$  UFC/g). Il est difficile d'expliquer cette différence. De plus, ils suggèrent que la baisse de l'effectif de la flore totale est en partie due à une augmentation de la flore lactique après 8 jours de conservation. Il aurait été intéressant de connaître le nombre de bactéries lactiques à J19 afin de voir s'il existe une corrélation entre l'augmentation du nombre de bactéries lactiques et l'arrêt de la croissance de la flore d'altération.

Au cours de notre étude, nous avons rencontré des difficultés importantes pour dénombrer les bactéries à J12 et J19. Pour un même poisson, les valeurs obtenues variaient considérablement d'une dilution à l'autre. Nous avons émis l'hypothèse que l'anomalie provenait soit des géloses, soit du pipetage lors de la réalisation des dilutions. Cependant, étant donné que les géloses ont été toutes coulées le même jour et dans des conditions identiques, cette hypothèse a été écartée. En présence d'une forte charge bactérienne, nous avons supposé que l'apparition de biofilm empêchait une bonne homogénéisation de la solution mère. Il est donc possible que certains pipetages réalisés lors des dilutions n'aient contenu que très peu voire aucune bactérie. Dans les produits carnés, les principaux agents responsables de la formation de biofilm sont les genres *Pseudomonas* et *Brochothrix* (Wagner et al. 2020). Il est probable que les *Pseudomonas* présentes sur nos poissons soient responsables de la formation de biofilms, tout comme *Brochothrix thermosphacta* qui est aussi décrit comme une bactérie d'altération de la truite (Chytiri et al. 2004; Ninan et al. 2011). De plus, de manière générale, les bactéries d'altération semblent être les principaux agents responsables de la formation de biofilms, en particulier *Aeromonas spp* et *Shewanella spp* (Bagge et al. 2001; Gautam et al. 2024). Cela pourrait expliquer pourquoi les anomalies observées dans notre étude sont présentes uniquement à J12 et J19 lorsque la flore d'altération prédomine. Pour répéter l'expérience de J12, nous avons utilisé du Tween80 pour dissoudre les biofilms et homogénéiser la solution mère avant stomachage (Nielsen et al. 2016). Les résultats cohérents obtenus à la suite de cette opération ont montré que les anomalies de J12 et J19 étaient dues à l'apparition de biofilms. Il aurait été pertinent de réaliser le même protocole pour l'ensemble des jours d'analyse afin d'obtenir des résultats comparables.

L'augmentation de la croissance bactérienne d'*Aeromonas* et *Shewanella* entre J5 et J12 est surprenante. Seulement quelques bactéries ont été dénombrées à J5 contre  $10^7$  UFC/g à J12. Selon Zhang et al. (2021), la croissance de *Shewanella* est exponentielle mais demeure progressive au cours de la conservation. Dans leur étude le dénombrement passe d'environ  $10^4$  UFC/g à J6 à  $10^7$  UFC/g à J12. Il est possible que la décongélation à température ambiante ait favorisé la croissance de ces bactéries dans notre étude. En effet, la méthode de décongélation impact la croissance bactérienne. Il est préférable de réaliser une décongélation lente à basse température (Onyango et al. 2016; Mai et al. 2020). De plus, il est probable que certains biofilms déjà présents à J5 aient masqué la présence des *Aeromonas* et *Shewanella*.

Dans notre étude, la méthode d'abattage ne semble pas impacter la croissance bactérienne des filets comme montré dans l'étude de Y.Özogul et F.Özogul en 2004. En revanche, l'étude de Duran et al. (2008) a montré que des poissons stressés lors de la mise à mort (asphyxie sur glace) présentaient une charge bactérienne plus élevée. L'explication semble résider dans une augmentation de la perméabilité cellulaire liée au stress *ante-mortem*. Il est possible que les deux méthodes d'abattage que nous avons étudiées engendrent un stress similaire aux poissons n'induisant pas de différence bactériologique significative lors de l'analyse.

L'analyse MALDI-TOF effectuée sur une colonie isolée de gélose SS a permis d'identifier, avec une haute fiabilité (score d'identification supérieur à 2), une souche de *Shewanella putrefaciens*. Les bactéries du genre *Shewanella* sont bien connues pour leur capacité à produire du H<sub>2</sub>S et sont impliquées dans l'altération des filets de truite (Nedoluha et al., 2001 ; Du et al., 2022). Ce résultat est en accord avec les attentes concernant le genre bactérien ciblé par la gélose SS. Il aurait été pertinent de procéder à un plus grand nombre d'identifications afin de renforcer la spécificité attribuée à la gélose SS.

## F. Histologie

Il est relativement difficile de compter les détachements au sein des myofibres et vis-à-vis du conjonctif. D'autant plus sur une coupe transversale, chaque myofibre est accolée à plusieurs cellules. Afin d'évaluer l'architecture intercellulaire, une approche semi-quantitative nous a semblé plus appropriée. Elle permet d'offrir des résultats, certes moins précis, mais avec une meilleure répétabilité. Nos résultats ont montré que cette approche était suffisamment discriminante pour comparer deux populations. De plus, la présence de nombreux artefacts sur les lames que nous avons étudiées rend l'analyse quantitative complexe et sujette à des erreurs d'interprétation. Cependant, pour l'analyse au niveau cellulaire, l'approche quantitative est plus pertinente. Afin de minimiser les erreurs de mesure, il a été nécessaire de sélectionner précisément la zone des lames à examiner. Il aurait été bénéfique de prélever des morceaux de filets plus gros pour cette analyse afin d'avoir plus de champs de bonne qualité histologique à étudier. Cela aurait été particulièrement utile lors des derniers jours de conservation où les artefacts de coupe étaient plus nombreux. Par ailleurs, il aurait été pertinent de retirer la peau des filets avant la préparation des lames. Les écailles, étant très solides, ont rendu la coupe difficile, augmentant ainsi la présence d'artefacts sur les lames.

### 1. Analyse structurelle

La dissociation entre les myofibres est un processus précoce qui se dégrade au cours de la conservation (Taylor et al. 2002; Ayala et al. 2011; Germond et al. 2023). Dans notre étude, seulement un poisson (abattu par ikejime) a conservé ses jonctions entre myofibres 24 heures après l'abattage. L'espacement entre les myofibres a augmenté au cours de la conservation. Nous n'avons trouvé aucune différence significative quant à l'influence de la méthode d'abattage. En étudiant l'agencement des myofibres dans les 12 heures après l'abattage, il a été prouvé que les poissons soumis à un stress avaient des myofibres plus espacées (Ando et al. 2001; Bahuaud et al. 2010). Selon certains auteurs, le stress entraîne une action mécanique favorisant la libération de protéases et ainsi la lyse des jonctions intercellulaires (Roth et al. 2006; Bahuaud et al. 2009). La corrélation entre la précocité de la disjonction des myofibres et l'impact du stress sur l'agencement musculaire suggère que *la rigor mortis* est responsable de la séparation des myofibres entre eux. *La rigor mortis* des poissons stressés survient dans les 12 heures qui suivent l'abattage, alors qu'un poisson non stressé peut entrer en *rigor mortis* entre 12 et 24 heures post-abattage (Secci et al. 2018). La diminution du stress engendré par

l'ikejime expliquerait pourquoi dans notre étude, le seul poisson ayant gardé ses jonctions à J1 était un poisson abattu par ikejime (Nakayama et al. 1996).

À J19, l'espacement entre les myofibres est moins prononcé qu'à J12. Il est possible que la lyse cellulaire induite par le nombre important de bactéries présentes à ce stade, en libérant du contenu cellulaire entre les myofibres, ait minimisé cet écart.

Le détachement des myofibres au tissu conjonctif est un processus plus tardif, il survient autour du 5<sup>e</sup> jour de conservation (Taylor et al. 2002; Bahuaud et al. 2010; Germond et al. 2023). Dans notre étude, la déconnexion des myofibres au conjonctif a débuté dès J1 pour les poissons abattus par électrocution. Les poissons IK ont gardé l'intégralité de leurs attaches entre le muscle et le conjonctif à ce stade. Pour autant, d'après Erikson et al. (2012), l'application d'un courant électrique au sein d'un filet de poisson n'altère pas macroscopiquement les jonctions entre le muscle et le tissu conjonctif. Dans son étude, il n'y a aucune différence significative de « gaping » entre des morues abattues par électrocution et par anesthésie. De même, la durée de l'application du courant électrique n'a eu aucun impact.

À J5, l'ensemble des filets était impacté. Puis le nombre de fibres détachées a augmenté au cours de la conservation jusqu'à l'absence totale de cohésion entre le muscle et le tissu conjonctif. L'apparition de cette dissociation serait liée à une dégradation des principaux constituants du tissu conjonctif (collagène et protéoglycane) au cours des 5 premiers jours *post-mortem* (Kim, Haard 1992; Johnston 2008; Khoshtaghaza et al. 2016). Lors des 5 premiers jours de conservation, les poissons IK semblent mieux préserver l'architecture entre les myofibres et le conjonctif. Cette différence est principalement remarquable à J1. Une fois de plus, il semblerait que la *rigor mortis* ait son rôle à jouer. On peut supposer que la solidité et l'élasticité du tissu conjonctif rendent ses jonctions avec le muscle plus résilientes que celles entre les myofibres. Une contraction plus progressive et moins longue des cellules musculaires durant la *rigor mortis* des poissons abattus par ikejime par rapport à l'électrocution (Naka 2016; Concollato et al. 2016) permettrait de mieux préserver ces jonctions.

