



SeeWandel

La vie dans le
lac de Constance : hier,
aujourd'hui et demain

SeeWandel fiche d'information n° 04 | Mai 2023



(Photo: © Andreas Hartl)



L'épinoche à trois épines du lac de Constance constitue-t-elle un problème à long terme pour les poissons et les pêcheurs?

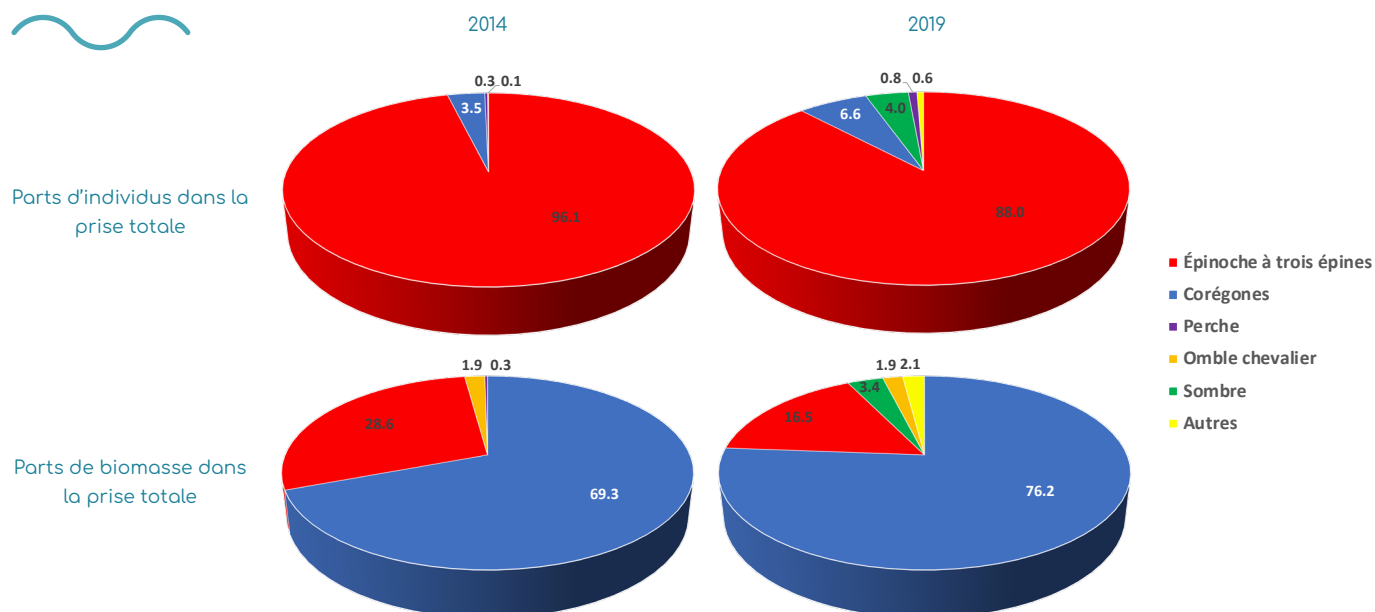
L'épinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*) a probablement été introduite dans l'hydrosystème du lac de Constance dès la fin du 19^e siècle et sa présence dans le lac a été confirmée pour la première fois en 1951. Cette espèce autrefois uniquement présente dans la zone littorale, colonise depuis 2012 la zone pélagique du lac. Elle est à présent le poisson dominant en nombre. Les conséquences écologiques et économiques font actuellement l'objet d'intenses débats. Les observations et les conclusions actuellement disponibles nécessitent des clarifications supplémentaires, afin notamment de comprendre l'ensemble des liens de causalités dans l'écosystème complexe qu'est le lac. La compétition présumée accrue pour se nourrir et la consommation d'œufs et de larves d'autres espèces de poissons dans une situation donnée sont débattues comme des causes possibles de la baisse de croissance, de reproduction et de densité des corégones, poissons importants pour la pêche (principalement le lavaret *Coregonus wartmanni* et le corégone *Coregonus macrophthalmus*).



L'épinoche à trois épines: autrefois uniquement en zone littorale, aujourd'hui espèce de poisson dominante en nombre dans la zone pélagique du lac de Constance

Les néobiotes¹, qui colonisent de nouveaux biotopes et causent des effets indésirables (écologiques, économiques, sanitaires) sont considérés comme des espèces envahissantes. Dans le monde entier, les espèces envahissantes sont l'un des principaux facteurs des modifications de la biodiversité [1]. Par leurs interactions telles que la concurrence pour les ressources (nourriture, biotope, etc.) ou la propagation d'agents pathogènes, de parasites et de prédateurs, elles peuvent menacer les espèces indigènes. Avec de potentielles répercussions négatives sur la biodiversité, par exemple la perte locale de diversité ou l'homogénéisation des communautés d'espèces. En outre, les espèces envahissantes agissent sur les propriétés et les processus des écosystèmes, et par conséquent sur leur utilisation par l'homme. L'épinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*) n'est pas répertoriée parmi les poissons indigènes du lac de Constance. Sa propagation soudaine et massive dans la zone pélagique du lac de Constance est un comportement plutôt rare chez cette espèce de poisson.

