



Défaut de goût chez le poisson : off-flavor

Préserver la qualité des produits par une détection préventive ou anticipée ?

L. KOT¹, A. TOCQUEVILLE¹, P. CREACH², P. FOUCARD¹

Contact : kot@itavi.asso.fr

¹ ITAVI Service Aquaculture – ROUEN

² ITAVI – PLOUFRAGAN

Etude financée par :



Résumé

Le phénomène d'off-flavor est relatif à une saveur spécifique de « terre » ou « moisi » pouvant dégrader sensiblement la qualité organoleptique des poissons. Détecter l'off-flavor dans les bassins d'élevage, ou très précocement dans les produits avant transformation, permettrait d'anticiper la prolifération de ces molécules et la mise en place de solutions correctives par les éleveurs dès les premiers signaux d'alerte.

Des essais ont donc été menés en pisciculture sur la gestion et l'élimination de l'off-flavor. Les technologies de détection anticipée des molécules, bien qu'elles existent au stade laboratoire, ne sont pour le moment pas transférables aux professionnels de la filière piscicole qui recherchent davantage un outil portable utilisable sur leurs élevages. L'utilisation d'un aliment spécifique pour les systèmes recirculés ne semble pas limiter le développement des composés volatils. Bien que l'affinage soit une méthode efficace d'élimination de l'off-flavor, elle semble en incohérence avec la raréfaction de la ressource en eau. D'autres méthodes méritent d'être explorées dans le futur pour garantir la qualité des produits.

1. Off-flavor, un enjeu pour la filière piscicole

L'off-flavor désigne une saveur répulsive d'intensité variable, liée à des descripteurs « terre » ou « moisi ». L'origine de ce phénomène est principalement liée à l'apparition de microorganismes, des cyanobactéries, qui sécrètent des composés odorants volatils correspondant aux descripteurs précités. La présence de microorganismes est liée à une dégradation de la qualité de l'eau des bassins d'élevage. Dans les systèmes de production, l'évolution de la charge globale en nutriments (phosphore, azote) est sans doute à l'origine des problèmes d'off-flavor, en favorisant le développement d'organismes qui n'y sont normalement pas présents (Robin et al., 2006). La croissance de ces microorganismes est également positivement corrélée à la température de l'eau.

Les problèmes d'off-flavor sont le plus fréquemment causés par deux molécules odorantes : la géosmine et le méthylisobornéol (MIB) (Tucker, 2000), bien que d'autres molécules puissent être incriminées comme le montrent les travaux de Ahmed Abbas Mahmoud (2016) portant sur un élevage de truites en étang ou ceux de Lindholm-Lehto

(2022) sur des truites en RAS (Recirculating Aquaculture System). Robertson et al. (2003 et 2005) ont estimé que les seuils de détection par le goût se situaient entre 500 ng/kg pour le MIB et 1000 ng/kg pour la géosmine dans la truite.

En aquaculture, la saveur « terreux-moisi », si elle est suffisamment intense, masque facilement l'ensemble des autres odeurs et goûts classiquement attendus pour un produit comme le poisson. La présence d'off-flavor a donc des conséquences pour les éleveurs, les transformateurs et les distributeurs : désaffection des consommateurs, dégradation de l'image du produit... L'enjeu économique lié à la présence d'off-flavor est donc capital pour la filière piscicole.

Les pisciculteurs ne disposent cependant d'aucun moyen d'anticipation du phénomène afin d'envisager le plus précocement possible la mise en place de mesures correctives. Alors que le temps estimé pour la fixation de la géosmine et du MIB dans la chair des poissons est estimé en heures, le temps d'épuration de ces composés de leur chair par la mise en eau claire est estimé en jours voire en semaines (Azaria, 2018).

Le projet NAZO : détection et prévention des défauts de goût « off-flavor » en pisciculture

Financé par le FEAMP et en partenariat avec le CIPA, le projet vise à identifier et tester des technologies sensibles tel que les nez électroniques afin de détecter en amont (sur l'eau) et en aval (sur les produits avant abattage et transformation) les molécules responsables du phénomène d'off-flavor.

