

Programme FEAMP – Innovation :

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

Note technique : Off flavor en pisciculture
Molécules cibles et moyens d'actions



www.itavi.asso.fr

Contact : P. Foucard / A. Tocqueville

1) Définition du off-flavor et enjeux pour la filière

Le *off-flavor* désigne une flaveur répulsive, liée à des descripteurs « terre » ou « moisi ». En aquaculture, la flaveur « terreux-moisi », si elle est suffisamment intense, masque facilement l'ensemble des autres odeurs et goûts classiquement attendus pour un produit comme le poisson. Outre les effets directs pour les producteurs (délais de mise en vente, difficultés de stockage impliquant des pertes économiques...), la présence *d'off-flavor* a également des conséquences pour les transformateurs et les distributeurs : désaffection des consommateurs, dégradation de l'image du produit, conduisant les professionnels à investir parfois lourdement dans des campagnes de promotions rendues nécessaires. Le phénomène peut causer un fort préjudice à l'image de marque du produit et à la fidélisation du consommateur. 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. L'enjeu économique lié à la présence *d'off-flavor* est donc capital pour la filière piscicole française.

2) Origine du phénomène de off-flavor

L'origine de *l'off-flavor* en France est principalement liée à l'apparition de microorganismes qui sécrètent des composés odorants volatils correspondant aux descripteurs précités. Ces microorganismes sont très souvent des cyanobactéries. D'une façon générale, les problèmes *d'off-flavor* sont le plus fréquemment causés par deux molécules odorantes : **la géosmine (1 α ,10 β -dimethyl-9 α -decalol) et le méthylisobornéol (1-R-exo-1,2,7,7-tetramethyl-bicyclo-[2,2,1]- heptan-2-ol) (MIB) (Tucker, 2000)**. Toutes les filières de production aquacoles sont potentiellement concernées par l'apparition de ce problème. Au-delà de ces molécules bien identifiées, il semble que d'autres molécules puissent être incriminées comme le montrent les travaux de Abbas Mahmoud, 2017 portant sur un élevage de truites en étang et utilisant une méthode innovante de détection des molécules odorantes (technique SAFE, solvant-assisted flavour evaporation suivie d'une chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse) : **l'acide nonanoïque, et le 8-heptadecene notamment, retrouvés dans l'eau d'élevage et dans la chair des poissons, ainsi que l'acide hexanoïque, le 2-éthyl-3,5-dimethylpyrazine, l'indole, le bêta-caryophyllene retrouvés spécifiquement dans la chair des poissons.**

La présence de microorganismes producteurs de molécules « *off flavor* » est liée à une dégradation rapide ou progressive, temporaire ou durable de la qualité de l'eau des bassins d'élevage. Dans nos systèmes de production, l'évolution de la charge globale en nutriments est sans doute à l'origine des problèmes *d'off-flavor*, en favorisant le développement d'organismes qui n'y sont normalement pas présents. Une étude récente menée sur 49 sites français de production de truite (Robin et al., 2006b) a démontré qu'une augmentation temporaire ou plus durable de la charge organique favorise le développement de cyanobactéries, dont certaines espèces particulièrement proliférantes (*Planktothrix* et *Microcoleus*) et capables de produire des composés odorants volatils tels que la géosmine ou le 2-méthylisobornéol. Le taux de phosphore dans la ration alimentaire et le niveau de phosphore dissous dans l'eau d'élevage qui en découle peuvent également être corrélée à l'augmentation du phénomène de *off flavor* (Abbas Mahmoud et al, 2016), probablement en raison du fait que le phosphore, tout comme l'azote, est un facteur de croissance important pour la plupart des microalgues et cyanobactéries, tandis que la température est positivement corrélée au taux de croissance de ces microorganismes. Pour autant, le taux de nitrates dans l'eau ne serait pas corrélé à l'augmentation de *off flavor* dans l'eau (Schrader et al, 2013). Une concentration de nitrate élevée inhiberait même la production de géosmine (Saadoun et al, 2001). Le maintien d'un taux d'ammoniaque $N-NH_4^+$ en dessous de 1 mg/L en RAS permettrait de limiter l'apparition de *off flavor* (Schrader, 2019).