L'introduction par l'homme de l'épinoche à trois épines dans l'hydrosystème du lac de Constance date probablement de la fin du 19^e siècle [révisé par 2]. La présence de l'espèce dans le lac de Constance n'a été prouvée qu'en 1951/52 [3]. Après son introduction, la population s'est étendue et reproduite dans le lac, même si la densité a fluctué au cours des 50 dernières années. Au début, l'espèce vivait presque exclusivement dans la zone littorale du lac, où elle a été décrite pour la première fois comme anormalement fréquente dans les années 60-70 [3]. En 2013, des épinoches ont été capturées accidentellement dans des filets flottants dans la zone pélagique [4]. Dans le cadre d'une pêche scientifique effectuée en 2014, la prise en zone pélagique était constituée de 96% d'épinoches, la biomasse représentait 28% de la prise totale (ill. 1) [5]. Les fortes densités de population en zone pélagique se maintiennent jusqu'à ce jour, mais les causes ne sont toujours pas connues (ill. 1) [6, 7]. L'impact écologique et économique négatif de cette explosion de population en zone pélagique sur l'écosystème du lac de Constance et les utilisateurs des cours d'eau sont en cours d'analyse, les interactions complexes des causes à effets ne sont néanmoins pas encore tout à fait comprises.



ILL. 1: Part d'individus pêchés et part de biomasse (en pourcentage) dans la prise totale des espèces de poissons pêchés dans le cadre de pêches scientifiques dans la zone pélagique du lac de Constance supérieur en 2014 [5] et 2019 [6].

¹ En Europe, ce terme désigne les animaux (néozoaires) ou les plantes (néophytes), qui se sont établis sous influence humaine après 1492 (découverte de l'Amérique par C. Colomb) dans une région où ils n'étaient pas présents naturellement.



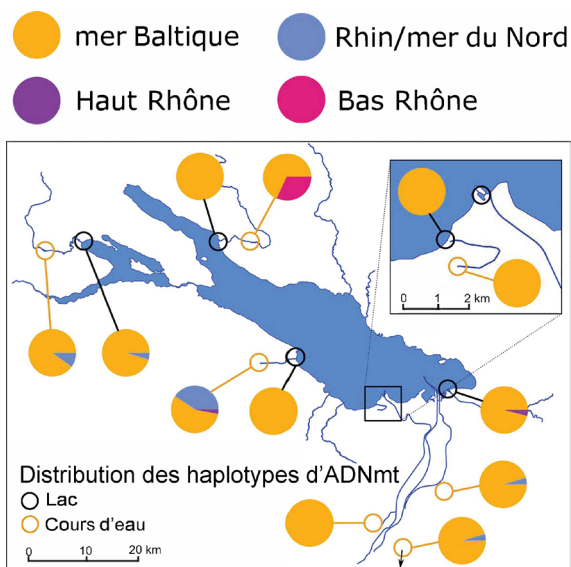
Où vivent les épinoches à trois épines et d'où viennent-elles?

L'épinoche à trois épines est courante dans les régions tempérées et boréales (septentrionales) de l'hémisphère nord ainsi qu'aux extrémités septentrionales de l'Atlantique et du Pacifique [8, 9]. Outre toutes sortes d'eaux calmes, elle habite également les zones calmes des eaux courantes. Les populations marines vivent dans de vastes zones côtières et dans les eaux saumâtres, elles migrent parfois en eau douce pour se reproduire. On suppose que l'espèce est originaire du Pacifique et a colonisé l'Atlantique par l'océan Arctique au Pléistocène supérieur² [10]. L'épinoche a probablement colonisé tôt le bassin méditerranéen en partant de l'Atlantique [11], puis l'Europe du Nord et occidentale après la dernière glaciation (qui s'est achevée environ 20 000 ans avant notre ère) [12]. Au cours de l'histoire de la Terre, les épinoches ont migré à plusieurs reprises de la mer vers l'eau douce et s'y sont installées. On trouve aujourd'hui l'espèce dans les petits et grands cours d'eau et eaux stagnantes d'Europe centrale, outre le lac de Constance, par exemple dans les lacs Léman et des Quatre-Cantons, le Rhône supérieur et le Danube [2 et les preuves qui y sont mentionnées].



Comment l'épinoche est-elle arrivée dans le lac de Constance?