Les différentes tâches du projet sont :

- Sélectionner les capteurs et finaliser/adapter leur développement aux spécificités des molécules recherchées
- Tester les capteurs sur des matrices eau / poissons
- Tester des protocoles de traitement/prévention de l'off-flavor :
 - Réduire les chances d'apparition du off-flavor dans le milieu d'élevage
 - Réduire le temps d'affinage des poissons
 - Réduire la charge en off-flavor directement dans le milieu
 - Suivre la cinétique d'épuration des œufs de caviar et rechercher des indicateurs indirects de la contamination des œufs
- Valider la transférabilité aux opérateurs de la filière : analyse technico-économique (contraintes d'utilisation, coûts, fiabilité...)

2. Projet « NAZO » : détection et prévention des défauts de goût en pisciculture

2.1. Un nez électronique pour la mesure de l'off-flavor

Actuellement, les méthodes de détection de l'off-flavor par analyse sensorielle sont appliquées après l'apparition du problème, dans les produits à transformer ou à commercialiser. Détecter l'off-flavor dans les bassins d'élevage – ou très précocement dans les produits avant transformation – permettrait d'anticiper la prolifération de ces molécules et la mise en place de solutions correctives dès les premiers signaux d'alerte.

Des nez et langues électroniques sont développés pour approcher la perception humaine, principalement pour des applicatifs en agroalimentaire. Ils s'appuient sur un ensemble de capteurs de composés volatils (molécules chimiques odorantes ou COVs) de technologie SPR (Résonance Plasmonique de Surface) (Créach et al., 2020). L'ensemble des réponses individuelles de ces capteurs forme une « empreinte olfactive » pouvant être comparée à des odeurs caractérisées (de référence pour la comparaison). L'utilisation de ces appareils pour l'identification de l'off-flavor permettrait des mesures plus rapides et plus objectives qu'avec un jury de nez, qui peut ne pas être totalement entraîné sur des odeurs très spécifiques, comme celles d'intérêt pour notre projet (géosmine et MIB), que les panelistes ne connaissent pas. La portabilité des appareils serait un plus pour un diagnostic encore plus rapide.

L'objectif de notre étude est de tester une technologie optique miniaturisée et portable de nez électronique (NeOse d'Aryballes Technologies) basée sur la résonance plasmonique de surface par imagerie (SPRi) pour la détection de l'off-flavor sur matrice poisson et eau. Ce nez

fournit une intensité d'odeurs et une signature olfactive de l'échantillon. Chaque capteur élémentaire constitutif de ce nez est doté d'un matériau sensible à une gamme de molécules et la variation de sa structure lors du passage des gaz induit une variation du signal optique, qui est enregistré comme signature. A noter que l'appareil utilisé à l'époque des tests n'est pas la dernière génération de capteur commercialisé aujourd'hui par le fournisseur.

Toutefois, le nez artificiel utilisé présente une très forte sensibilité à l'humidité, qui masque sa réponse. Les tests sur matrice eau n'ont donc pas été possible, limitant l'analyse à la matrice poisson.



Figure 1 : Le nez électronique NeOse (Source : Aryballe Technologies)

L'appareil n'a pas permis de distinguer les différents échantillons de poisson, qu'ils soient crus, cuits, frais ou congelés, même après une calibration préalable par rapport à l'eau. En effet, le NeOse utilise un capteur d'humidité embarqué à l'intérieur de l'appareil. Une calibration préalable aux mesures terrain est effectuée en mesurant l'espace de tête d'un flacon d'eau, à la fois par le NeOse et par le capteur d'humidité. Lors d'une mesure terrain effectuée ultérieurement, cette mesure de référence est utilisée pour soustraire la contribution du signal de l'eau en proportion de la quantité d'humidité mesurée par le capteur spécifique d'humidité. L'additivité des signaux liés à la contribution de l'eau et la contribution du reste des COVs est une caractéristique de la technologie SPR. L'appareil Neose est couplé à une plateforme de capteurs

externes. L'un de ces capteurs est un PID (Détecteur à Photoionisation). Avec un PID, l'échantillon de gaz est exposé à une lumière ultraviolette profonde. La lumière émise ionise les gaz ciblés, qui sont ensuite détectés par l'électronique du PID et rapportés sous forme de concentration (ppb ou ppm). Les PID peuvent mesurer les composés organiques volatils (COV) à de très faibles concentrations. De même, l'utilisation d'une résine Tenax TA® pour la concentration de composés organiques par rapport à l'eau, n'a pas non plus permis de discerner les échantillons de poisson par rapport à un témoin. La LOD du nez artificiel testé est trop élevée en comparaison avec les teneurs observables dans les échantillons, de l'ordre de 100 à 1000 ng/kg.