Les travaux confirmés dans la filière truite britannique où les systèmes de production sont assez proches des nôtres confirment ces résultats (Robertson et Lawton, 2003). Les deux travaux confirment également l'effet de la température : plus la température de l'eau augmente, plus les risques sont importants. Cette observation est compréhensible car les cyanobactéries sont des espèces phytoplanctoniques à tendance thermophiles, leur température optimum de croissance se situant entre 23 et 28°C. Ainsi, les indicateurs physico-chimiques à suivre devraient concerner les paramètres physiques de base (débit, température, pH...), les teneurs en nutriments tant minérales qu'organiques, les teneurs en MES, ainsi que le dénombrement des microorganismes potentiellement producteurs (cyanobactéries, actinomycètes).

Le risque « *off-flavor* » est très souvent lié aux modifications du régime hydrologique de la rivière. La variabilité des phénomènes climatiques rend difficile de prévoir les variations brutales des débits des cours d'eau et, par extension, l'apparition du phénomène au niveau des piscicultures. Les travaux menés jusqu'à présent n'ont pas encore permis d'aboutir à un « modèle » de prévision efficace de l'apparition du phénomène *off-flavor*.

Les résultats les plus récents de l'étude de l'*off-flavor* dans la filière truite française mettent en évidence que deux types de situations sont susceptibles de conduire à l'apparition de défauts organoleptiques de type « *off-flavor* » :

- les conséquences de l'érosion et du lessivage des sols du bassin versant suite à des précipitations. Il s'agit là de processus d'origine naturelle, liés en grande partie à des paramètres climatiques et météorologiques non contrôlés. Il semble ainsi très difficile de mettre en place une approche préventive. L'apparition d'un épisode « *off-flavor* » peut être très temporaire (en particulier suite à un épisode pluvieux) et nécessiter une certaine réactivité.
- la mise en recirculation du fait d'un étiage important. Une solution en période d'étiage consiste à adopter des systèmes en recirculation. En l'absence de filtres adéquats ces systèmes sont susceptibles de favoriser l'apparition d'*off-flavor*.

3) Méthode classique de correction du *off-flavor*

La mise en eau claire :

La méthode la plus fréquemment utilisée consiste à effectuer une mise en « eau claire » 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, et les densités maximales de poissons à ne pas dépasser. L'idée étant que le fait de placer des poissons contenant des composés responsables du *off-flavor* dans une eau dénuée de ces composés permettrait une diffusion passive par gradient de concentration, des poissons vers le milieu aquatique. Par ailleurs, l'application d'un courant important forçant les poissons à nager contre ce courant permettrait également une meilleure épuration de la chair (Azaria, 2018). Il est également conseillé de ne pas nourrir les poissons pendant cette phase d'épuration (Azaria, 2018). Cependant, 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). Des essais récemment menés par Robin et al. (2006b) sur des truites de 300g permettent d'obtenir des résultats assez rapides si le stockage ne dépasse pas 30kg/m³, et si l'eau claire provenant d'un forage fonctionne en circuit totalement ouvert. Ce système est cependant loin d'être aisé à mettre en œuvre in situ. De plus, la vitesse d'élimination des composés odorants est d'autant plus lente que la taille du poisson est élevée et sa teneur en lipides importante (Howgate, 2004). Des truites de grande taille destinées à la vente sous forme de darnes devront ainsi être immobilisées de longues semaines pour obtenir des résultats significatifs.

En réalité, une mise en eau claire « massive » n'est souvent pas concevable car, avant tout, les coûts d'immobilisation de bassins sur une structure de production sont trop élevés et la ressource « eau claire » n'est pas fréquemment accessible. Cette méthode corrective ne s'adapte donc qu'à certains sites de production, doté de l'espace nécessaire et d'un forage.

En outre, en raison de sa consommation importante en eau neuve, cette méthode semble inadaptée pour l'aquaculture en circuit recirculée dont le principe fondamental est de recirculer plus de 90% de l'eau d'élevage.

→ Cette méthode est en général appliquée a posteriori de l'apparition du problème, après vérification par analyse sensorielle de la présence de défauts de goût dans les truites à transformer ou commercialiser. La détection précoce et la prévention de l'apparition des phénomènes *d'off-flavor* présentent donc un intérêt majeur.