L'histoire des épinoches dans le lac de Constance, le moment de leur arrivée, la source de la colonisation et du type de diversification des épinoches³ d'eau douce fait l'objet d'un débat scientifique permanent [révisé par 2]. Les rejets répétés d'épinoches dans l'hydrosystème du lac de Constance par des aquariophiles ou des pêcheurs dès la fin du 19^e siècle est le scénario actuellement considéré comme le plus plausible [2]. La première découverte attestée date de 1951 [3]. Des analyses génétiques prouvent que les épinoches présentes aujourd'hui dans le lac de Constance proviennent de différentes sources et représentent au moins trois lignées et introductions européennes différentes: une lignée du Rhin, une du Rhône et une de la région Baltique [13]. Les épinoches d'Europe orientale (lignée Baltique) dominent dans le lac principal, tandis que le patrimoine génétique des populations des ruisseaux et rivières environnants (affluents du lac de Constance) révèle une représentation plus variée des sources d'eau douce d'Europe occidentale (plusieurs lignées) (ill. 2) [2, 13].



ILL. 2: Composition génétique (répartition de l'haplotype d'ADN mitochondriale) des populations d'épinoches du lac de Constance en rapport avec les principales lignées européennes [13, modifié].

² Dans l'histoire de la Terre, le Pléistocène supérieur est l'étape la plus récente du Pléistocène. Il a commencé il y a 126 000 (+/- 50 000) ans et s'est achevé il y a 11 784 (+/- 69) ans avec un réchauffement global, l'Holocène, est toujours en cours.

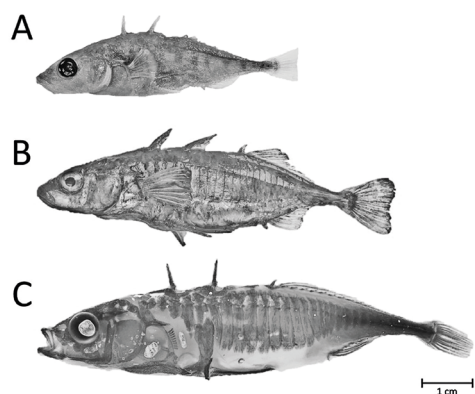
³ Le développement de différences dans l'évolution biologique de la formation des espèces.



Pourquoi les épinoches du lac de Constance sont-elles aussi particulières et performantes?

On distingue dans la région du lac de Constance plusieurs écotypes d'épinoches aux caractéristiques et adaptations variées. L'une vit exclusivement dans les ruisseaux/rivières environnants ou près du littoral, une autre vit dans la zone pélagique jusqu'à 50 m de profondeur [5-7]. Une majeure partie des jeunes poissons vivant dans le lac de Constance migre dans la zone pélagique dès juillet. Les poissons plus âgés migrent aussi dans la zone pélagique et seule une partie des épinoches reste près du littoral. En novembre/décembre, un grand nombre d'épinoches est présent en zone pélagique mais aussi près du littoral. Au printemps, les animaux retournent dans l'eau peu profonde du lac ou de ses affluents pour frayer [14]. La migration de frai de certaines populations de l'écotype lacustre vers l'amont dans les affluents est similaire à celle des épinoches marines anadromes⁴. Bien que ces épinoches fraient en même temps que les épinoches de rivière, elles se différencient génétiquement [15].

Les épinoches du lac de Constance mesurent en moyenne 6-7 cm de long. Certains spécimens atteignent jusqu'à 10 cm et font partie des plus grandes épinoches d'eau douce au monde [2]. Ceci pourrait être dû à une population d'origine marine ayant grandi rapidement et dont les individus adultes ont trouvé une source de nourriture abondante. Les épinoches du lac de Constance (également celles présentes près du littoral) se distinguent par une adaptation répétée du phénotype⁵ au mode de vie en zone pélagique (ill. 3). Celles-ci se caractérisent par des lames de branchies plus longues, une forme marquée de la tête et un système de défense bien développé (longues épines et corps presque entièrement recouvert de plaques) [2].



ILL. 3: (A) Exemple de la lignée d'Europe occidentale pêché en 1935 dans le Rhin à Bâle, (B) exemple entièrement recouvert de plaques, pêché en 1963 dans le lac de Constance près de Langenargen, (C) grosse femelle entièrement recouverte de plaque, de zone pélagique du lac de Constance, pêchée en 2014 dans le cadre du Projet Lac près de Meersburg [2, modifié].

L'épinoche à trois épines - caractéristiques générales

- Le phénotype de l'épinoche à trois épines est très variable [8]
- Contrairement à toutes les autres espèces endémiques d'eau douce, la première nageoire dorsale est remplacée par trois, plus rarement deux ou quatre, épines mobiles.
- À la place d'écailles, elle possède un nombre variable de plaques osseuses qui recouvrent ses flans, de deux à plus de 30
- La taille en eau douce est de 3 à 8 cm [9, 16]
- La longévité moyenne est de 2 à 4 ans [17]
- Reproduction entre mars et juillet
- En période de frai, les mâles revêtent leur couleur nuptiale, deviennent territoriaux et construisent un nid
- Les femelles prêtes à pondre sont courtisées par une danse nuptiale
- Après les activités d'accouplement, le mâle surveille, défend, nettoie en permanence le nid et évente les œufs avec de l'eau fraîche.
- Les mâles s'occupent des jeunes éclos pendant une semaine et vont chercher ceux qui s'éloignent trop du nid [9]