A ce jour, utiliser ce nez artificiel pour caractériser les lots de poissons avec off-flavor ne semble pas adapté. Même si les langues électroniques, utilisées sur une matrice liquide sont actuellement au stade de laboratoire, cette technologie semble plus adaptée pour répondre au besoin identifié en pisciculture. Les langues artificielles pourront faire l'objet de prochains tests dans la mesure ou la possibilité de miniaturisation est envisageable pour assurer la portabilité de l'appareil et envisager des mesures in situ.

2.2. Prévenir l'apparition et optimiser la gestion de l'off-flavor

Les travaux sur la sélection et les tests de capteurs de détection de l'off-flavor ayant mené à une impasse technique, les actions ont été réorientées sur des protocoles de gestion et d'élimination de l'off-flavor.

2.2.1. Réduire les chances d'apparition de l'off-flavor dans le milieu d'élevage

Cet essai, conduit au sein d'une salmoniculture française, a pour objet d'étudier l'impact de l'alimentation sur la propension des poissons à se teinter d'off-flavor et sur l'évolution de la qualité de l'eau en circuit recirculé.

Un circuit recirculé comprenant deux bassins d'élevage de 70 m³ a été utilisé. Le débit de renouvellement est de 5,8 m³/h. Chaque bassin a été empoissonné avec 45 000 truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) de poids moyen initial 45 g, préalablement nourries avec un aliment conventionnel. Deux modalités ont été suivies au cours des 85 jours d'expérimentation (mars-juin 2022) :

- Poissons nourris avec un aliment spécifique « circuit recirculé » (M1),
- Poissons nourris avec un aliment conventionnel (M2)

L'utilisation de liants dans la formulation de l'aliment test (M1) permet la production de fèces compacts censés pouvoir être extrait plus facilement du système, limitant

ainsi le lessivage des nutriments favorables à la prolifération de microorganismes responsable de l'off-flavor.

Un tri avec maintien de la grande taille ainsi qu'un déstockage ont été réalisés à J+44 et J+64 afin de maintenir une densité d'élevage inférieure à 80 kg/m³. Après 3 mois d'élevage, les poissons ont atteint un poids moyen final de 243 g (M1) et 260 g (M2) avec des IC (indice de consommation) proches : 0,66 (M1) et 0,64 (M2).

Les conditions d'élevage (oxygène, pH) étaient identiques entre les deux bassins, la température était comprise entre 10,3 et 14,2 °C. Les rejets azotés, mesurés en entrée de biofiltre, sont globalement similaires entre les deux modalités, les rejets phosphatés (PO₄³⁻) sont légèrement plus faibles pour M1 sur la deuxième moitié de l'essai : 1,5 mg/L (M1) vs 2,5 mg/L (M2).

Les composés responsables de l'off-flavor ont été analysés dans l'eau d'élevage ainsi que dans la chair des poissons par chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC-MS). Dans l'eau, seul la géosmine et le MIB ont été recherchés mais ce dernier n'a pas été quantifié (résultats inférieurs au seuil de quantification de 50 ng/L). Les taux de géosmine sont quant à eux similaires entre les deux modalités, bien que variant au cours du temps en fonction de la biomasse présente (figure 2).

