

Quand le Rhône change, le Spiralin s'adapte : variations saisonnières des performances métaboliques et natatoires de cette espèce de poisson peu étudiée

When the Rhône changes, the Spiralin adapts: seasonal variations in metabolic and swimming performance of this little-known fish species

Noms des auteurs

Julia Watson¹, Chloé Souques¹, Anne Morales¹, Océane Zoppi¹, Maé Fabra¹, Damien Roussel¹, Angeline Clair Boisson^{1,2}, Laëtitia Averty², Candice Bastianini^{1,2}, Hervé Capra³, Camille Lebrun¹, Guillaume Le Goff³, Anthony Maire⁵, Martin Daufresne⁴, Loïc Teulier¹

¹Université Claude Bernard Lyon 1 – CNRS, ENTPE, UMR 5023, LEHNA, F-69622, Villeurbanne, France

²Plateforme Animalerie Conventiionnelle et Sauvage Expérimentale de la Doua (ACSED), Fédération de Recherche 3728, Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, ENS-Lyon, INRAE, INSA, VetAgroSup, F-69622, Villeurbanne, France

³INRAE, RiverLy, Villeurbanne, France

⁴INRAE, Aix Marseille Univ., RECOVER, Aix-en-Provence, France

⁵R&D EDF, Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement, Chatou, France

julia.watson@univ-lyon1.fr; chloe.souques@univ-lyon1.fr; anne.morales@univ-lyon1.fr;
oceane.zoppi@univ-lyon1.fr; mae.fabra@gmail.com; damien.roussel@univ-lyon1.fr;
angeline.clair@univ-lyon1.fr; laetitia.avery@univ-lyon1.fr; candice.bastianini@univ-lyon1.fr;
herve.capra@inrae.fr; camille.lebrun@univ-lyon1.fr; guillaume.legoff@inrae.fr; anthony.maire@edf.fr;
martin.daufresne@inrae.fr; loic.teulier@univ-lyon1.fr

RÉSUMÉ

(calibri 10pt) 10 à 15 lignes maximum

Les ectothermes, dont la température corporelle dépend de leur environnement, sont particulièrement sensibles au changement climatique. La température est un facteur abiotique qui varie fortement dans l'espace et dans le temps et affecte divers paramètres physiologiques des ectothermes, notamment leur métabolisme. Notre but était de voir l'influence de la fluctuation saisonnière des températures sur le métabolisme et la performance de nage du spiralin *Alburnoides bipunctatus*, un poisson connu comme un sténotherme froid mais que l'on retrouve en nombre dans des conditions échauffées en aval de centrales nucléaires. Les fluctuations saisonnières engendrent des changements dans les conditions hydro-climatiques, qui sont de plus en plus variables et chaudes en lien avec le dérèglement climatique, et cela questionne sur la capacité des ectothermes à endurer ces changements et à s'adapter. Dans cette étude, nous avons pêché des spiralins en aval de la centrale nucléaire du Bugey sur le Rhône en février et en mai 2024, avant de les stabuler pendant un mois à leur température de pêche. Nous avons ensuite fait (i) des mesures de taux métabolique via le proxy de la consommation d'oxygène et (ii) une évaluation de la performance de nage dans un tunnel de nage à leur

température d'acclimatation. Nos résultats montrent que le taux métabolique standard, le taux métabolique maximal et la performance de nage sont plus élevés chez les individus du printemps par rapport à ceux de l'hiver. Ces résultats témoignent d'une accélération des processus métaboliques dû à un effet thermodynamique de la température, ce qui leur octroie plus d'énergie disponible pour la croissance et la production de gamètes.