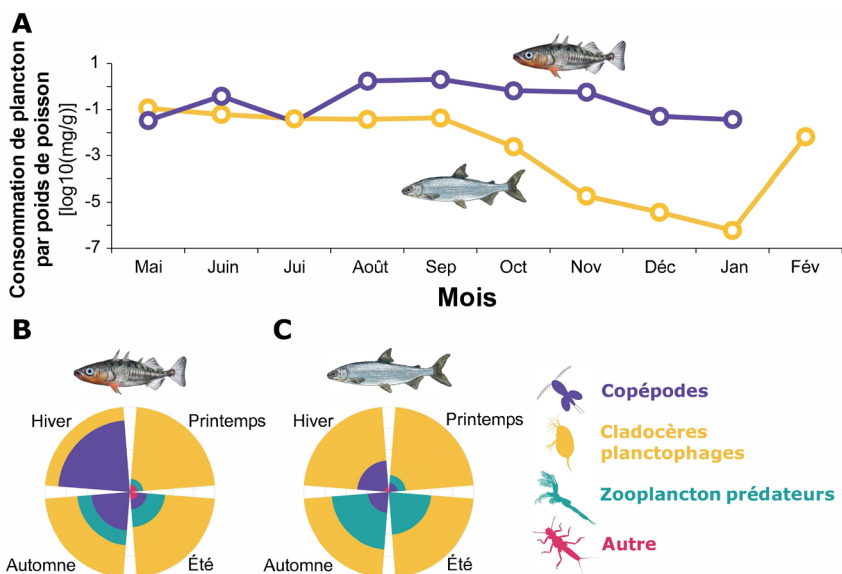
Dans la zone pélagique, les épinoches du lac de Constance se nourrissent de zooplancton⁶, comme les corégones importants pour la pêche (lavaret et corégone *macrophtalmus*) [2, 18]. Parmi les épinoches pêchées en zone pélagique, très peu contenaient dans leur estomac des proies typiques de la zone du littoral ou de la zone de fond (comme des larves de chironomides ou des amphipodes) [18]. L'avancée plus prononcée de la mâchoire permet probablement aux épinoches du lac de Constance - par rapport aux autres épinoches lacustres (p. ex. du lac Léman) - d'attraper

⁴ Les poissons anadromes migrent de la mer dans l'eau douce où ils fraient.

⁵ Le phénotype décrit l'apparence (p. ex. caractéristiques morphologiques, physiologiques, processus biochimiques, comportement) provoquée par la constitution génétique d'un organisme ainsi que les facteurs (environnementaux) endogènes et exogènes.

⁶ Microorganismes animaux flottant dans la colonne d'eau (p. ex. petits crustacés ou larves de nombreux animaux aquatiques).

plus efficacement les espèces de zooplancton, sachant que le choix des proies varie selon les saisons et qu'il existe des différences au sein du lac [2, 18]. Les analyses du contenu de l'estomac de corégones et d'épinoches du lac de Constance montrent que ces deux espèces de poissons privilégient des proies similaires, surtout en été et en particulier les grandes espèces de zooplancton, comme *Bythotrephes longimanus*, *Leptodora kindtii* et *Daphnia longispina* (ill. 4) [18]. Les petites espèces de zooplancton comme *Bosmina* sont consommées lorsqu'elles sont présentes en plus grand nombre en fonction de la saison et que les espèces de proies privilégiées sont rares [18]. Comparées aux corégones, les épinoches consomment plus de nourriture par poids corporel [18]. De plus, des expériences en aquarium montrent que les jeunes épinoches mangent les sept espèces de zooplancton les plus fréquentes dans le lac de Constance, avec autant ou plus de succès que les corégones de même taille [19].



Lorsque l'occasion se présente, les œufs issues du frai et les alevins font partie des proies des épinoches, p. ex. lorsque les corégones fraient à proximité des bancs d'épinoches ou que ces dernières rencontrent une grande quantité de larves de corégones pendant le repeuplement [20].

ILL. 4: (A) Consommation saisonnière de zooplancton par gramme de poids chez les épinoches (violet) et les corégones (jaune), et contribution saisonnière des espèces de crustacés du zooplancton à la nourriture des (B) épinoches (C) et des corégones. Les cladocères planctophages comprennent les diverses espèces de *Daphnia* et *Bosmina*, les espèces prédatrices de zooplancton *Leptodora* et *Bythotrephes* [données de 18, simplifié; plus de détails dans 18].



Conséquences d'une présence massive pour l'écosystème

Une concurrence alimentaire accrue:

Comme les corégones, les épinoches du lac de Constance se nourrissent principalement du gros zooplancton en zone pélagique, ce qui peut créer une concurrence alimentaire entre les espèces de poissons lorsque les ressources sont limitées [18]. Les épinoches se nourrissent autant au crépuscule que pendant la nuit [21, 22]. Cela peut leur apporter un avantage concurrentiel par rapport aux autres espèces de poissons, comme les jeunes perches [22]. De plus, les épinoches se nourrissent toute l'année, tandis que les gros corégones réduisent leur nourriture et puisent dans leurs réserves en hiver pendant la période de frai [18]. Ces facteurs pourraient contribuer à une dominance en nombre de l'épinoche dans la zone pélagique du lac de Constance [22].