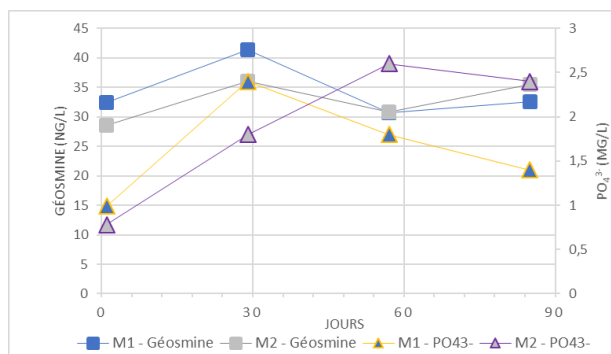


Figure 2 : Évolution du taux de géosmine (ng/L) (moyenne des 3 réplicas) et du phosphore (mg/L) dans l'eau des deux bassins d'élevage (M1 et M2) au cours du temps

La géosmine est le composé retrouvé dans les taux les plus importants dans la chair des truites (entre 3000 et 9000 ng/kg). D'autres composés suspectés d'être responsables de l'off-flavor ont également été quantifiés : MIB, TCA (2,4,6-trichloroanisole) et TBA (2,4,6-tribromoanisole). L'IPMP (2-isopropyl-3-méthoxypyrazine) n'a été quantifié que dans un seul échantillon (M2) sur 24. La chair des poissons nourris avec l'aliment « circuit recirculé » (M1) semblent contenir davantage de TCA et de MIB, mais moins de TBA.

Par ailleurs, l'utilisation de l'aliment test, rendant les fèces plus compact, a entraîné l'encrassement du filtre de la

pisciculture (lit fixe) et donc un nettoyage plus fréquent, limitant son efficacité.

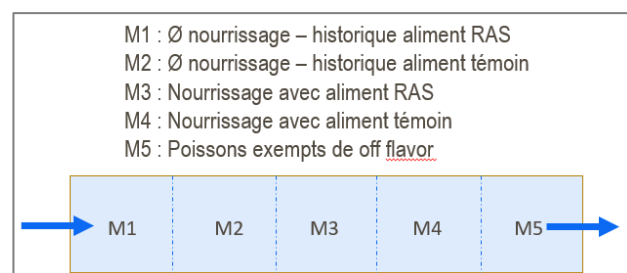
Cet essai n'a pas permis de confirmer qu'un aliment spécifique « circuit fermé » permettait de réduire l'apparition de l'off-flavor dans le milieu d'élevage.

2.2.2. Stratégie d'alimentation pour réduire le temps d'affinage des poissons

L'affinage est une pratique consistant à placer les poissons dans un bassin alimenté en « eau claire », considérée comme exempt de molécules responsables de l'off-flavor, pendant une période plus ou moins longue, afin de diminuer la concentration de composés odorants volatils contenue dans la chair. Pendant cette phase d'épuration, il est également conseillé de ne pas nourrir les poissons (Azaria, 2018), mais cela peut entraîner une perte de biomasse selon la durée de l'affinage.

Cet essai avait pour objectif d'évaluer l'impact de l'alimentation sur la période d'affinage et la dynamique d'épuration de l'off-flavor. Une comparaison des capacités analytiques entre deux laboratoires a également été effectuée.

À la suite de l'essai présenté précédemment, 4 groupes de 500 individus (poids moyen compris entre 261 et 269 g) issus du circuit recirculé ont été placés dans un bassin d'affinage de type *raceway* alimenté en eau de source par un débit de 110 l/s. Le bassin est compartimenté par des grilles afin que les poissons ne se mélangent pas. Un 5ème groupe de poisson provenant d'un bassin en circuit ouvert exempt d'off-flavor en théorie a été placé à la suite des quatre autres modalités afin d'étudier la capacité des filets à se teinter d'off-flavor. L'affinage est conduit pendant 3 semaines avec les 5 modalités suivantes :



De par le débit et la qualité de l'eau alimentant le bassin, les paramètres physico-chimiques sont stables entre l'entrée et la sortie du bassin, du début à la fin de l'expérimentation. Chaque groupe est maintenu à une densité comprise entre 50 et 55 kg/m³.

La recherche des composés odorants volatils dans l'eau a été réalisée par deux laboratoires afin de comparer les résultats obtenus par deux méthodes différentes (tableau 1).

Pour les analyses d'eau et de chair, les échantillons sont prélevés chaque semaine en triplicat pour chacune des modalités.