ABSTRACT

(calibri 10pt) Traduction de votre résumé en anglais, 10 à 15 lignes maximum

Ectotherms are organisms whose body temperature depends directly on environmental temperature, which makes them vulnerable to climate change. Temperature is an abiotic factor that is variable in space and time, and affects different physiological parameters in ectotherms, including their metabolism. Our aim was to study the effect of seasonal temperature fluctuations on the metabolism and swim performance of the spiralin, *Alburnoides bipunctatus*, which is known as a cold stenotherm but is found downstream of nuclear power plants in warmed conditions. Seasonal fluctuations lead to changes in hydro-climatic conditions, and with rising temperatures, questions arise regarding the ability of ectotherms to adapt to these variations. To investigate this, we fished spiralins downstream the Bugey nuclear power plant on the Rhône River, in February and in May before acclimatizing them to the temperature at which they were caught. We then measured (i) metabolic rate via using oxygen consumption as a proxy and (ii) swim performance in a swim tunnel at the acclimation temperature. Our results show that standard metabolic rate, maximum metabolic rate, and swim performance are enhanced in spring individuals compared to winter ones. These findings show an acceleration in metabolic processes due to a thermodynamic effect of temperature, resulting in increased energy availability for growth and reproduction.

MOTS CLÉS

(5 mots-clés, par ordre alphabétique, séparés par une virgule)

1 ligne pour les mots clés en français

1 ligne pour les mots clés en anglais

Consommation d'oxygène, ectothermes, poisson, température, dérèglement climatique

Oxygen consumption, ectotherms, fish, temperature, climate change

Les poissons sont très fortement impactés par l'augmentation globale des températures car, étant des ectothermes, leur température corporelle dépend directement de celle de leur milieu (Jutfelt et al., 2024; Pörtner & Farrell, 2008), ce qui affecte directement leur métabolisme énergétique. Cette production d'énergie à partir de l'oxydation de la nourriture ingérée peut être allouée à la croissance, à la reproduction ou à la survie. Elle est classiquement évaluée en considérant deux indicateurs : (i) le taux métabolique standard (Standard Metabolic Rate ; SMR) qui correspond à l'énergie minimale dont un animal a besoin pour survivre et qui augmente de manière exponentielle avec la température (Fig. 1), et (ii) Le taux métabolique maximal (Maximum Metabolic Rate ; MMR) qui correspond à l'énergie maximale qu'un animal peut consommer et qui augmente avec la température jusqu'à atteindre un plateau pour les températures les plus élevées (Fig. 1). La différence entre le MMR et le SMR caractérise le registre aérobie (Aerobic Scope ; AS) qui correspond à la quantité d'énergie disponible pour alimenter les différents postes de dépense, tels que la locomotion, la croissance ou la reproduction.

Assez classiquement, ce registre aérobie dépend fortement des conditions thermiques expérimentales auxquelles les individus sont acclimatés (Fry, 1971), avec une diminution drastique de l'AS pour des températures élevées. Ainsi, dans un contexte de changement climatique global, les variations saisonnières naturelles de plus en plus marquées pourraient potentiellement être à l'origine de modifications importantes de l'AS, impactant *in fine* l'écologie des poissons (Huey & Kingsolver, 2019; Kontopoulos et al., 2024).

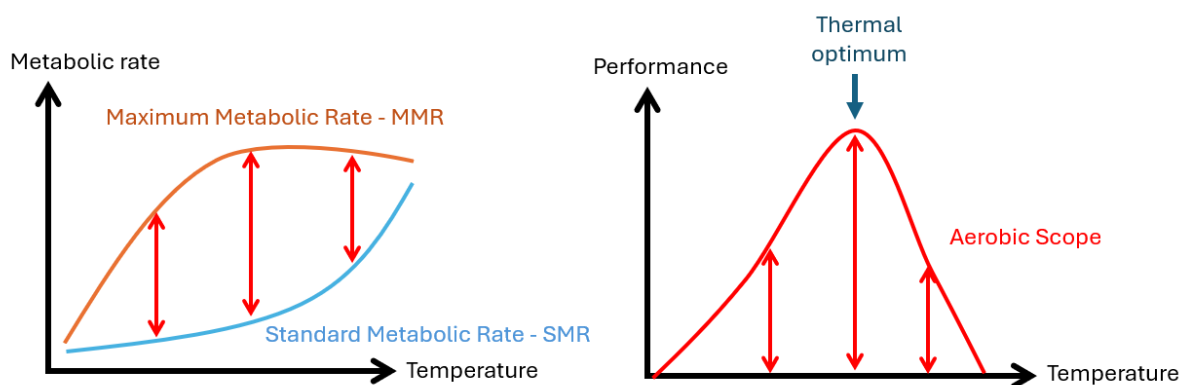


Figure 1 : Représentation schématique des taux métabolique standard (SMR) et maximal (MMR) et de l'aerobic scope (AS) en fonction de la température