## 2. Analyse cellulaire

Dans notre étude, nous n'avons pas trouvé de modification du pourcentage de l'hypercontraction des cellules musculaires en fonction de la méthode d'abattage ou de la conservation. Le nombre de cellules hypercontractées a augmenté au cours de la conservation. Bahuaud et al (2010) ont montré que des poissons confrontés à un stress avaient plus de myofibres contractées 4 jours après l'abattage. Le stress favoriserait l'activité enzymatique (tel que les cathepsines). Ces enzymes ont la capacité de dégrader les myofibres ce qui entraîne un rétrécissement, comparable à une hypercontraction (Ladrat et al. 2003; Bahuaud et al. 2009). Il est possible que le nombre important d'artéfacts présents sur nos lames nous ait empêché d'évaluer avec précision le dénombrement des cellules hypercontractées.

Il semblerait qu'un abattage ikejime permette de diminuer le nombre de myofibres rompues 24 heures post-abattage. Le décalage d'apparition de la *rigor mortis* par rapport à l'électrocution permet d'expliquer une quantité plus faible de myofibres rompues à J1.

A J5 et J12, ce sont les truites conservées en filets qui ont un plus grand pourcentage de myofibres rompues. Les filets de ces poissons ont été levés avant la *rigor mortis*. La chair n'étant plus fixée au squelette du poisson, l'amplitude de la contraction liée à la *rigor mortis* se trouve augmentée (Skjervold et al. 2001 ; Mørkøre et al. 2008 ; Misimi et al. 2008). La forte contraction des myofibres va fragiliser les cellules et faciliter la rupture de celles-ci au cours de la conservation (Bahuaud et al. 2010). Ce phénomène permet d'expliquer pourquoi les poissons conservés à l'état de filets ont plus de myofibres rompues que les poissons conservés entiers. Étonnamment, d'après la littérature , il semblerait que le filetage des poissons avant la *rigor mortis* permette d'améliorer la qualité de la chair des filets en diminuant le gaping (Skjervold et al. 2001; Roth et al. 2009). On aurait alors une meilleure cohésion entre le muscle et le tissu conjonctif à l'échelle macroscopique associée à un plus grand nombre de lésions de ruptures cellulaires à l'échelle microscopique. On peut supposer qu'un filetage précoce ait un effet bénéfique sur le tissu conjonctif qui subirait une plus faible tension lors de la *rigor mortis*, au détriment des myofibres dont la contraction sans limite fragilise les cellules.

## G. Oxydation lipidique

La méthode d'abattage ne semble pas impacter l'état oxydatif des truites dans notre étude. Des résultats similaires ont été trouvés par Concollato et al. (2019) en comparant l'électrocution, l'asphyxie et le monoxyde de carbone. En revanche, Secci et al. (2018) ont trouvé sur des tanches, que l'état oxydatif des poissons abattus par électrocution était très légèrement supérieur à celui des poissons abattus par percussion après 10 jours de conservation. De même, d'après Morzel et Van De Vis (2003), la teneur en TBARS des poissons électrocutés est plus élevée après la mise à mort que ceux asphyxiés dans un bain d'eau salée. Cette tendance s'inverse après 14 jours de conservation. Cette modification peut s'expliquer par le caractère pro-oxydant sur sel présent dans la méthode d'abattage traditionnelle. D'autres auteurs ont montré que le stress augmentait l'oxydation lipidique lors d'une conservation à -10°C pendant 165 jours (Secci et al. 2016). La congélation permet de retarder l'apparition de l'oxydation lipidique par rapport à une conservation à 4°C. Il est sûrement plus facile d'observer des modifications significatives, liées ou non à la méthode d'abattage, lorsque l'augmentation de l'oxydation est progressive. La congélation, ou à minima une conservation à plus faible température (autour de 0°C), permettrait d'appréhender des variations fines d'état oxydatif afin de discriminer l'une ou l'autre des méthodes d'abattage.

Seul l'état de conservation a joué un rôle sur l'oxydation lipidique à J1. Les poissons conservés entiers étaient plus oxydés. Ces résultats sont à nuancer car les valeurs de TBARS trouvées à J1 ne sont pas cohérentes. En effet, dans notre étude, les poissons conservés 5 jours à 4°C sont presque 2 fois moins oxydés que ceux conservés uniquement une journée. Sur l'ensemble de l'étude ce sont les poissons de J1 qui étaient en moyenne les plus oxydés. Les poissons étudiés à J1 ont été stockés 4 jours à -20°C avant d'être congelés à -80°C. Les autres filets ont été directement congelés à -80°C avant l'analyse des TBARS. Cette différence de conservation ne semble pas expliquer la forte augmentation des TBARS à J1. En effet d'après

Simitzis et al. (2013), une congélation de 30 jours à -20°C impacte moins l'oxydation que 4 jours à 4°C. Les résultats trouvés à J1 paraissent alors difficilement explicables.

L'oxydation a augmenté entre J5 et J12 puis est restée stable entre J12 et J19. À J19, alors que la majorité des filets étaient en état de putréfaction, l'oxydation est restée relativement basse. Des résultats similaires ont été trouvés lors de conservation de poissons pendant plusieurs semaines (Dawood et al. 1986; Kyra, Lougovois 2002) avec un niveau de TBARS ne dépassant pas les 2 mg MDA/kg. Germond et al. décrivent en 2023, une augmentation des TBARS dans les premiers jours de conservation puis une stabilisation jusqu'à J15. L'analyse des TBARS apporterait des informations plus pertinentes au début de la conservation que pour des états plus avancés dans le temps.

## H. Analyse statistique multivariée

L'ACP et la CAH permettent d'obtenir des résultats globalement similaires à ceux retrouvés lors de l'analyse univariée. Durant les premiers jours de conservation, la méthode d'abattage impacte plus que l'état de conservation sur la qualité de la chair. Cet effet diminue à J5. Puis la tendance s'inverse à J12 et J19, c'est l'état de conservation qui modifie significativement la fraîcheur des filets.

Cette analyse a permis de mettre en avant les paramètres de fraîcheur et de qualité les plus impactés par des changements de méthode d'abattage ou de conservation. À J1, les poissons abattus par ikejime ont des jonctions entre les myofibrilles et le conjonctif moins remaniées et possèdent moins de ruptures de myofibrilles. À l'inverse de l'analyse univariée, nous n'avons pu prouver que la fermeté était significativement plus élevée sur ces poissons. Les paramètres les plus discriminants afin de différencier l'état de conservation des poissons sont aussi histologiques. Nous avons montré que l'état de conservation impactait l'espacement entre les myofibrilles et le détachement du conjonctif, alors qu'aucune différence ne se dégageait à l'analyse univariée. De plus, le pH, la cotation fraîcheur ainsi que la fermeté ont aussi été repérées comme étant des critères d'importance dans cette dichotomie.

Le faible nombre de poissons à chaque jour d'analyse ne permet pas à l'ACP d'avoir une puissance suffisante pour apporter des différences significatives entre chaque groupe de poissons pour l'ensemble des variables. Il faut alors parfois se contenter d'une analyse descriptive. Malgré cela, elle reste intéressante afin d'apporter un autre angle de vue, venant consolider les résultats trouvés lors de l'analyse univariée.

## IV. Conclusion

Au cours de ce travail, nous avons cherché à montrer, en comparaison à l'électrocution, que la technique d'abattage ikejime permettait de mieux préserver la chair des poissons au cours de la conservation au réfrigérateur. Deux états de conservation, en filet et poisson entier, ont été analysés. Notre étude a permis de montrer que la différence entre les deux méthodes d'abattage se ressentait principalement dans les premiers jours de conservation, pendant la phase d'autolyse. Cette différence est faible et visible uniquement via les analyses texturales et histologiques. Au premier jour d'analyse (J1), les poissons ikejime sont plus fermes. Ceci peut s'expliquer par la présence d'une *rigor mortis* résiduelle. Concernant l'histologie, l'ikejime permet de mieux préserver les jonctions entre les myofibrilles et le tissu conjonctif et d'engendrer moins de ruptures cellulaires à J1. Une *rigor mortis* moins violente et plus courte permettrait d'expliquer ce phénomène. Conjointement à ces résultats, l'essai de comparaison par paire de filets en analyse sensorielle a démontré que lors d'une conservation avancée (J19), les poissons ikejime semblaient plus frais que les poissons abattus par électrocution. Ceci va dans le sens d'une meilleure préservation de la fraîcheur induite par l'ikejime. Cependant, étant donné le faible nombre de poissons et la non expérience des panelistes pour évaluer l'état de fraîcheur, il faut rester prudent quant à l'interprétation de ces résultats.

Lorsque la conservation se prolonge dans le temps (J12 et/ou J19), la méthode d'abattage semble moins impacter la qualité de la chair. A ce stade, où l'altération bactérienne domine, c'est l'état de conservation qui joue un rôle majeur sur la qualité des filets. Nous avons prouvé que les poissons conservés entiers avaient une charge bactérienne moins importante, une meilleure cotation de la fraîcheur, un pH plus bas, de plus faibles modifications histologiques ainsi qu'une absence de modification de la couleur par rapport aux poissons conservés en filets. Deux facteurs peuvent expliquer ce phénomène. Premièrement, une exposition directe aux micro-organismes, en l'absence de péritoine, lors de la conservation en filet. En second lieu, une plus grande amplitude de contraction, altérant les cellules, lorsque que le filetage est réalisé avant la *rigor mortis*. Cependant, malgré une conservation plus courte, ce filetage précoce pourrait permettre d'obtenir une chair plus ferme, plus appréciée par les consommateurs.