Recul de la densité des populations de poissons:

La concurrence alimentaire probablement accrue par

l'invasion d'épinoches en zone pélagique est discutée pour expliquer le recul continu de la croissance et la diminution des densités de populations chez les corégones [4, 23]. On ne sait pas encore précisément dans quelle mesure la consommation des œufs issues du frai et d'alevins de corégones par les épinoches, observée sur le terrain et en laboratoire, a des répercussions [4, 20] sur la reproduction des corégones dans le lac de Constance. Des études supplémentaires sont nécessaires pour pouvoir prouver de manière plus claire les liens de cause à effet.

Modifications du réseau trophique:

Les adaptations du phénotype à la vie en zone pélagique permettent probablement aux épinoches du lac de Constance une utilisation plus efficace des ressources en zooplancton disponibles. En hiver, lorsque la densité de zooplancton dans le lac de Constance est plus faible,

les épinoches continuent à en consommer de grandes quantités [18]. La propagation massive de l'épinoche dans la zone pélagique est associée à une diminution de la taille moyenne du zooplancton et à une augmentation d'espèces de zooplancton plus petites et moins appréciées comme proies [24]. Ce basculement vers des espèces de zooplancton plus petites apparaît principalement au cœur de l'été. C'est ainsi que depuis 2016, la communauté des puces d'eau est dominée par la petite espèce *Daphnia cucullata*, immigrée et normalement présente dans les lacs riches en nutriments [24, 25]. Contrairement à l'espèce de puce d'eau dominante jusqu'alors, *D. longispina*, celle-ci est bien moins consommée par les corégones [18, 19]. Par ailleurs, la croissance de la population de zooplancton au printemps est décalée et le pic d'abondance est atteint plus tard dans l'année [24]. Il est donc possible que les épinoches aient aussi un impact sur la disponibilité de nourriture pour les autres poissons.

Interactions avec d'autres espèces exotiques:

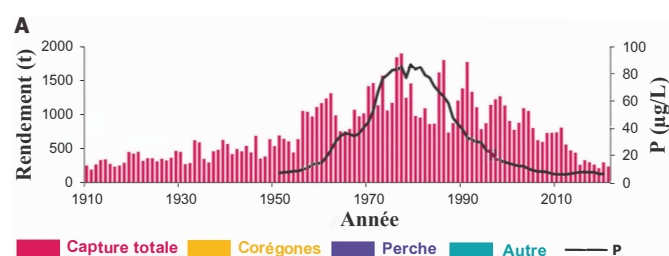
Avec la moule quagga (*Dreissena rostriformis*) détectée depuis 2016, une autre espèce exotique envahit l'ensemble du lac de Constance. Des résultats confirmés sur les conséquences écologiques pour le lac de Constance ne sont pas encore disponibles. Des observations récentes prouvent que les épinoches font aussi leur nid dans les interstices au sein des colonies de moules quagga ou à leur jonction avec le sol mou [26]. On craint qu'une forte densité de population, associée à l'activité de filtration des moules, modifient notamment l'abondance et la composition du phyto⁷ et du zooplancton ainsi que des microorganismes au fond du lac de Constance. Ainsi, une autre espèce envahissante pourrait donc avoir un impact sur la disponibilité de nourriture pour d'autres espèces, avec des effets potentiellement négatifs sur les populations de poissons et la capacité de rendement du lac [27].



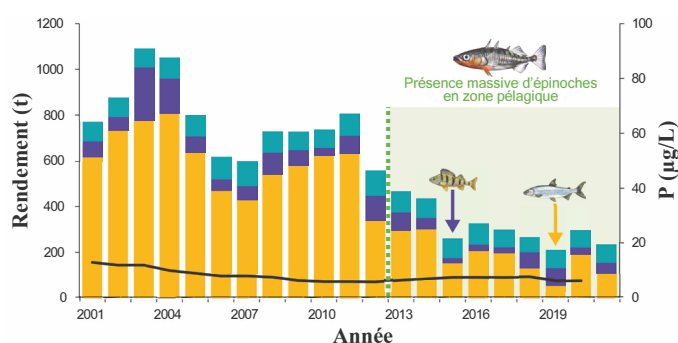
Conséquences d'une présence massive pour l'utilisation d'un lac

Baisse du rendement de la pêche:

Depuis 2005, la teneur en phosphore du lac de Constance ($\text{PO}_4\text{-P}$) se situe sous $10 \mu\text{g/L}$. Sur la base du rendement de la pêche lors de la dernière phase oligotrophe avant l'eutrophisation (1910-1955), on estimait en 2015 la capacité de rendement de la partie supérieure du lac de Constance à 400 t de poisson/an (env. 300 t de corégones, 100 t d'espèces de poissons secondaires tels que la perche, le brochet, l'anguille) [28]. Le rendement de ces dernières années est cependant très inférieur (ill. 5) et s'est une nouvelle fois effondré en 2022. Outre les effets du changement climatique, la propagation massive de l'épinoche dans la zone pélagique est envisagée comme une cause possible du recul des densités des espèces de poissons importantes pour la pêche telles que les corégones, et la baisse du rendement de la pêche qui y est associée [4, 23]. Concernant les corégones, le rendement moyen de la pêche de 2013 à 2021 est de 189 t, soit environ 35% en dessous de la valeur attendue [29]. En outre, les corégones de 4 ans avec un poids moyen d'à peine 270 g sont beaucoup plus petits qu'avant l'invasion d'épinoches (340 g). Des modélisations confirment la



ILL. 5: Rendement de la pêche et teneur générale en phosphore du lac de Constance pour la période (A) 1910-2021 (pêche totale) et (B) 2001-2021 (rendement ventilé pour le corégon, la perche et autres espèces de poissons) [source des données: IBKF - Internationale Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodenseefischerei].



Le rendement en perches le plus bas depuis les années 1950
Le rendement des corégones le plus bas depuis le début des statistiques

⁷ Microorganismes végétaux flottant en zone pélagique (p. ex. diatomées, algues vertes, etc.).

perte de poids des corégones depuis l'expansion des épinoches en zone pélagique [30]. Celle-ci apparaît désormais pendant l'été. Selon le modèle, les corégones plus âgés stoppent leur croissance et les jeunes perdent l'année suivante jusqu'à 10% de leur poids corporel pendant la période normale de croissance [30]. Par ailleurs, les études de croissance des épinoches indiquent qu'elles sont plus performantes que la plupart de leurs prédateurs lorsque la température augmente dans une plage de températures plus large [31]. Dans le cadre du réchauffement climatique, et en raison de la concurrence alimentaire accrue, on prévoit des pertes de croissance supplémentaires chez les corégones [30]. La prédation accrue pourrait continuer à modifier la disponibilité de nourriture (zooplancton) et, associée aux pertes de croissance prévues, continuer de faire reculer les rendements de la pêche déjà faibles [30].



Gestion et mesures

La baisse du rendement de la pêche fait également reculer le nombre de pêcheurs professionnels travaillant au lac de Constance [29]. Avec les approches de gestion de la pêche appliquées actuellement, cette évolution ne peut pas être stoppée [29].

Recensement des populations d'épinoches:

Pour les grands lacs comme le lac de Constance, il est possible de procéder à une évaluation régulière des populations d'épinoches avec des méthodes hydroacoustiques [7], moins contraignantes par rapport à d'autres méthodes. En 2021, a été mis au point un procédé qui permet de différencier avec une très forte probabilité, les épinoches et les corégones au moyen d'écholocalisation [32]. Cela était considéré jusqu'à présent comme pratiquement impossible. Il a en outre été prouvé par le chalutage que les petits poissons détectés par écholocalisation étaient effectivement des épinoches [14]. Lors de cette étude, les plus fortes densités, soit jusqu'à 20 000 épinoches/ha en zone pélagique, ont été observées en septembre [14].

Approches d'endiguement par la pêche:

L'effort d'endiguement de la population d'épinoches dans le lac de Constance par la pêche a été théoriquement évalué [14]. Au prix d'un très gros effort, et en respectant certaines prescriptions (méthode, profondeur d'intervention des outils de pêche et temps d'intervention), il serait probablement possible de procéder à une pêche intensive d'épinoches sans prises accessoires significatives. Néanmoins, nous ne savons pas exactement à quel point les populations doivent être décimées dans le lac de Constance pour obtenir un effet positif sur les rendements de la pêche, en particulier des corégones. L'efficacité à long terme d'une mesure de ce type est également incertaine. Par ailleurs, l'évaluation des risques potentiels pour l'ensemble de l'écosystème lors de sa mise en œuvre pratique n'a pas fait l'objet de cette étude.

Les épinoches du lac de Constance ont réussi à pénétrer en grand nombre dans un biotope dans lequel, en règle générale, elles ne vivent pas dans d'autres cours d'eau. Leur propagation fulgurante en zone pélagique s'est produite en 2012. Les modifications des réseaux trophiques et des populations de poissons importants pour la pêche sont reliées à l'invasion d'épinoches. Toutes les données et conclusions dont nous disposons indiquent qu'aucun effondrement naturel de la population ne se profile et que l'épinoche s'établit durablement dans la zone pélagique. C'est la conjonction de plusieurs changements, dont le changement climatique, les espèces envahissantes et les modifications des nutriments, qui impacte le réseau trophique et les fonctions de l'écosystème du lac de Constance ainsi que les services écosystémiques tels que le rendement de la pêche. Il est essentiel de comprendre ces interactions et les liens de cause à effet pour gérer le lac de Constance de façon durable. La pénurie accrue de nourriture due à l'introduction récente de la moule quagga et à une prédation accrue par les cormorans constatée au lac de Constance font craindre une baisse supplémentaire du rendement.