4) Autres méthodes testées dans la littérature scientifique

- **L'utilisation d'un filtre à charbon actif** : la méthode semble efficace, mais seulement sur une eau très peu chargée en MES, ce qui est incompatible avec une eau issue de circuit recirculé en pisciculture, 10 mg/L de MES étant déjà une valeur « élevée » pour cette méthode plutôt utilisée en traitement de l'eau potable : les filtres à charbon actif peuvent rapidement être colmatés. Il faudrait ainsi obtenir une filtration très fine de l'eau d'élevage pour que cette méthode puisse réellement être utilisée (Azaria, 2018).
- **L'utilisation d'ozone** : l'ozone est déjà largement utilisée dans la technologie RAS pour traiter la matière organique et pour hygiéniser l'eau. Cette méthode montre un potentiel mais son efficacité est dépendante directement de la charge en matière organique, et présente des risques (mortalité plus élevée du cheptel, risques pour les manipulateurs humains...). Des doses d'ozone de 1, 2 et 4 mg/L avec un temps de contact de 12 min. peut réduire une concentration initiale de 100 ng de MIB/L dans l'eau de rivière de MIB de 58%, 65% et 75% respectivement (Koch, Gramith, Dale et Ferguson, 1992). Cependant, l'ajout continu d'ozone à faible dose (<1 µg/L), plus adapté à la pratique de l'aquaculture, peut améliorer la qualité de l'eau et réduire le nombre de bactéries hétérotrophes, mais ne parvient pas à diminuer les niveaux de MIB et de GSM (Schrader et al., 2010) et à éviter leur fixation dans la chair des poissons. On soupçonne par ailleurs que l'ozonation crée plusieurs sous-produits, notamment l'acide hypobrome dans l'eau de mer, le bromate et les aldéhydes cancérigènes et les acides carboxyliques (Lindholm-Letho, 2018).

- **L'utilisation de peroxyde d'hydrogène dans l'eau de purge :** Davidson et al (2014) ont montré que la désinfection préalable de l'eau destinée à accueillir les poissons à « purger », avec du peroxyde d'hydrogène dosé à 250 mg/L (1H de traitement en statique) permettait de diminuer plus efficacement la charge en géosmine et MIB dans la chair des poissons. Appliqué en traitement d'eaux déjà chargées en géosmine et MIB, l'irradiation UV couplée avec une dose de 5 mg/L de peroxyde d'hydrogène a permis d'éliminer 75% du GSM (de 40 ng / L à 10 ng / L) et 53% de MIB (de 21 ng / L à 10 ng / L) (Swaim et al., 2008).
- **L'utilisation de filtres à sables (ou autres médias adsorbants) enrichis en bactéries capables de dégrader le MIB et GSM :** Ho et al (2007) ont montré que certaines bactéries ensemencées dans des filtres à sable pourraient permettre un abattement intéressant de MIB et GSM à hauteur de 85%.
- **L'utilisation d'ultrasons (850 kHz) et de sel (10ppt) :** Cette méthode est encore peu éprouvée, mais s'avère très intéressante en raison du fait que son efficacité serait indépendante de la charge en matière organique dans l'eau d'élevage. Des questions se posent cependant vis-à-vis de la viabilité économique de cette méthode (Azaria, 2018). Les ultrasons auraient un effet très concret sur la réduction de molécules responsables de *off-flavor* dans l'eau, tandis que l'addition de sel améliorerait l'efficacité de cette méthode. Cette méthode fait partie des plus prometteuses pour gérer l'accumulation de composés *off-flavor* en aquaculture (Nam Koong, 2017).
- **L'utilisation de lampe UV couplée à du dioxyde de titane « immobilisé » :** l'utilisation de dioxyde de titane (TiO₂) pour traiter l'eau d'élevage en circuit recirculé a montré son efficacité (Lawton et al, 2003) (plus de 99% d'oxydation du GSM et MIB) mais pose problème en raison du rejet de nanoparticules de titane que cela implique, même après filtration et élimination de ce catalyseur. Des recherches récentes portent sur l'application de cette méthode avec intégration du TiO₂ au sein d'un substrat solide et couplé à une lampe UV. Cette méthode n'est pas encore développée à échelle commerciale mais constitue l'une des pistes les plus prometteuses (Rodriguez-Gonzalez, 2018) : elle permettrait d'abattre jusqu'à 60% de la géosmine et jusqu'à 72% du MIB dans l'eau d'élevage.