L'ensemble de ces résultats permettent de mettre en avant la méthode de mise à mort ikejime. Même si les différences sont relativement faibles, l'ikejime semble mieux préserver l'état de la chair au cours de la conservation par rapport à l'électrocution. Au-delà de la conservation, l'ikejime permet de prolonger la *rigor mortis* facilitant le filetage précoce (avant la *rigor mortis*) qui semble offrir une meilleure fermeté aux filets. Bien que cette plus-value se fasse au détriment de la durée de conservation si on estime que les filets se conservent moins longtemps que le poisson entier, cette opportunité permet une fois de plus de valoriser cette technique.

Les mécanismes sous-jacents responsables des propriétés organoleptiques et de conservation chez le poisson en lien avec cette pratique d'abattage demeurent actuellement mal compris. À l'avenir, de nombreuses pistes de recherche restent à explorer. Des études supplémentaires sur le sujet pourraient renforcer l'attrait pour cette méthode dans notre culture, tant en ce qui concerne la conservation de la denrée que les qualités gustatives qu'elle peut offrir.

## Bibliographie

© THEJAPANESEFOODLAB, (s.d). What is Ikejime 活け締め. [Consulté le 30 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://thejapanesefoodlab.com/ikejime/>

© X-RITE, (s.d). Tolérance – Troisième partie : espace chromatique ou tolérance chromatique. [Consulté le 5 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.xrite.com/fr-fr/blog/tolerancing-part-3>

ABEYRATHNE, Edirisingha Dewage Nalaka Sandun, NAM, Kichang et AHN, Dong Uk, (2021). Analytical Methods for Lipid Oxidation and Antioxidant Capacity in Food Systems. *Antioxidants*. Vol. 10, n° 10, pp. 1587. DOI 10.3390/antiox10101587.

ANDO, Masashi, JOKA, Masao, MOCHIZUKI, Satoshi, SATOH, Koh-Ichi, TSUKAMASA, Yasuyuki et MAKINODAN, Yasuo, (2001). Influence of death struggle on the structural changes in chub mackerel muscle during chilled storage. *Fisheries science*. Vol. 67, n° 4, pp. 744-751. DOI 10.1046/j.1444-2906.2001.00315.x.

ANDO, Masashi, TOYOHARA, Haruhiko et SAKAGUCHI, Morihiko, (1992). Post-mortem Tenderization of Rainbow Trout Muscle Caused by the Disintegration of Collagen Fibers in the Pericellular Connective Tissue. *Nippon Suisan Gakkaishi*. Vol. 58, n° 3, pp. 567-570. DOI 10.2331/suisan.58.567.

ASHTON, Thomas J., MICHIE, Ian et JOHNSTON, Ian A., (2010). A novel tensile test method to assess texture and gaping in salmon fillets. *Journal of Food Science*. Vol. 75, n° 4, pp. S182-190. DOI 10.1111/j.1750-3841.2010.01586.x.

AYALA, María Dolores, SANTAELLA, Marina, MARTÍNEZ, Carmen, PERIAGO, María Jesús, BLANCO, Alfonso, VÁZQUEZ, José María et ALBORS, Octavio López, (2011). Muscle tissue structure and flesh texture in gilthead sea bream, *Sparus aurata* L., fillets preserved by refrigeration and by vacuum packaging. *LWT - Food Science and Technology*. Vol. 44, n° 4, pp. 1098-1106. DOI 10.1016/j.lwt.2010.09.014.

AYDIN, Isin et GOKOGLU, Nalan, (2014). Effects of temperature and time of freezing on lipid oxidation in anchovy (*Engraulis encrasicolus*) during frozen storage. *European Journal of Lipid Science and Technology*. Vol. 116, n° 8, pp. 996-1001. DOI 10.1002/ejlt.201300450.

BABIC MILIJASEVIC, Jelena, MILIJASEVIC, Milan, LILIC, Slobodan, DJINOVIC-STOJANOVIC, Jasna, NASTASIJEVIC, Ivan et GERIC, Tamara, (2023). Effect of Vacuum and Modified Atmosphere Packaging on the Shelf Life and Quality of Guttled Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) during Refrigerated Storage. *Foods (Basel, Switzerland)*. Vol. 12, n° 16, pp. 3015. DOI 10.3390/foods12163015.

BAGGE, Dorte, HJELM, Mette, JOHANSEN, Charlotte, HUBER, Ingrid et GRAM, Lone, (2001). *Shewanella putrefaciens* Adhesion and Biofilm Formation on Food Processing Surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 67, n° 5, pp. 2319-2325. DOI 10.1128/AEM.67.5.2319-2325.2001.

BAHMANI, Z. -A., REZAI, M., HOSSEINI, S. V., REGENSTEIN, J. M., BÖHME, K.,

ALISHAHI, A. et YADOLLAHI, F., (2011). Chilled storage of golden gray mullet (*Liza aurata*). *LWT - Food Science and Technology*. Vol. 44, n° 9, pp. 1894-1900. DOI 10.1016/j.lwt.2011.01.009.

BAHUAUD, D., MØRKØRE, T., ØSTBYE, T. -K., VEISETH-KENT, E., THOMASSEN, M. S. et OFSTAD, R., (2010). Muscle structure responses and lysosomal cathepsins B and L in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) *pre-* and *post-rigor* fillets exposed to short and long-term crowding stress. *Food Chemistry*. Vol. 118, n° 3, pp. 602-615. DOI 10.1016/j.foodchem.2009.05.028.

BAHUAUD, D., ØSTBYE, T. -K., TORSTENSEN, B. E., RØRÅ, M. B., OFSTAD, R., VEISETH, E., THOMASSEN, M. S. et RUYTER, B., (2009). Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle structure integrity and lysosomal cathepsins B and L influenced by dietary n-6 and n-3 fatty acids. *Food Chemistry*. Vol. 114, n° 4, pp. 1421-1432. DOI 10.1016/j.foodchem.2008.11.039.

BECKMAN, Maryssa, (2016). Therapeutic Review: Tricaine METHANESULFONATE. *Journal of Exotic Pet Medicine*. Vol. 25, n° 3, pp. 261-263. DOI 10.1053/j.jepm.2016.05.004.

BENNISON, Simon, (2000). Guidelines on aquatic animal Welfare for the aquaculture industry in western australia. [Consulté le 12 aout 2024]. Disponible à l'adresse : <https://aquaculturecouncilwa.com/wp-content/uploads/2019/05/ACWAWelfareGuidelines.pdf>

BERNARDO, Yago Alves de Aguiar, DO ROSARIO, Denes Kaic Alves, MONTEIRO, Maria Lúcia Guerra, MANO, Sérgio Borges, DELGADO, Isabella Fernandes et CONTE-JUNIOR, Carlos Adam, (2022). Texture Profile Analysis: How Parameter Settings Affect the Instrumental Texture Characteristics of Fish Fillets Stored Under Refrigeration? *Food Analytical Methods*. Vol. 15, n° 1, pp. 144-156. DOI 10.1007/s12161-021-02095-0.

BIOKAR diagnostic, (2010). Fiche technique gélose MRS. [Consulté le 23 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.grosseron.com/oo/Assets/client/FTP/GROSSERON/FT/FT9100891.pdf>

BLAND, John M., BETT-GARBER, Karen L., LI, Carissa H., BRASHEAR, Suzanne S., LEA, Jeanne M. et BECHTEL, Peter J., (2018). Comparison of sensory and instrumental methods for the analysis of texture of cooked individually quick frozen and fresh-frozen catfish fillets. *Food Science & Nutrition*. Vol. 6, n° 6, pp. 1692-1705. DOI 10.1002/fsn3.737.

BOARU, Anca, STRUȚI, Dănuț et GEORGESCU, Bogdan, (2022). Guidelines and Implications of Fish Slaughtering in the Ensuring of Welfare and Product Quality. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*. Vol. 79, n° 1. DOI 10.15835/buasvmcn-asb:2021.0011.

BORDERÍAS, Antonio J. et SÁNCHEZ-ALONSO, Isabel, (2011). First Processing Steps and the Quality of Wild and Farmed Fish. *Journal of Food Science*. Vol. 76, n° 1, pp. R1-R5. DOI 10.1111/j.1750-3841.2010.01900.x.

BORDIGNON, Francesco, BORTOLETTI, Martina, TROCINO, Angela, XICCATO, Gerolamo, BIROLO, Marco, FIOCCHI, Eleonora, MANFRIN, Amedeo, RADAELLI, Giuseppe et BERTOTTO, Daniela, (2024). Stunning/slaughtering by cold shock in saline

water: Effects on fish stress, post-mortem changes, and product quality in rainbow trout. *Aquaculture*. Vol. 582, pp. 740541. DOI 10.1016/j.aquaculture.2024.740541.

BOWMAN, Jennifer, HJELMSTEDT, Per et GRÄNS, Albin, (2019). Non-invasive recording of brain function in rainbow trout: Evaluations of the effects of MS-222 anaesthesia induction. *Aquaculture Research*. Vol. 50, n° 11, pp. 3420-3428. DOI 10.1111/are.14300.

CAVALI, Jucilene Braitenbach, BALDI, Sheyla Cristina Vargas, ROCHA, Ana Sabrina Coutinho Marques, SILVA, Erica Eloy da, NUNES, Carla Taveira, SOARES, Emerson Carlos, SCHONS, Sandro de Vargas, ZANELLA, Renato, PONTUSCHKA, Rute Bianchini et FILHO, Jerônimo Vieira Dantas, (2024). Pre-Slaughter Stunning Methods Influence the Meat Quality of Arapaima gigas Fillets. *Animals*. Vol. 14, n° 8. DOI 10.3390/ani14081155.