Bibliographie

- [1] Pyšek P, Hulme PE, Simberloff D, Bacher S, Blackburn TM, Carlton JT, Dawson W, Essl F, Foxcroft LC, Genovesi P, Jeschke JM (2020) Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews* 95(6):1511-34
- [2] Hudson CM, Lucek K, Marques DA, Alexander TJ, Moosmann M, Spaak P, Seehausen O, Matthews B (2021) Threespine stickleback in Lake Constance: the ecology and genomic substrate of a recent invasion. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8:611672
- [3] Muckle R (1972) Der Dreistachelige Stichling (*Gasterosteus aculeatus* L.) im Bodensee. *Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung* 90:249-257
- [4] Rösch R, Baer J, Brinker A (2018) Impact of the invasive three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) on relative abundance and growth of native pelagic whitefish (*Coregonus wartmanni*) in Upper Lake Constance. *Hydrobiologia* 824:243-254
- [5] Alexander TJ, Vonlanthen P, Périat G, Raymond JC, Degiorgi F, Seehausen O (2016) Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Bodensee. *Projet Lac, Eawag, Kastanienbaum*
- [6] Bader S, Vonlanthen P, Scholz B, Brinker A (2021) SeeWandel Projekt L12 - Entwicklung und Anwendung einer Methode zur Erfassung der Fischbestände im Bodensee – Bericht für die IBKF. SeeWandel, LAZBW, Langenargen
- [7] Eckmann R, Engesser B (2019) Reconstructing the build-up of a pelagic stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) population using hydroacoustics. *Fisheries Research* 210:189-192
- [8] Wootton RJ (1984) A Functional Biology of Sticklebacks. *Functional Biology Series*. Springer US
- [9] Bell MA, Foster SA (1994) The Evolutionary Biology of the Threespine Stickleback. Oxford University Press
- [10] Fang B, Merilä J, Ribeiro F, Alexandre CM, Momigliano P (2018) Worldwide phylogeny of three-spined sticklebacks. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 127:613-625
- [11] Sanz N, Araguas RM, Vidal O, Viñas J (2015) Glacial refuges for three-spined stickleback in the Iberian Peninsula: mitochondrial DNA phylogeography. *Freshwater Biology* 60(9):1794-1809
- [12] Mäkinen HS, Cano JM, Merilä J (2006) Genetic relationships among marine and freshwater populations of the European three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) revealed by microsatellites. *Molecular Ecology* 15(6):1519-1534
- [13] Marques DA, Lucek K, Sousa VC, Excoffier L, Seehausen O (2019) Admixture between old lineages facilitated contemporary ecological speciation in Lake Constance stickleback. *Nature Communications* 10(1):4240
- [14] Gugele SM, Baer J, Brinker A (2020) The spatiotemporal dynamics of invasive three-spined sticklebacks in a large, deep lake and possible options for stock reduction. *Fisheries Research* 232: 105746
- [15] Marques DA, Lucek K, Meier JI, Mwaiko S, Wagner CE, Excoffier L, Seehausen O (2016) Genomics of rapid incipient speciation in sympatric threespine stickleback. *PLoS Genetics* 12(2): e1005887
- [16] Wootton RJ (1976) The Biology of the Sticklebacks. Academic Press
- [17] Baker JA (1994) Life History Variation in Female Threespine Stickleback. *The Evolutionary Biology of the Threespine Stickleback*. Available online at: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10015006230/> (accessed December 9, 2019)
- [18] Ogorelec Ž, Brinker A, Straile D (2022) Small but voracious: invasive generalist consumes more zooplankton in winter than native planktivore. *NeoBiota* 78:71-97
- [19] Ogorelec Ž, Rudstam LG, Straile D (2022) Can young-of-the-year invasive fish keep up with young-of-the-year native fish? A comparison of feeding rates between invasive stickleback and whitefish. *Ecology and Evolution* 12, e8486
- [20] Roch S, von Ammon L, Geist J, Brinker A (2018) Foraging habits of invasive three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) – impacts on fisheries yield in Upper Lake Constance. *Fisheries Research* 204:172-180
- [21] Baer J, Gugele SM, Bretzel J, DeWeber JT, Brinker A (2021) All day-long: Sticklebacks effectively forage on whitefish eggs during all light conditions. *PLoS ONE* 16(8): e0255497
- [22] Bretzel JB, Geist J, Gugele SM, Baer J, Brinker A (2021) Feeding ecology of invasive three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) in relation to native juvenile Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) in the pelagic zone of Upper Lake Constance. *Frontiers in Environmental Science* 9: 670125
- [23] Kugler M (2021) Felchenfischerei, Monitoring der Blaufelchen sowie Felchen-Laichfischfang im Jahr 2020
- [24] Ogorelec Ž (2021) Effects of re-oligotrophication and invasive species on fish-zooplankton interactions [Dissertation]. Konstanz: University of Konstanz
- [25] IGKB (2020) Bericht Nr. 43: Limnologischer Zustand des Bodensees
- [26] HYDRA Konstanz (2022) Beobachtungen zum Nestbau von Bodensee-Stichlingen (*Gasterosteus aculeatus*) in *Dreissena*-Kolonien (*Dreissena rostriformis* und *D. polymorpha*)
- [27] SeeWandel Faktenblatt No. 2 | Dezember 2021. Die gebietsfremde Quaggamuschel erorbert den Bodensee – drohen massive Folgen für das Ökosystem?
- [28] Baer J, Eckmann R, Rösch R, Arlinghaus R, Brinker A (2017) Managing Upper Lake Constance fishery in a multi-sector policy landscape: beneficiary and victim of a century of anthropogenic trophic change. In: Song AM, Bower SD, Onyango P, Cooke SJ, Chuenpagdee R (Eds) Too Big To Ignore-WorldFish, Inter-Sectoral Governance of Inland Fisheries, St. John's Canada: TBTI Publication Series, E-01/2017, 32-45
- [29] Baer J, Brinker A (2022) Wieviel weniger darf's denn sein? Düstere Zukunftsaussichten für die Bodenseefischerei, eine der größten Binnenfischereien Europas. *Zeitschrift für Fischerei* 2: Artikel 1:1-13
- [30] DeWeber JT, Baer J, Rösch R, Brinker A (2022) Turning summer into winter: nutrient dynamics, temperature, density dependence and invasive species drive bioenergetic processes and growth of a keystone coldwater fish. *Oikos* 2022: e09316
- [31] Lefébure R, Larsson S, Byström P (2011) A temperature-dependent growth model for the three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus*. *Journal of Fish Biology* 79(7):1815-1827
- [32] Gugele SM, Widmer M, Baer J, DeWeber JT, Balk H, Brinker A (2021) Differentiation of two swim bladdered fish species using next generation wideband hydroacoustics. *Scientific Reports* 11, 10520