Tableau 1 : Caractéristiques des deux méthodes employées par les laboratoires prestataires

	A	B
Prélèvement	Flacon plastique sans stabilisant	Flacon verre avec stabilisant
Extraction	SBSE (Twister™)	Sonication + SPME (micro-extraction en phase solide)
Analyse	GC-MS	GC-MS/MS
Molécules recherchées	Géosmine MIB	5 molécules « goût moisi-terreux » (dont géosmine et MIB) 5 bromophénols 8 haloanisoles

Il ressort de ces analyses des résultats contrastés et très proches des limites de quantification (LOQ). La méthode A quantifie systématiquement la géosmine à l'inverse de B (tableau 2A). Cela peut s'expliquer par l'accumulation des molécules hydrophobes dans le plastique des flacons ainsi que par la poursuite de l'activité biologique des microorganismes de par l'absence de stabilisant. Les analyses réalisées sur l'eau d'entrée de bassin montrent que celle-ci est naturellement très peu chargée en composés odorants volatils. Le débit dans le bassin est tel que les concentrations en sortie du *raceway* sont similaires à celles en entrée.

Les analyses de chair montrent qu'une fois encore, la géosmine est le composé retrouvé avec les concentrations les plus élevées. Dans les conditions de cet essai, une semaine d'affinage a permis de réduire fortement la charge en géosmine (-95%) et MIB (-65%) des filets pour les modalités 1 à 4 (tableau 2B).

En comparaison des poissons nourris avec les régimes circuit recirculé et Témoin, la mise à jeun pendant toute la durée de l'affinage (M1 et M2) permet de réduire plus rapidement le taux de TBA dans les filets mais a entraîné une perte de poids d'environ 20 g par individu. Les poissons exempts d'off-flavor à T0 (M5) commencent à se teinter plus intensément à partir de 2 semaines de stockage derrière des poissons nourris (augmentation de la concentration en géosmine et MIB).

Des analyses organoleptiques ont également été réalisées (tableau 2C). Des filets des modalités 1 à 4 ont été prélevés à T0 puis chaque semaine pendant les 3 semaines d'expérimentation. 15 descripteurs ont été analysés sur des filets crus et cuits. L'ANOVA a été utilisée pour le test statistique. Le jury confirme que les filets non affinés (prélevés à T0) présentent davantage de défaut de goût (odeur/goût de cave et d'eau croupie plus intense quel que soit la modalité).

Tableau 2 : Synthèse des analyses menées pendant l'affinage

Tableau 2A : Concentration en géosmine dans l'eau de sortie de bassin selon la méthode analytique (Moyenne des réplicas – LOQ incluses)

	T0	T+1 semaine	T+2 semaines	T+3 semaines
Méthode A - LOQ : 3 ng/L	20,0 ng/L	13,2 ng/L	Pas de donnée	17,3 ng/L
Méthode B - LOQ : 6 ng/L	ND	ND	6 ng/L	10,3 ng/L

Tableau 2B : Concentration en géosmine et MIB dans la chair de poisson (Moyenne des 3 réplicas – LOQ incluses)

		T0	T+1 semaine	T+2 semaines	T+3 semaines
Géosmine (en ng/kg) LOQ : 75 ng/kg	M1	1822	120	79	104
	M2	1640	75	99,7	75
	M3	2590	110	103	128
	M4	2003	79,3	75	265
	M5	104	94,8	323	243
MIB (en ng/kg) LOQ : 115 ng/kg	M1	398	115	115	115
	M2	247	115	115	115
	M3	606	179	115	130
	M4	251	115	115	243
	M5	135	122	343	151

Tableau 2C : Analyses organoleptiques - Descripteurs significatifs liés à l'off-flavor

	T0	T+1 semaine	T+2 semaines	T+3 semaines
M1	Odeur de cave Goût de cave et d'eau croupie	Odeur de végétal frais	-	Odeur de cave (sur poisson cru)
M2	Odeur d'eau croupie et de cave Goût d'eau croupie et de cave	Odeur de végétal frais (sur poisson cru)	-	Odeur de cave (sur poisson cru)
M3	Odeur d'eau croupie et de cave Goût d'eau croupie et de cave	Odeur de végétal frais (sur poisson cru)	-	Odeur de cave (sur poisson cru)
M4	Odeur de cave Goût de cave et d'eau croupie	Odeur de végétal frais (sur poisson cru)	-	-

Les 4 modalités se différencient significativement entre elle sur des descripteurs non liés à l'off-flavor (ex : après 2 semaines d'affinage, M4 présente un goût moins intense et moins sucré que M3, et moins typique que M1). Après 3 semaines d'affinage, aucune différence significative ne distingue gustativement et olfactivement les quatre modalités entre elles. Les filets crus présentent tous une odeur générale plus intense en fin d'affinage qu'à T0, mais également une odeur de cave plus intense (excepté M4). Ces résultats semblent en adéquation avec les seuils de détection par le goût qui se situent entre 500 ng/kg pour le MIB et 1000 ng/kg pour la géosmine dans la truite (Robertson et Lawton, 2003 ; Robertson et al., 2005).