CHAN, Noel Wai Wah, (2008). Application du test triangulaire de dégustation du mérrou bossu (*Cromileptes altivelis*) sauvage et d'élevage sur le marché de Hong Kong. *Ressources marines et commercialisation – Bulletin de la CPS n° 17*. [Consulté le 12 aout 2024]. Disponible à l'adresse : [https://coastfish.spc.int/News/MRC/17/LRF17VF\\_31\\_Chan.pdf](https://coastfish.spc.int/News/MRC/17/LRF17VF_31_Chan.pdf)

CHANG, K. L., CHANG, J., SHIAU, C. Y. et PAN, B. S., (1998). Biochemical, Microbiological, and Sensory Changes of Sea Bass (*Lateolabrax japonicus*) under Partial Freezing and Refrigerated Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 46, n° 2, pp. 682-686. DOI 10.1021/jf970622c.

CHENG, Jun-Hu, SUN, Da-Wen, HAN, Zhong et ZENG, Xin-An, (2014). Texture and Structure Measurements and Analyses for Evaluation of Fish and Fillet Freshness Quality: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Vol. 13, n° 1, pp. 52-61. DOI 10.1111/1541-4337.12043.

CHÉRET, Romuald, DELBARRE-LADRAT, Christine, LAMBALLERIE-ANTON, Marie de et VERREZ-BAGNIS, Véronique, (2007). Calpain and cathepsin activities in *post mortem* fish and meat muscles. *Food Chemistry*. Vol. 101, n° 4, pp. 1474-1479. DOI 10.1016/j.foodchem.2006.04.023.

CHOUBERT, G., (1992). La pigmentation des Salmonidés : Dynamique et facteurs de variations. *Productions Animales*. Vol. 5, n° 4, pp. 235-246. DOI <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1992.5.4.4237>

CHRISTIANSEN, R, STRUKSNÆS, G, ESTERMANN, R et TORRISSEN, O J, (1995). Assessment of flesh colour in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Research*. Vol. 26, n° 5, pp. 311-321. DOI 10.1111/j.1365-2109.1995.tb00919.x.

CHYTIRI, S, CHOULIARA, I, SAVVAIDIS, I. N et KONTOMINAS, M. G, (2004). Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout. *Food Microbiology*. Vol. 21, n° 2, pp. 157-165. DOI 10.1016/S0740-0020(03)00059-5.

CONCOLLATO, Anna, (2014). FISH WELFARE AND QUALITY ASSESSMENT BY CONVENTIONAL AND INNOVATIVE METHODS. [Consulté le 12 aout 2024]. Disponible à l'adresse : [https://flore.unifi.it/retrieve/e398c378-ef6f-179a-e053-3705fe0a4cff/TESI%20CONCOLLATO\\_UGOV\\_.pdf](https://flore.unifi.it/retrieve/e398c378-ef6f-179a-e053-3705fe0a4cff/TESI%20CONCOLLATO_UGOV_.pdf)

CONCOLLATO, Anna, DALLE ZOTTE, Antonella, VARGAS, Sheyla C, CULLERE, Marco, SECCI, Giulia et PARISI, Giuliana, (2019). Effects of three different stunning/slaughtering methods on physical, chemical, and sensory changes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 99, n° 2, pp. 613-619. DOI 10.1002/jsfa.9222.

CONCOLLATO, Anna, OLSEN, Rolf Erik, VARGAS, Sheyla Cristina, BONELLI, Antonio, CULLERE, Marco et PARISI, Giuliana, (2016). Effects of stunning/slaughtering methods in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from death until *rigor mortis* resolution. *Aquaculture*. Vol. 464, pp. 74-79. DOI 10.1016/j.aquaculture.2016.06.009.

DALLE ZOTTE, Antonella, CONCOLLATO, Anna, SECCI, Giulia, CULLERE, Marco et PARISI, Giuliana, (2020). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed at two different temperatures: Post *rigor mortis* changes in function of the stunning method. *Czech Journal of Animal Science*. Vol. 65, n° 9, pp. 354-364. DOI 10.17221/144/2020-CJAS.

DARMANCOURT, Lucas, CALVEZ, Ségolène, LUSTENBERGER, Patrick et CAPPELIER, Jean-Michel, (2022). L'Ikejime : Etat des lieux et apports de cette méthode d'abattage pour l'acceptabilité de la mise à mort des poissons. [Consulté le 12 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03936343v1/file/N-2022-116.pdf>

DAWOOD, Abdul A., ROY, Rajat N. et WILLIAMS, Clive S., (1986). Quality of rainbow trout chilled-stored after post-catch holding. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1986. Vol. 37, n° 4, pp. 421-427. DOI 10.1002/jsfa.2740370415.

DIGGLES, Ben et LANDOS, Matthew, (2012). *BEST PRACTICE IN HUMANE DISPATCH OF FINFISH CAUGHT BY RECREATIONAL FISHERS*. [Consulté le 29 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.digsfish.com/AW1011-08Literaturereviewfinal.pdf>

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*. Vol. 23, n° 3-4, pp. 200-207. DOI 10.1111/fme.12127.

DU, Guangqing, GAI, Yuanming, ZHOU, Hui, FU, Shaoping et ZHANG, Dawei, (2022). Assessment of Spoilage Microbiota of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) during Storage by 16S rDNA Sequencing. *Journal of Food Quality*. Vol. 2022, n° 1, pp. 5367984. DOI 10.1155/2022/5367984.

DURAN, Ayhan, ERDEMLI, Umit, KARAKAYA, Mustafa et TYILMAZ, Mustafa, (2008). Effects of slaughter methods on physical, biochemical and microbiological quality of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and mirror carp *Cyprinus carpio* filleted in pre-, in- or post-rigor periods. *Fisheries Science*. Vol. 74, n° 5, pp. 1146-1156. DOI 10.1111/j.1444-2906.2008.01634.x.

EFSA, (2004). Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. *EFSA Journal*. Vol. 2, n° 7, pp. 45. DOI 10.2903/j.efsa.2004.45.

EFSA, (2008) Animal welfare aspects of husbandry systems for farmed European seabass and gilthead seabream - Scientific Opinion of the Panel. [Consulté le 29 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/844>

ERIKSON, U., LAMBOOIJ, B., DIGRE, H., REIMERT, H. G. M., BONDØ, M. et DER VIS, H. van, (2012). Conditions for instant electrical stunning of farmed Atlantic cod after de-watering, maintenance of unconsciousness, effects of stress, and fillet quality — A comparison with AQUI-S™. *Aquaculture*. Vol. 324-325, pp. 135-144. DOI 10.1016/j.aquaculture.2011.10.011.

ERIKSON, U. et MISIMI, E., (2008). Atlantic Salmon Skin and Fillet Color Changes Effected by Perimortem Handling Stress, *Rigor Mortis*, and Ice Storage. *Journal of Food Science*. Vol. 73, n° 2, pp. C50-C59. DOI 10.1111/j.1750-3841.2007.00617.x.

FRANCE IKEJIME, (s.d). FRANCE IKEJIME. [Consulté le 30 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <http://ikejime.fr>

FRANCEAGRIMER, (2019). Etude sur le poisson vendu vivant et l'abattage ikejime en France. Comité de pilotage final. FranceAgriMer, GEM, Nouvelles vagues, Aquimer, Les pôles de compétitivité

FUENTES-VALENCIA, María Anel, OSORNIO-ESQUIVEL, José Luis, MARTÍNEZ PALACIOS, Carlos Antonio, CONTRERAS-ÁVILA, José Luis, BARRIGA-TOVAR, Erik, LA MORA, Genoveva Ingle-de, ARELLANO-TORRES, Andrés, BAIZABAL-AGUIRRE, Víctor Manuel, BRAVO-PATIÑO, Alejandro, CAJERO-JUÁREZ, Marcos et VALDEZ ALARCÓN, Juan José, (2022). Bacterial and parasite co-infection in Mexican golden trout (*Oncorhynchus chrysogaster*) by *Aeromonas bestiarum*, *Aeromonas sobria*, *Plesiomonas shigelloides* and *Ichthyobodo necator*. *BMC Veterinary Research*. Vol. 18, n° 1, pp. 137. DOI 10.1186/s12917-022-03208-5.

GASCO, L., GAI, F., ROTOLO, L. et PARISI, G., (2014). Effects of different slaughtering methods on *rigor mortis* development and flesh quality of tench (*Tinca tinca*). *Journal of Applied Ichthyology*. Vol. 30, n° s1, pp. 58-63. DOI 10.1111/jai.12426.

GAUTAM, Sagar, SUBEDI, Nirmala, DHAKAL, Kabita, KOIRALA, Pankaj, ACHARYA, Dev Raj, MALAV, Om Prakash, AL-ASMARI, Fahad, BENJAKUL, Soottawat et NIRMAL, Nilesh, (2024). Bacterial biofilm formation in seafood: Mechanisms and inhibition through novel non-thermal techniques. *Reviews in Aquaculture*. Vol. n/a, n° n/a. DOI 10.1111/raq.12925.

GERMOND, Arno, VÉNIEN, Annie, RAVEL, Christine, CASTULOVICH, Brayan, ROUEL, Jacques, HUTIN, Morgane, MEZELLI, Sara, LEFIN, Sandy, MIRADE, Pierre-Sylvain et ASTRUC, Thierry, (2023). The Effects of Postmortem Time on Muscle Trout Biochemical Composition and Structure. *Foods*. Vol. 12, n° 10, pp. 1957. DOI 10.3390/foods12101957.