→A ce jour, la mise en eau claire est la seule stratégie employée en aquaculture. Cet « affinage » nécessite beaucoup d'eau douce et entraîne souvent des coûts de production élevés. Une étape d'affinage implique de plus grandes installations pour l'adaptation des réservoirs et autres équipements, une augmentation des coûts de pompage, une réduction du poids du produit et un retard de vente du produit. Dans certains cas, l'exigence d'une eau de haute qualité pour la phase d'affinage peut nécessiter un traitement supplémentaire, par exemple à l'ozone ou à l'acide peracétique, ou simplement chauffer l'eau avant de transporter le poisson dans des bassins de purge, ce qui augmente encore les coûts de production. Cependant, l'option la plus chère pour un producteur est la diminution de la qualité du produit et la perte de clients. Différentes méthodes basées sur l'oxydation peuvent présenter un intérêt pour le traitement de l'eau destinée à l'épuration des poissons en amont de l'ajout des poissons destinés à être « purifiés ». Certaines méthodes alternatives à l'oxydation commencent à apparaître et présentent une efficacité intéressante, notamment les ultrasons et le dioxyde de titane immobilisé, mais méritent davantage de recherche sur la faisabilité technique à grande échelle et sur l'aspect économique également.

5) La détection des défauts de goût dans les produits piscicoles

Des seuils de détection de la géosmine ou du MIB par l'homme ont été établis dans l'eau et dans la chair de poisson, en comparant des valeurs obtenues par dosage des composés odorants avec les résultats d'analyses sensorielles effectuées par des testeurs entraînés.

Dans l'eau, les seuils de détection de l'odeur sont relativement bas : ils sont de l'ordre de 1,3 ng/l pour la géosmine et 6,3 ng/l pour le MIB par *Lawton et al. (2003)*, alors que *Howgate (2004)* les évaluent à respectivement 15 ng/l et 35 ng/l. La différence résulte de la méthode choisie pour la définition du seuil de détection: Howgate préconise de valider le seuil uniquement lorsque plus de la moitié des 15 goûteurs perçoit l'odeur caractéristique liée à la présence de la molécule, alors que Lawton et al. ont travaillé directement sur les moyennes des notes données par les goûteurs. Il apparaît donc que les seuils de Lawton et al. semblent sous-évalués, ce que nos travaux en cours confirment : à moins de 5 ng/l, un testeur entraîné ne perçoit pas systématiquement l'odeur de la géosmine. Dans la truite, les seuils de détection sont plus élevés que pour la plupart d'autres poissons tels la brème ou le brochet (*Persson, 1980*). Néanmoins, ils restent relativement bas, estimés 0.5 µg/kg pour le MIB, et de l'ordre de 1 µg/kg pour la géosmine (*Robertson & Lawton, 2003 ; Robertson et al., 2005*).

Les travaux de Robin et al., 2006 corroborent la valeur seuil citée pour la géosmine et précisent que le seuil de détection par le goût semble plus bas que par évaluation olfactive. Ils mettent aussi en évidence l'inversion des niveaux de seuils pour les deux molécules : le MIB est détecté à un seuil moindre que la géosmine dans le poisson alors que la situation est inverse dans l'eau. Une hypothèse d'explication serait de penser que l'interférence de l'odeur « poisson » avec la géosmine est plus importante qu'avec le MIB. L'ensemble de ces seuils de détection est à comparer aux valeurs retrouvées dans les poissons, qui peuvent atteindre plusieurs dizaines voire centaines de ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$). En tenant compte des différents seuils dans l'eau et le poisson, et à l'image des évaluations menées sur l'eau destinée à la consommation humaine, il est particulièrement intéressant d'utiliser l'évaluation sensorielle de l'eau dans le milieu de production afin de permettre d'anticiper les risques *d'off-flavor* sur le poisson.

La technologie des nez électroniques a un potentiel à explorer pour la détection précoce du *off-flavor* en pisciculture. Wilson et al (2013) ont déjà fait des tests sur une technologie de nez électronique en polymère conducteur pour la détection du *off-flavor* chez le poisson chat, et sont parvenus à (1) détecter le *off-flavor*, (2) discriminer un échantillon de poissons avec et sans *off-flavor*. Cependant, la technologie de l'époque était peu adaptée à une utilisation sur le terrain (non portables, temps d'analyse trop long, durée de vie limitée des capteurs...), problèmes qui ne sont plus actuels avec les technologies les plus récentes.