3. Discussions et perspectives pour la filière

Aujourd'hui, nombreux sont les laboratoires qui proposent le dosage des composés odorants volatils. Pour autant, les méthodes divergent, impactant alors sur le prix de l'analyse, les seuils de quantification (de 10 à 1000 ng/kg selon les laboratoires) et donc les résultats. Les composés dosés étant le résultat de l'activité biologique de bactéries, le type de flacon et l'utilisation de stabilisant peuvent influencer les résultats (tableau 2A).

Quand bien même l'off-flavor serait détecté dans l'eau ou la chair, la méthode de correction la plus fréquemment utilisée, l'affinage, consiste à effectuer une mise en « eau claire » des poissons pendant une période plus ou moins

longue. Encore faut-il définir correctement la notion d'eau claire au niveau de la qualité de l'eau et de son renouvellement. L'idée étant que le fait de placer des poissons contenant des composés responsables de l'off-flavor dans une eau dénuée de ces composés permettrait une diffusion passive par gradient de concentration, des poissons vers le milieu aquatique. La vitesse d'élimination des composés odorants est toutefois d'autant plus lente que la taille du poisson est élevée et sa teneur en lipides importante (Howgate, 2004), mais l'application d'un courant important forçant les poissons à nager contre ce courant permettrait une meilleure épuration de la chair (Azaria, 2018).

Si les résultats de l'expérience présentée précédemment montrent qu'un affinage de 2 semaines réduit de manière importante le risque de défaut de goût dans la chair, il s'agit d'un essai sur de la truite portion avec des lots de 500 individus. Des tests sur des poissons de taille commerciale (3 kg) à densité réelle sont à mener. La mise à jeun des poissons, si elle permet d'accélérer l'épuration de la chair, pose toutefois questions vis-à-vis du bien-être animal et doit donc être limitée autant que faire se peut. Quoi qu'il en soit, l'affinage doit être raisonné pour chaque ferme individuellement en fonction de la quantité et de la qualité de la ressource en eau.

Au-delà de la truite et autres salmonidés, la filière esturgeon est également touchée par la problématique de l'off-flavor, ce qui impacte non seulement le goût de la chair mais également celui du caviar. Des essais, non présentés dans cet article, ont été menés en partenariat avec une ferme productrice d'esturgeons. Nous avons tenté de

rechercher des indicateurs indirects de la « contamination » des œufs à l'off-flavor, via le dosage de la géosmine et du MIB dans les filets ventraux et dorsaux des esturgeons, mais le laboratoire n'a abouti à aucune quantification (< 1000 ng/kg). D'autres essais menés avec un second laboratoire ayant une LOQ plus basse (115 ng/kg pour la géosmine et 75 ng/kg pour le MIB) ont abouti aux mêmes conclusions. La composition même de la matrice analysée, potentiellement le taux de matière grasse, pourrait donc avoir un impact sur le dosage des différents composés.

D'autres méthodes d'élimination de l'off-flavor ont été identifiées dans la littérature (filtre à charbon actif, ozone...) mais n'ont pas été testées dans le cadre du projet NAZO. Elles sont détaillées dans la note technique « Off-flavor en pisciculture, molécule cibles et moyens d'actions » (Foucard *et al.*, 2021).

5. Conclusion

Les moyens de détection anticipée de l'off-flavor grâce à des capteurs n'en sont qu'à leur balbutiement et leur transférabilité aux opérateurs de la filière n'est pas envisageable à ce jour. De même, les méthodes de prévention avec des analyses d'eau/de chair par des laboratoires ne semblent pas toujours entièrement fiables. Le nez du pisciculteur apparaît aujourd'hui encore comme la solution la plus sûre et rapide pour évaluer les défauts de goût des produits.