GHANBARI, Mahdi, JAMI, Mansooreh, GHANBARI, Mahdi et JAMI, Mansooreh, (2013). Lactic Acid Bacteria and Their Bacteriocins: A Promising Approach to Seafood Biopreservation. In : *Lactic Acid Bacteria - R & D for Food, Health and Livestock Purposes*. [Consulté le 22 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.intechopen.com/chapters/42332>

GILBERT, Dorine, 2019. PROCÉDURE NORMALISÉE DE FONCTIONNEMENT : euthanasie du poisson. [Consulté le 12 août 2024]. Disponible à l'adresse : [https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/portail/docs/GSC2377/O0001298147\\_PNF\\_1203\\_Euthanasie\\_des\\_poissons.pdf](https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/portail/docs/GSC2377/O0001298147_PNF_1203_Euthanasie_des_poissons.pdf)

GONZÁLEZ, César J., SANTOS, Jesús A., GARCÍA-LÓPEZ, María-Luisa, GONZÁLEZ, Nieves et OTERO, Andrés, (2001). Mesophilic Aeromonads in Wild and Aquacultured Freshwater Fish. *Journal of Food Protection*. Vol. 64, n° 5, pp. 687-691. DOI 10.4315/0362-028X-64.5.687.

GRAM, L., WEDELL-NEERGAARD, C. et HUSS, H. H., (1990). The bacteriology of fresh and spoiling Lake Victorian Nile perch (*Lates niloticus*). *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 10, n° 3-4, pp. 303-316. DOI 10.1016/0168-1605(90)90077-i.

GRAM, Lone et HUSS, Hans Henrik, (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 33, n° 1, pp. 121-137. DOI 10.1016/0168-1605(96)01134-8.

GRÄNS, A., NIKLASSON, L., SANDBLOM, E., SUNDELL, K., ALGERS, B., BERG, C., LUNDH, T., AXELSSON, M., SUNDH, H. et KIESSLING, A., (2016). Stunning fish with CO<sub>2</sub> or electricity: contradictory results on behavioural and physiological stress responses. *Animal*. Vol. 10, n° 2, pp. 294-301. DOI 10.1017/S1751731115000750.

HALIOCÉAN – IVAMER. L'IKEJIME : Guide de bonne pratique, (2019). [Consulté le 30 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : [https://www.francefilierepeche.fr/wp-content/uploads/2021/08/Guide-methodo\\_VF.pdf](https://www.francefilierepeche.fr/wp-content/uploads/2021/08/Guide-methodo_VF.pdf)

HARADA, Kuniji, (1988). Presenting fish for sale on the Japanese market, SPC Fisheries Newsletter, pp 40. [Consulté le 12 août 2024] Disponible à l'adresse : <https://nla.gov.au/nla.obj-749352780/view?sectionId=nla.obj-754219177&partId=nla.obj-749358285#page/n39/mode/1up>

HERNÁNDEZ-HERRERO, M. Manuela, DUFLOS, Guillaume, MALLE, Pierre et BOUQUELET, Stéphane, (2003). Collagenase activity and protein hydrolysis as related to spoilage of iced cod (*Gadus morhua*). *Food Research International*. Vol. 36, n° 2, pp. 141-147. DOI 10.1016/S0963-9969(02)00129-1.

HUANG, Xi et AHN, Dong Uk, (2019). Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. *Food Science and Biotechnology*. Vol. 28, n° 5, pp. 1275-1285. DOI 10.1007/s10068-019-00631-7.

HUBER, I., SPANGGAARD, B., APPEL, K. F., ROSSEN, L., NIELSEN, T. et GRAM, L., (2004). Phylogenetic analysis and in situ identification of the intestinal microbial community of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum). *Journal of Applied Microbiology*. Vol. 96, n° 1, pp. 117-132. DOI 10.1046/j.1365-2672.2003.02109.x.

HUSS, H. H., (1998). ASSURANCE DE QUALITÉ DES PRODUITS DE LA MER. [Consulté le 14 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.fao.org/3/T1768F/T1768F03.htm#ch3.1.1.3>

HUSS, H. H., (1999). *La qualité et son évolution dans le poisson frais*. Rome. [Consulté le 14 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.fao.org/4/v7180f/v7180f00.htm>

HYLDIG, Grethe et NIELSEN, Durita, (2001). A Review of Sensory and Instrumental Methods Used to Evaluate the Texture of Fish Muscle. *Journal of Texture Studies*. Vol. 32, n° 3, pp. 219-242. DOI 10.1111/j.1745-4603.2001.tb01045.x.

IGEDD, (2023). Focus sur... « développement de la pisciculture ». [Consulté le 31 juillet 2024] Disponible à l'adresse : <https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/focus-sur-developpement-de-la-pisciculture-a3632.html>

ISO 4120:2004(fr), Analyse sensorielle — Méthodologie — Essai triangulaire, (s.d). [Consulté le 15 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:4120:ed-2:v1:fr>

ISO 5492:2008(fr), Analyse sensorielle — Vocabulaire, (s.d). [Consulté le 16 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:5492:ed-2:v1:fr>

ISO 5495:2005(fr), Analyse sensorielle — Méthodologie — Essai de comparaison par paires, (s.d). [Consulté le 22 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:5495:ed-3:v1:fr>

ISO 8587:2006(fr), Analyse sensorielle — Méthodologie — Classement par rangs, (s.d). [Consulté le 22 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:8587:ed-2:v1:fr>

JACOBSEN, Ása, JOENSEN, Hóraldur et EYSTURSKARÐ, Jonhard, (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*. Vol. 48, n° 1, pp. 321-331. DOI 10.1111/are.12884.

JANDA, J. Michael et ABBOTT, Sharon L., (2010). The genus *Aeromonas*: taxonomy, pathogenicity, and infection. *Clinical Microbiology Reviews*. Vol. 23, n° 1, pp. 35-73. DOI 10.1128/CMR.00039-09.

JERRETT, A.r. et HOLLAND, A.j., (1998). Rigor Tension Development in Excised “Rested”, “Partially Exercised” and “Exhausted” Chinook Salmon White Muscle. *Journal of Food Science*. Vol. 63, n° 1, pp. 48-52. DOI 10.1111/j.1365-2621.1998.tb15673.x.

JEUGE, Sabine, CARLIER, Martine, VENDEUVRE, Jean-Luc et NASSY, Gilles, (2012). L'oxydation des produits carnés : Méthodes de mesure et moyens de maîtrise. [Consulté le 12 août 2024]. Disponible à l'adresse : [https://raw-feeding-prey-model.fr/wp-content/uploads/2019/10/fichiers\\_jeuge\\_oxydation.pdf](https://raw-feeding-prey-model.fr/wp-content/uploads/2019/10/fichiers_jeuge_oxydation.pdf)

JOHNSTON, I. A., (2008). The biological basis of variability in the texture of fish flesh. In : BØRRESEN, Torger (éd.), *Improving Seafood Products for the Consumer*. Woodhead Publishing. pp. 465-489. [Consulté le 13 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845690199500228>

KATIKOU, Panagiota, AMBROSIADIS, Ioannis, GEORGANTELIS, Dimitrios, KOIDIS, Pavlos et GEORGAKIS, Spyridon A, (2007). Effect of Lactobacillus cultures on microbiological, chemical and odour changes during storage of rainbow trout fillets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 87, n° 3, pp. 477-484. DOI 10.1002/jsfa.2736.

KHOSHTAGHAZA, Mohammad Hadi, KHOJASTEHNAZHAND, Mostafa, MOJARADI, Barat, GOODARZI, Mohammad et SAEYS, Wouter, (2016). Texture Quality Analysis of Rainbow Trout Using Hyperspectral Imaging Method. *International Journal of Food Properties*. Vol. 19, n° 5, pp. 974-983. DOI 10.1080/10942912.2015.1042111.

KILLSHOT LIFE, (2023). How To Ikejime: Elevating Fish Quality, Humanely. *KILLSHOT Life*. [Consulté le 30 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.killshotlife.com/blogs/the-way-of-the-killshot/ikejime-elevating-fish-quality-humanely>

KIM, Keunsung et HAARD, Norman F., (1992). Degradation of Proteoglycans in the Skeletal Muscle of Pacific Rockfish (sebastes Sp.) During Ice Storage. *Journal of Muscle Foods*. Vol. 3, n° 2, pp. 103-121. DOI 10.1111/j.1745-4573.1992.tb00467.x.

KOUTSOUMANIS, K. et NYCHAS, G. J., (1999). Chemical and sensory changes associated with microbial flora of Mediterranean boque (Boops boops) stored aerobically at 0, 3, 7, and 10 degreesC. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 65, n° 2, pp. 698-706. DOI 10.1128/AEM.65.2.698-706.1999.

KOUTSOUMANIS, K. et NYCHAS, G. J., (2000). Application of a systematic experimental procedure to develop a microbial model for rapid fish shelf life predictions. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 60, n° 2-3, pp. 171-184. DOI 10.1016/S0168-1605(00)00309-3.

KYRANA, Vasiliki R. et LOUGOVOIS, Vladimiro P., (2002). Sensory, chemical and microbiological assessment of farm-raised European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored in melting ice. *International Journal of Food Science & Technology*. Vol. 37, n° 3, pp. 319-328. DOI 10.1046/j.1365-2621.2002.00572.x.