Listing bibliographique :

- AZARIA S., VAN RIJN J. (2018)** - Off-flavor compounds in recirculating aquaculture systems (RAS): Production and removal processes, *Aquacultural Engineering* 83
- DAVIDSON J., SCHRADER K., RUAN E., SWIFT B., AALHUS J., JUAREZ M., WOLTERS W., BURR G., GOOD C., SUMMERFELT S. (2014)** - Evaluation of depuration procedures to mitigate the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol from Atlantic salmon *Salmo salar* raised to market-size in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*. 61:27-34.
- DAVIDSON J., SUMMERFELT S., STRAUS D., SCHRADER K., GOOD C. (2019 -)**, Evaluating the effects of peracetic acid on water quality, rainbow trout performance, and off-flavor compounds in RAS. *Journal of Aquaculture Engineering*. 89:117-127. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.12.009>.
- HO L., HOFEL D., BOCK F., SAINT C.P. (2007)** - Biodegradation rates of 2-methylisoborneol (MIB) and geosmin through sand filters and inbioreactors, *Chemosphere* 66 (2007) 2210–2218
- 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.
- LAWTON, L. A., ROBERTSON, P. K. J., ROBERTSON, R. F. & BRUCE, F. G. (2003)-** The destruction of 2-methylisoborneol and geosmin using titanium dioxide photocatalysis. *Applied Catalysis B: Environmental* 1348 : 1-5.
- LINDHOLM-LEHTO C., Vielma J. (2018)** - Controlling of geosmin and 2-methylisoborneol induced off-flavours in recirculating aquaculture system farmed fish—A review. *Aquaculture Research* Volume 50, Issue 1
- MAHMOUD M., BUETTNER A. (2016a)** - Characterisation of aroma-active and off-odour compounds in German rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Part I: Case of aquaculture water from earthen-ponds farming, *Food Chemistry* 210:623–630
- MAHMOUD M., BUETTNER A. (2016b)** - Characterisation of aroma-active and off-odour compounds in German rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Part II: Case of fish meat and skin from earthen-ponds farming, *Food Chemistry* 232:841–849
- NAM KOONG H., SCHROEDER J.P., PETRICK G., SCHULZ C. (2015)** - Removal of the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol from recirculating aquaculture system water by ultrasonically induced cavitation October 2015 *Aquacultural Engineering* 70
- 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., JAUNCEY 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*. *Aquacult*, 245 : 89-99.
- ROBIN J., CRAVEDI J.P., HILLENWECK A., DESHAYES C., VALLOD D. (2006a)** - Characterization and origin of off- flavor in French trout farming. *Aquacult.*, 260, 128-138.
- ROBIN J., SEROT T., LEVADOUX M., VALLOD D. (2006b)** - 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.
- RODRIGUEZ GONZALEZ L., PETTIE S.L. ZHAO W. (2018)** - Oxidation of off-flavor compounds in recirculating aquaculture systems using UV-TiO₂ photocatalysis, December 2018, *Aquaculture* 502
- SAADOUN I.M.K., SCHRADER K.K., BLEVINS W.T. (2001)** - Environmental and nutritional factors affecting geosmin synthesis by *Anabaena* sp. *Water Research* 35 (5) : 1209-1218.



SCHRADER K.K., DAVIDSON J., SUMMERFELT S.T. (2019) - Evaluation of the impact of nitrate-nitrogen levels in recirculating aquaculture systems on concentrations of the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol in water and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacultural Engineering* 57 · November 2013 *with* 311 Reads

SCHRADER K.K. (2019) - Effects of relevant ammonium chloride concentrations on biomass and off-flavor compound production by *Streptomyces luridiscabiei* originating from a recirculating aquaculture system. *Journal of Applied Aquaculture* · April 2019 *with* 17 Reads

TUCKER C. S., 2000. Off-flavor problems in aquaculture. *Critical Reviews Fisheries Science* 8(1) :1-44

WILSON A, OBERLE C., OBERLE D. (2013) - Detection of Off-Flavor in Catfish Using a Conducting Polymer Electronic-Nose Technology. *Sensors (Basel)*. 2013 Dec; 13(12): 15968–15984.