Dans le contexte actuel de changement climatique, de raréfaction de la ressource en eau et d'augmentation des températures, les conditions paraissent favorables à l'augmentation du risque d'apparition et de développement de l'off-flavor. De plus en plus de sites adoptent des systèmes en recirculation, notamment pour pallier à la période d'étiage quand les débits s'amenuisent. En l'absence de filtres adéquats, ces systèmes sont susceptibles de favoriser l'accumulation de l'off-flavor dans le système d'élevage.

Dans ces conditions, un affinage par une mise en eau claire « massive » n'apparaît pas concevable en raison de l'accessibilité de cette ressource « eau claire » et par les coûts d'immobilisation de bassins qu'elle engendre. De même, en raison de sa consommation importante en eau neuve, cette méthode semble inadaptée pour l'aquaculture en circuit recirculé dont le principe fondamental est de recirculer plus de 90% de l'eau d'élevage. Un travail de test des méthodes alternatives en pisciculture commerciale reste donc à poursuivre.

Remerciements

Ce projet a été conduit dans le cadre du Projet FEAMP NAZO en collaboration avec le CIPA et la participation des piscicultures Charles Murgat et Sturgeon. Nous les remercions pour la mise à disposition des structures d'élevage ainsi que pour leur implication dans ce projet.

Références bibliographiques

- Ahmed Abbas Mahmoud M., Buettner A. 2016. Characterisation of aroma-active and offodour compounds in German rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Part I: Case of aquaculture water from earthen-ponds farming. *Food Chemistry* 210: 623–630
- Azaria S., Van Rijn J. 2018. Off-flavor compounds in recirculating aquaculture systems (RAS): Production and removal processes. *Aquacultural Engineering*. 83p.
- Créach P., Foucard P., Quentin M., Bouvarel I. 2020. Nez et langues électroniques ; quel potentiel de développement pour les productions piscicole et avicole ? *Revue TeMa* n°56.
- Foucard P., Tocqueville A. 2021. Note technique : Off flavor en pisciculture, Molécules cibles et moyens d'actions. 10p.
- Howgate P. 2004. Tainting of farmed fish by geosmin and 2-methylisoborneol : a review of sensory aspects and of uptake/depuration. *Aquaculture* (sous presse) : 27p.
- Lindholm-Lehto P.C. 2022. Developing a robust and sensitive analytical method to detect off-flavor compounds in fish. *Environmental Science and Pollution Research*. 11p.
- Robertson R.F., Lawton L.A. 2003. Off-flavor problems and a potential solution within the UK trout industry. *Off-flavors in Aquaculture – Amer. Chem. Soc. Symp. Series*, 848 : 55-68.
- Robertson R.F., Jaucey K., Beveridge M.C.M., Lawton L.A. 2005. Depuration rates and the sensory threshold concentration of geosmin responsible for earthy-musty taint in rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 245 : 89-99.
- Robin J., Serot T., Levadoux M., Vallod D.. (2006). L'off-flavor dans la filière truite française. Surveillance, caractérisation et outils de contrôle. Rapport OFIMER/IFOP (conventions 074/04/C et 138/2004) : 51p.
- Tucker C. S.. 2000. Off-flavor problems in aquaculture. *Critical Reviews Fisheries Science* 8(1) : 1-44

Abstract: Taste defect in fish – off-flavor

The off-flavor phenomenon is associated with a specific "earthy" or "musty" flavor that can significantly degrade the organoleptic quality of fish. Detecting off-flavor in fish tanks or at a very early stage in products before processing would allow anticipating the proliferation of these molecules and the implementation of corrective measures by farmers at the first signs of alert.

Therefore, trials have been conducted in aquaculture regarding the management and elimination of off-flavor. Early detection technologies for these molecules, although they exist at the laboratory level, are currently not transferable to professionals in the fish farming industry who are looking for a portable tool that can be used on their farms. The use of specific feed for recirculating systems does not appear to limit the development of volatile compounds. While refining is an effective method for eliminating off-flavor, it seems at odds with the scarcity of water resources. Other methods will need to be explored in the future to ensure product quality.