LADRAT, C., VERREZ-BAGNIS, V., NOËL, J. et FLEURENCE, J., (2003). In vitro proteolysis of myofibrillar and sarcoplasmic proteins of white muscle of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects of cathepsins B, D and L. *Food Chemistry*. Vol. 81, n° 4, pp. 517-525. DOI 10.1016/S0308-8146(02)00481-8.

LEFÈVRE, F., BUGEON, J., AUPÉRIN, B. et AUBIN, J., (2008). Rearing oxygen level and slaughter stress effects on rainbow trout flesh quality. *Aquaculture*. Vol. 284, n° 1, pp. 81-89. DOI 10.1016/j.aquaculture.2008.07.017.

LERFALL, Jørgen, BENDIKSEN, Eldar Åsgard, OLSEN, Jan Vidar, MORRICE, David et ØSTERLIE, Marianne, (2016). A comparative study of organic- versus conventional farmed Atlantic salmon. I. Pigment and lipid content and composition, and carotenoid stability in ice-stored fillets. *Aquaculture*. Vol. 451, pp. 170-177. DOI 10.1016/j.aquaculture.2015.09.013.

LEROI, Françoise, (2010). Occurrence and role of lactic acid bacteria in seafood products - *ScienceDirect*. [Consulté le 23 juillet 2024]. Disponible à l'adresse :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002010001188?via%3Dihub>

LINES, J. A., ROBB, D. H., KESTIN, S. C., CROOK, S. C. et BENSON, T., (2003). Electric stunning: a humane slaughter method for trout. *Aquacultural Engineering*. Vol. 28, n° 3, pp. 141-154. DOI 10.1016/S0144-8609(03)00021-9.

LOBJOIS, Valérie, LIAUBET, Laurence, SANCRISTOBAL, Magali, ROY, Pascale LE, CHEREL, Pierre et HATEY, François, (2006). Etude d'un critère de qualité de la viande, la tendreté, par l'analyse du transcriptome du muscle porcine (Longissimus dorsi). *Journée recherche porcine*, [Consulté le 12 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2011/genetique/PG2.pdf>

LOWE, T.E, RYDER, J.M, CARRAGHE, J.F, et WELLS, R.M.G, (1993). Flesh Quality in Snapper, *Pagrus auratus*, Affected by Capture Stress. *Journal of food science*. DOI <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2621.1993.tb09355.x>

LYHS, Ulrike, KORKEALA, Hannu et BJÖRKROTH, Johanna, (2002). Identification of lactic acid bacteria from spoiled, vacuum-packaged 'gravad' rainbow trout using ribotyping. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 72, n° 1, pp. 147-153. DOI 10.1016/S0168-1605(01)00634-1.

MACÉ, Sabrina, JOFFRAUD, Jean-Jacques, CARDINAL, Mireille, MALCHEVA, Mariya, CORNET, Josiane, LALANNE, Valérie, CHEVALIER, Frédérique, SÉROT, Thierry, PILET, Marie-France et DOUSSET, Xavier, (2013). Evaluation of the spoilage potential of bacteria isolated from spoiled raw salmon (*Salmo salar*) fillets stored under modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 160, n° 3, pp. 227-238. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.10.013.

MAI, N., NGUYEN, D. et NGUYEN, N., (2020). Influence of frozen storage time and thawing methods on the microflora of thawed Nile tilapia fillets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 414, n° 1, pp. 012011. DOI 10.1088/1755-1315/414/1/012011.

MARLIDA, Yetti, SUSALAM, Malikil Kudus, HARNENTIS, Harnentis, JAMSARI, Jamsari, HUDA, Nurul, NOORDIN, Wan Norhana Md, ANGGRAINI, Lili et ARDANI, Laily Rinda, (2023). Metagenomic analysis and biodiversity of bacteria in traditional fermented fish or Budu from West Sumatera, Indonesia. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. Vol. 10, n° 4, pp. 801-808. DOI 10.5455/javar.2023.j736.

MARTÍNEZ-PORCHAS, Marcel et VARGAS-ALBORES, Francisco, (2017). Microbial metagenomics in aquaculture: a potential tool for a deeper insight into the activity. *Reviews in Aquaculture*. Vol. 9, n° 1, pp. 42-56. DOI 10.1111/raq.12102.

MISIMI, E., ERIKSON, U., DIGRE, H., SKAVHAUG, A. et MATHIASSEN, J. R., (2008). Computer vision-based evaluation of pre- and post-rigor changes in size and shape of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets during *rigor mortis* and ice storage: effects of perimortem handling stress. *Journal of Food Science*. Vol. 73, n° 2, pp. E57-68. DOI 10.1111/j.1750-3841.2007.00626.x.

MOOD, BROOKE, (2019). Towards a strategy for humane fishing in the UK [Consulté le 29 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://fishcount.org.uk/uk->

strategy#4improving2

MØRKØRE, Turid, MAZO T., Pablo I., TAHIROVIC, Vildana et EINEN, Olai, (2008). Impact of starvation and handling stress on rigor development and quality of Atlantic salmon (*Salmon salar* L). *Aquaculture*. Vol. 277, n° 3, pp. 231-238. DOI 10.1016/j.aquaculture.2008.02.036.

MORZEL, Martine, SOHIER, Delphine et VAN DE VIS, Hans, (2003). Evaluation of slaughtering methods for turbot with respect to animal welfare and flesh quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 83, n° 1, pp. 19-28. DOI 10.1002/jsfa.1253.

MORZEL, Martine et VAN DE VIS, Hans, (2003). Effect of the slaughter method on the quality of raw and smoked eels (*Anguilla anguilla* L.). *Aquaculture Research*. Vol. 34, n° 1, pp. 1-11. DOI 10.1046/j.1365-2109.2003.00754.x.

NAKA, Shiori, (2016). Assessment of physio-chemical parameters in farmed mullet (*Argyrosomus japonicus*) to establish optimal post-harvest practice. [Consulté le 4 avril 2024]. Disponible à l'adresse :

<https://researchportal.scu.edu.au/esploro/outputs/graduate/Assessment-of-physio-chemical-parameters-in-farmed/991012820961802368>

NAKAYAMA, Teruo, GOTO, Eiichiro et OOI, Atsushi, (1996). Observation of Characteristic Muscle Structure Related to Delay in Red Sea-Bream *Rigor Mortis* by Spinal Cord Destruction. *Fisheries science*. Vol. 62, n° 6, pp. 977-984. DOI 10.2331/fishsci.62.977.

NEDOLUHA, P. C., OWENS, S., RUSSEK-COHEN, E. et WESTHOFF, D. C., (2001). Effect of sampling method on the representative recovery of microorganisms from the surfaces of aquacultured finfish. *Journal of Food Protection*. Vol. 64, n° 10, pp. 1515-1520. DOI 10.4315/0362-028x-64.10.1515.

NIELSEN, Christina K., KJEMS, Jørgen, MYGIND, Tina, SNABE, Torben et MEYER, Rikke L., (2016). Effects of Tween 80 on Growth and Biofilm Formation in Laboratory Media. *Frontiers in Microbiology*. Vol. 7, pp. 1878. DOI 10.3389/fmicb.2016.01878.

NINAN, George, K.V, Lalitha, A.A, Zynudheen et JOSEPH, Jose, (2011). Effect of Chilling on Microbiological, Biochemical and Sensory Attributes of Whole Aquacultured Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792). *Journal of Aquaculture Research & Development*. Vol. 6, n° 1, pp. 1-8. DOI 10.4172/2155-9546.S5-001.

NORMANDIE FRAICHEUR MER, (s.d). Répertoire pour l'évaluation qualité des produits de la pêche et la normalisation en criée. [Consulté le 13 août 2024]. Disponible à l'adresse : [https://www.normandiefraicheurmer.fr/media/repertoire\\_qualite\\_nfm\\_\\_005957700\\_0830\\_08012013.pdf](https://www.normandiefraicheurmer.fr/media/repertoire_qualite_nfm__005957700_0830_08012013.pdf)

OBERLÉ, Kenny, BOUJU-ALBERT, Agnès, HELSENS, Nicolas, PANGGA, Gladys, PREVOST, Hervé, MAGRAS, Catherine et CALVEZ, Ségolène, (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*. Vol. 132, n° 3, pp. 1738-1750. DOI 10.1111/jam.15344.

OLSEN, Stein Harris, JOENSEN, Sjurdur, TOBIASSEN, Torbjørn, HEIA, Karsten, AKSE,

Leif et NILSEN, Heidi, (2014). Quality consequences of bleeding fish after capture. *Fisheries Research*. Vol. 153, pp. 103-107. DOI 10.1016/j.fishres.2014.01.011.

OLSEN, Stein Harris, SORENSEN, Nils Kristian, STORMO, Svein Kristian et ELVEVOLL, Edel Oddny, (2006). Effect of slaughter methods on blood spotting and residual blood in fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. Vol. 258, n° 1, pp. 462-469. DOI 10.1016/j.aquaculture.2006.04.047.

ONYANGO, S., PALMADOTTIR, H., TÓMASON, T., MARTEINSSON, V. T., NJAGE, P. M. K. et REYNISSON, E., (2016). Influence of Thawing Methods and Storage Temperatures on Bacterial Diversity, Growth Kinetics, and Biogenic Amine Development in Atlantic Mackerel. *Journal of Food Protection*. Vol. 79, n° 11, pp. 1929-1937. DOI 10.4315/0362-028X.JFP-16-094.