Mention légale

Des études sont menées sur l'épinoche à trois épines dans le cadre de plusieurs projets de recherche SeeWandel. Le projet «P1: L'épinoche dans la partie supérieure du lac de Constance» étudie principalement l'autécologie de l'épinoche dans le lac de Constance, tandis que le projet «L13: Écologie et diversité des épinoches dans le lac de Constance» met en lumière les processus écologiques et évolutifs qui expliquent la fréquence, la répartition et le phénotype de l'épinoche dans le lac de Constance. Les préférences alimentaires des épinoches et des corégones et leur impact sur les communautés de zooplancton sont étudiés dans le projet «P3: Effets de la ré-oligothrophisation, du changement climatique et des espèces envahissantes sur les interactions poissons-zooplancton et la dynamique des populations de corégones». Les premières conclusions tirées de ces projets de recherche constituent la base de la fiche d'information SeeWandel #4: «L'épinoche à trois épines du lac de Constance constitue-t-elle un problème à long terme pour les poissons et les pêcheurs?». De plus amples informations sont disponibles sur: www.seewandel.org.

«SeeWandel: La vie dans le lac de Constance – hier, aujourd'hui et demain» étudie l'influence de la diminution des nutriments, du changement climatique, des espèces exotiques sur l'écosystème du lac de Constance, sa biodiversité et son fonctionnement, ainsi que l'utilisation humaine du lac.

Éditeur

SeeWandel
PD Dr. Piet Spaak
Überlandstrasse 133 | CH-8600 Dübendorf
E-mail seewandel@seewandel.org

Renseignement et contact

Eawag, écologie aquatique
PD Dr. Piet Spaak
Überlandstrasse 133 | CH-8600 Dübendorf
E-mail piet.spaak@eawag.ch

Autrices et auteurs

- Josephine Alexander, écologie aquatique, Eawag
- Alexander Brinker, Fischereiforschungsstelle (FFS)
- Žiga Ogorelec, National Institute of Biology (NBI)
- Piet Spaak, écologie aquatique, Eawag
- Dietmar Straile, Université de Constance

Dans les fiches d'information SeeWandel les estimations représentées sont celles des autrices et auteurs et de l'éditeur.

Avec le soutien de

- Sarah Gugele, Landesfischereizentrum Vorarlberg
- Cameron Hudson, écologie aquatique, Eawag
- Blake Matthews, écologie & évolution des poissons, Eawag
- Ole Seehausen, écologie & évolution des poissons, Eawag
- Bänz Lundsgaard-Hansen, OFEV
- Nikolaus Schotzko, Landesfischereizentrum Vorarlberg
- Dominik Thiel, Amt für Natur, Jagd und Fischerei St.Gallen

Cette fiche d'information est une traduction de la fiche d'information SeeWandel #4 «Ist der Dreistachlige Stichling im Bodensee ein langfristiges Problem für Fische und Fischer?» (version originale allemande), qui a été publiée en mai 2023. La traduction a été financée par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Nous vous remercions de votre soutien.



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