ÖZOGUL, F, POLAT, A et ÖZOGUL, Y, (2004). The effects of modified atmosphere packaging and vacuum packaging on chemical, sensory and microbiological changes of sardines (*Sardina pilchardus*). *Food Chemistry*. Vol. 85, n° 1, pp. 49-57. DOI 10.1016/j.foodchem.2003.05.006.

ÖZOGUL, F, TAYLOR, K. D. A, QUANTICK, P et ÖZOGUL, Y, (2000). Chemical, microbiological and sensory evaluation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) stored in ice, modified atmosphere and vacuum pack. *Food Chemistry*. Vol. 71, n° 2, pp. 267-273. DOI 10.1016/S0308-8146(00)00169-2.

ÖZOGUL, Yesim et ÖZOGUL, Fatih, (2004). Effects of slaughtering methods on sensory, chemical and microbiological quality of rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) stored in ice and MAP. *European Food Research and Technology*. Vol. 219, n° 3, pp. 211-216. DOI 10.1007/s00217-004-0951-0.

PARISI, Giuliana, FRANCI, Oreste et POLI, Bianca Maria, (2002). Application of multivariate analysis to sensorial and instrumental parameters of freshness in refrigerated sea bass (*Dicentrarchus labrax*) during shelf life. *Aquaculture*. Vol. 214, n° 1, pp. 153-167. DOI 10.1016/S0044-8486(02)00058-3.

PATIL, A, CHOCALE, Narendra, PAGARKAR, A., KOLI, J., BHOSALE, Bhaskar, SHARANGDHAR, S, GAIKWAD, Bhavesh et KULKARNI, G.N., (2020). VACUUM PACKAGING IS A TOOL FOR SHELF LIFE EXTENSION OF FISH PRODUCT: A REVIEW. *Journal of Experimental Zoology*. Vol. 23, pp. 807-810.

POLI, B. M., PARISI, G., SCAPPINI, F. et ZAMPACAVALLLO, G., (2005). Fish welfare and quality as affected by pre-slaughter and slaughter management. *Aquaculture International*. Vol. 13, n° 1, pp. 29-49. DOI 10.1007/s10499-004-9035-1.

RAMMOUZ, R El, ABBOUD, J, ABBOUD, M, MUR, A El, YAMMINE, S et JAMMAL, B, (2013). pH, *Rigor Mortis* and Physical Properties of Fillet in Fresh Water Fish: The Case of Rainbow Trout (*Oncorynchus mykiss*). [Consulté le 12 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.aensiweb.com/old/jasr/jasr/2013/5746-5755.pdf>

REZAEI, Masoud, MONTAZERI, Naim, LANGRUDI, Hadi Ershad, MOKHAYER, Baba, PARVIZ, Mohammad et NAZARINIA, Abdullah, (2007). The biogenic amines and bacterial

changes of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored in ice. *Food Chemistry*. Vol. 103, n° 1, pp. 150-154. DOI 10.1016/j.foodchem.2006.05.066.

ROBB ET AL., D. H. F, S. C et P. D, (2000). Muscle activity at slaughter: I. Changes in flesh colour and gaping in rainbow trout. *Aquaculture*. Vol. 182, n° 3, pp. 261-269. DOI 10.1016/S0044-8486(99)00273-2.

ROBERTS, TA, VANSCHOTHORST, M, SHARPE, AN, BAIRDPARKER, AC, BRYAN, FL, BUCHANAN, Robert, BUSTA, FF, DOYLE, MP, FARKAS, J, GRAU, FH, HOBBS, BC, JOUVE, JL, MENDOZA, S, MERICAN, Z, QUEVEDO, F, PITT, John, TEUFEL, P et TOMPKIN, RB, (1996). The International Commission on Microbiological Specification for Foods (ICMSF). *Food Control*. Vol. 7, pp. 99-101.

RØRÅ, Anna Maria Bencze, REGOST, Christelle et LAMPE, Johanna, (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*. Vol. 36, n° 3, pp. 231-239. DOI 10.1016/S0963-9969(02)00141-2.

ROTH, Bjorn, BIRKELAND, Sveinung et OYARZUN, Fernando, (2009). Stunning, pre slaughter and filleting conditions of Atlantic salmon and subsequent effect on flesh quality on fresh and smoked fillets. *Aquaculture*. Vol. 289, n° 3, pp. 350-356. DOI 10.1016/j.aquaculture.2009.01.013.

ROTH, Bjørn, SLINDE, Erik et ARILDSEN, Jan, (2006). Pre or post mortem muscle activity in Atlantic salmon (*Salmo salar*). The effect on *rigor mortis* and the physical properties of flesh. *Aquaculture*. Vol. 257, n° 1, pp. 504-510. DOI 10.1016/j.aquaculture.2005.10.021.

ROTH, Bjorn, TORRISSEN, Ole Johan et SLINDE, Erik, (2005). The effect of slaughtering procedures on blood spotting in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. Vol. 250, n° 3, pp. 796-803. DOI 10.1016/j.aquaculture.2005.03.010.

SAINI, Azimin, (2017). Technique Thursdays: Ike Jime, The Japanese Slaughter Method For Tastier Fish. *MICHELIN Guide* [Consulté le 30 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://guide.michelin.com/sg/en/article/dining-out/what-is-ike-jime>

SALAZAR DUQUE, Diego, HOLGUÍN, Juan, I., Alexis et MARTÍNEZ, Geovanny, (2019). Mejoramiento de la calidad en la carne de la trucha arcoíris mediante la técnica de sacrificio Ikejime: caso Ecuador. *CIENCIA ergo sum*. Vol. 26, pp. 1-14. DOI 10.30878/ces.v26n1a10.

SALGADO-MIRANDA, Celene, PALOMARES, Elizabeth, JURADO, Mirsam, MARÍN, Aída, VEGA, Fernando et SORIANO-VARGAS, Edgardo, (2010). Isolation and distribution of bacterial flora in farmed rainbow trout from Mexico. *Journal of Aquatic Animal Health*. Vol. 22, n° 4, pp. 244-247. DOI 10.1577/H09-004.1.

SalmoFan<sup>TM</sup>, (s.d). dsm-firmenich. [Consulté le 5 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.dsm.com/anh/products-and-services/tools/salmofan.html>

SAMPELS, Sabine, (2015). The Effects of Storage and Preservation Technologies on the Quality of Fish Products: A Review. *Journal of Food Processing and Preservation*. Vol. 39,

n° 6, pp. 1206-1215. DOI 10.1111/jfpp.12337.

SARAIVA, João L., FACCENDA, Filippo, CABRERA-ÁLVAREZ, María J., POVINELLI, Michele, HUBBARD, Peter C., CERQUEIRA, Marco, FARINHA, Ana Paula, SECCI, Giulia, TIGNANI, Maria Vittoria, PULIDO RODRIGUEZ, Lina F. et PARISI, Giuliana, (2024). Welfare of rainbow trout at slaughter: Integrating behavioural, physiological, proteomic and quality indicators and testing a novel fast-chill stunning method. *Aquaculture*. Vol. 581, pp. 740443. DOI 10.1016/j.aquaculture.2023.740443.

SECCI, G., PARISI, G., DASILVA, G. et MEDINA, I., (2016). Stress during slaughter increases lipid metabolites and decreases oxidative stability of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during frozen storage. *Food Chemistry*. Vol. 190, pp. 5-11. DOI 10.1016/j.foodchem.2015.05.051.

SECCI, Giulia, PARISI, Giuliana, MENEGUZ, Marco, IACONISI, Valeria, CORNALE, Paolo, MACCHI, Elisabetta, GASCO, Laura et GAI, Francesco, (2018). Effects of a carbon monoxide stunning method on *rigor mortis* development, fillet quality and oxidative stability of tench (*Tinca tinca*). *Aquaculture*. Vol. 493, pp. 233-239. DOI 10.1016/j.aquaculture.2018.05.002.

SIGURGISLADOTTIR, S., HAFSTEINSSON, H., JONSSON, A., LIE, Ø., NORTVEDT, R., THOMASSEN, M. et TORRISSEN, O., (1999). Textural Properties of Raw Salmon Fillets as Related to Sampling Method. *Journal of Food Science*. Vol. 64, n° 1, pp. 99-104. DOI 10.1111/j.1365-2621.1999.tb09869.x.

SIMITZIS ET AL., (2013). 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. [Consulté le 3 avril 2024]. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/are.12120>

SIMITZIS, Panagiotis E, TSOPELAKOS, Aristeidis, CHARISMIADOU, Maria A, BATZINA, Alkisti, DELIGEORGIS, Stelios G et MILIOU, Helen, (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*. Vol. 45, n° 11, pp. 1759-1770. DOI 10.1111/are.12120.

SKJERVOLD, Per Olav, BENCZE RØRÅ, Anna Maria, FJÆRA, Svein Olav, VEGUSDAL, Anne, VORRE, Aase et EINEN, Olai, (2001). Effects of pre-, in-, or post-rigor filleting of live chilled Atlantic salmon. *Aquaculture*. Vol. 194, n° 3, pp. 315-326. DOI 10.1016/S0044-8486(00)00531-7.

SKJERVOLD, Per Olav, FJÆRA, Svein Olav, ØSTBY, Per Braarød, ISAKSSON, Tomas, EINEN, Olai et TAYLOR, Richard, (2001). Properties of salmon flesh from different locations on pre- and post-rigor fillets. *Aquaculture*. Vol. 201, n° 1, pp. 91-106. DOI 10.1016/S0044-8486(01)00556-7.

SKREDE, Grete et STOREBAKKEN, Trond, (1986). Instrumental colour analysis of farmed and wild Atlantic salmon when raw, baked and smoked. *Aquaculture*. Vol. 53, n° 3,

pp. 279-286. DOI 10.1016/0044-8486(86)90358-3.

SORENSEN, Nils Kristian, (2005). Slaughtering processes for farmed Pangasius in Vietnam. Consultancy surveying Pangasius fillet quality and by-products handling in Vietnamese industry. [Consulté le 3 avril 2024]. Disponible à l'adresse : <https://nofima.brage.unit.no/nofima-xmlui/handle/11250/2576750>

SORENSEN, Nils Kristian, TOBIASSEN, Torbjorn, CARLEHOEG, Mats ET AL., (2004). How do handling and killing methods affect ethical and sensory quality of farmed atlantic salmon? *Elsevier*. pp. 301-307. [Consulté le 15 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167450104800311>

STENSTROM, Inga-Maj, (1985). Microbial Flora of Cod Fillets (*Gadus morhua*) Stored at 2°C in Different Mixtures of Carbon Dioxide and Nitrogen/Oxygen. *Journal of Food Protection*. Vol. 48, n° 7, pp. 585-589. DOI 10.4315/0362-028X-48.7.585.

STERNIŠA, Meta, DVOŘAK, Petr, LUNDA, Roman, LINHARTOVA, Zuzana, SMOLE MOŽINA, Sonja et MRAZ, Jan, (2018). Bleeding of Common Carp (*Cyprinus carpio*) Improves Sensory Quality of Fillets and Slows Oxidative and Microbiological Changes During Refrigerated Aerobic Storage. *Food Technology and Biotechnology*. Vol. 56, n° 4, pp. 524-532. DOI 10.17113/ftb.56.04.18.5792.

TALIADOUROU, Dimitra, PAPADOPOULOS, Vassilios, DOMVRIDOU, Eleni, SAVVAIDIS, Ioannis N et KONTOMINAS, Michael G, (2003). Microbiological, chemical and sensory changes of whole and filleted Mediterranean aquacultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored in ice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 83, n° 13, pp. 1373-1379. DOI 10.1002/jsfa.1553.

TAYLOR, R.G., FJAERA, S.O. et SKJERVOLD P.O., (2002). Salmon Fillet Texture is Determined by Myofiber-Myofiber and Myofiber-Myocommata Attachment. *Journal of Food Science*. Vol. 67, n° 6, pp. 2067-2071. DOI 10.1111/j.1365-2621.2002.tb09502.x.

TEJADA, Margarita et HUIDOBRO, Almudena, (2002). Quality of farmed gilthead seabream (*Sparus aurata*) during ice storage related to the slaughter method and gutting. *European Food Research and Technology*. Vol. 215, n° 1, pp. 1-7. DOI 10.1007/s00217-002-0494-1.

TO, K. Virellia, DAHLGREN, Chelsie, ZHANG, Xue, WANG, Shangshang, WIPF, David O., SCHILLING, M. Wes et DINH, Thu, (2023). Inosine 5'-monophosphate derived umami taste intensity of beef determination by electrochemistry and chromatography. *Meat Science*. Vol. 206, pp. 109343. DOI 10.1016/j.meatsci.2023.109343.

TOPIC POPOVIC, N., STRUNJAK-PEROVIC, I., COZ-RAKOVAC, R., BARISIC, J., JADAN, M., PERSIN BERAKOVIC, A. et SAUERBORN KLOBUCAR, R., (2012). Tricaine methane-sulfonate (MS-222) application in fish anaesthesia. *Journal of Applied Ichthyology*. Vol. 28, n° 4, pp. 553-564. DOI 10.1111/j.1439-0426.2012.01950.x.

VAN DE VIS, Hans, KESTIN, Steve, ROBB, David, OEHLENSCHLÄGER, Jörg, LAMBOOIJ, Bert, MÜNKNER, Werner, KUHLMANN, Holmer, KLOOSTERBOER, Karin, TEJADA, Margarita, HUIDOBRO, Almudena, OTTERÅ, Håkon, ROTH, Bjørn, SØRENSEN, Nils Kristian, AKSE, Leif, BYRNE, Hazel et NESVADBA, Paul, (2003). Is humane slaughter

of fish possible for industry? *Aquaculture Research*. Vol. 34, n° 3, pp. 211-220. DOI 10.1046/j.1365-2109.2003.00804.x.

VELAND, Jon Olav et TORRISSEN, Ole J, (1999). The texture of Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle as measured instrumentally using TPA and Warner-Brazler shear test. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 79, n° 12, pp. 1737-1746. DOI 10.1002/(SICI)1097-0010(199909)79:12<1737::AID-JSFA432>3.0.CO;2-Y.

VOIRIN, Alexandre, (2014). Guide de bonne pratique - Evaluation sensorielle [Consulté le 25 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://patrice-hardouin.canoprof.fr/eleve/.Ressources/Text/Actia-Eval-senso-2014-2.pdf>

WAGNER, Eva M., PRACSER, Nadja, THALGUTER, Sarah, FISCHER, Katharina, RAMMER, Nicole, POSPÍŠILOVÁ, Lucie, ALISPAHIC, Merima, WAGNER, Martin et RYCHLI, Kathrin, (2020). Identification of biofilm hotspots in a meat processing environment: Detection of spoilage bacteria in multi-species biofilms. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 328, pp. 108668. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108668.

XIE, Jing, ZHANG, Zhen, YANG, Sheng-Ping, CHENG, Ying et QIAN, Yun-Fang, (2018). Study on the spoilage potential of *Pseudomonas fluorescens* on salmon stored at different temperatures. *Journal of Food Science and Technology*. Vol. 55, n° 1, pp. 217-225. DOI 10.1007/s13197-017-2916-x.

YUE, Stephanie, (2008). The Welfare of Farmed Fish at Slaughter. *IMPACTS ON FARM ANIMALS* [Consulté le 13 août 2024]. Disponible à l'adresse : [https://animalstudiesrepository.org/hsus\\_reps\\_impacts\\_on\\_animals/3](https://animalstudiesrepository.org/hsus_reps_impacts_on_animals/3)

ZHANG, Longteng, ZHANG, Yuqi, JIA, Shiliang, LI, Yan, LI, Qian, LI, Kaifeng, HONG, Hui et LUO, Yongkang, (2019). Stunning stress-induced textural softening in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets and underlying mechanisms. *Food Chemistry*. Vol. 295, pp. 520-529. DOI 10.1016/j.foodchem.2019.05.148.

ZHANG, Zhichao, WU, Ruiyun, GUI, Meng, JIANG, Zhijie et LI, Pinglan, (2021). Identification of the Specific Spoilage Organism in Farmed Sturgeon (*Acipenser baerii*) Fillets and Its Associated Quality and Flavour Change during Ice Storage. *Foods*. Vol. 10, n° 9, pp. 2021. DOI 10.3390/foods10092021.

ZULEMA, PAVLISKO LASSAN, Andrea et VECCHI, Silvia, (2010). Texture Measurements in Fish and Fish Products. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. Vol. 11, pp. 89-105. DOI 10.1300/J030v11n01\_08.

## Annexes

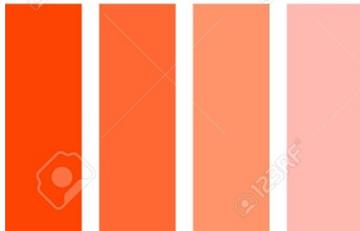
**Annexe 1** : grille de cotation fraîcheur inspirée de ©Cappelier Jean-Michel, TD inspection des poissons. Unité Hygiène et Qualité des Aliments Oniris, 4ème année clinique séquence HQA

<b>Couleur du filet</b> (entourer votre réponse)	1	2	3	4
<b>Objet d'examen</b>	<b>Critères</b>			
	<b>Cotes d'appréciation</b>			
	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Aspect</b>				
<b>Peau</b>	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 <sup>1</sup> Mucus opaque
<b>Chair</b>	Translucide, lisse, brillante Sans aucun changement de coloration originale	Veloutée, cireuse, feutrée Couleur légèrement modifiée	Légèrement opaque	Opaque <sup>1</sup>
<b>État</b>				
<b>Chair</b>	Ferme et élastique  Surface lisse	Élasticité diminuée	Légèrement molle (flasque), élasticité diminuée Surface cireuse (veloutée) et ternie	Molle flasque <sup>1</sup>  Écaille se détachant facilement de la peau : surface granuleuse
<b>Odeur</b>				
<b>Filet / peau</b>	Algue marine	Ni d'algue, ni mauvaise	Légèrement aigre	Aigre <sup>1</sup>

1 : Ou dans un stade d'altération plus avancé.



## Variations de la couleur de la chair



1	2	3	4
---	---	---	---

## Exemples de filets frais



*Annexe 3 : tableau du nombre de dilutions réalisées en fonction du jour d'analyse et de la gélose utilisée*

Dilution Analyse	Gélose	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
	J1	PCA	X	X	X			
GSP		X	X	X				
CFC		X	X	X				
SS		X	X	X				
MRS		X	X	X				
J5	PCA	X	X	X				
	GSP	X	X	X				
	CFC	X	X	X				
	SS	X	X	X				
	MRS	X	X	X				
J12	PCA		X	X	X	X		
	GSP		X	X	X	X		
	CFC		X	X	X	X		
	SS		X	X	X	X		
	MRS	X	X	X				
J19	PCA			X	X	X	X	X
	GSP			X	X	X	X	X
	CFC			X	X	X	X	X
	SS			X	X	X	X	X
	MRS	X	X	X				