Le but de notre étude était de caractériser les performances *in vivo* d'une espèce de poisson à différents moments de l'année, pour évaluer l'évolution du registre aérobie en fonction des saisons. En effet, en fonction des saisons, on peut s'attendre à un effet des variations naturelles sur les paramètres métaboliques des poissons, notamment via une augmentation de l'AS avec l'augmentation des températures si ces dernières se rapprochent de l'optimum thermique des poissons. En d'autres termes, nous avons supposé que les poissons pêchés au printemps présenteraient des SMR et MMR plus élevés que ceux pêchés en hiver, conduisant à un AS plus large et donc à une meilleure performance de nage.

Pour cette étude, nous avons choisi le spiralin (*Alburnoides bipunctatus*). Malgré une littérature peu abondante sur les préférences thermiques de cette espèce, il est considéré comme une espèce à affinité pour les eaux fraîches (sténotherme froid) (Tissot & Souchon, 2010). Pourtant, on la retrouve en grand nombre au niveau d'un tronçon du Rhône chroniquement échauffé par les rejets thermiques du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) du Bugey, ce qui s'apparente à un habitat avec des caractéristiques thermiques qui semblent peu propices à cette espèce. Ce constat questionne finalement sur ses préférences et tolérances thermiques et sa capacité à habiter cette zone et à s'adapter aux conditions locales échauffées.

Dans cette étude, des individus ont été prélevés en milieu naturel (Loyettes, tronçon du Rhône à l'aval du CNPE du Bugey) par pêche électrique en hiver (février 2024) et au printemps (mai 2024). Les poissons ont été

ensuite transportés au laboratoire puis acclimatés à la température du Rhône lors de leur pêche (10°C pour les poissons de février, et 19°C pour les poissons de mai) pendant un mois au minimum. Idéalement, nous aurions aimé pouvoir comparer des individus pêchés à l'aval avec des individus pêchés à l'amont dans des conditions non-échauffées. Cependant, nous avons rencontré trop de difficultés à en échantillonner en nombre suffisant en amont aux deux saisons (avec notamment une absence d'individus en mai) pour pouvoir réaliser une étude comparative robuste. Dans cette étude, nous nous sommes donc seulement intéressés aux individus échantillonnés en aval, en nous focalisant sur l'adaptation de leurs performances *in vivo* (consommation d'oxygène et performance de nage) en fonction de la saison, afin d'essayer de mieux comprendre les capacités d'adaptation d'une espèce généralement associée aux eaux fraîches dans un contexte de dérèglement climatique.

Pour chaque saison, la consommation d'oxygène de chaque individu a été mesurée comme un proxy du métabolisme *in vivo* (MO_2) à la température d'acclimatation. Le MO_2 a été mesuré au repos pendant 12h pour obtenir le SMR. Il a ensuite été mesuré en augmentant de façon progressive la vitesse du courant dans le tunnel de nage (Fig. 3), ce qui force le poisson à nager jusqu'à sa vitesse de nage critique pour laquelle il arrête de nager. Cette vitesse critique de nage, U_{crit} , peut être calculée grâce à la formule suivante : $U_{crit} = V_f + ((T_f / T_i) \times V_i)$ avec V_f : la vitesse la plus élevée à laquelle le dernier palier complet a été réalisé (longueurs de corps / seconde), V_i : l'incrément de vitesse entre les paliers (0,5 longueurs de corps / seconde), T_f : temps passé à nager pendant le dernier palier qui a provoqué l'épuisement (minutes) et T_i : le temps d'un palier entier (30 minutes). Par la même occasion, on obtient également le taux métabolique maximal (MMR), nécessaire pour estimer l'AS (Teulier et al., 2013; Thorat et al., 2024).

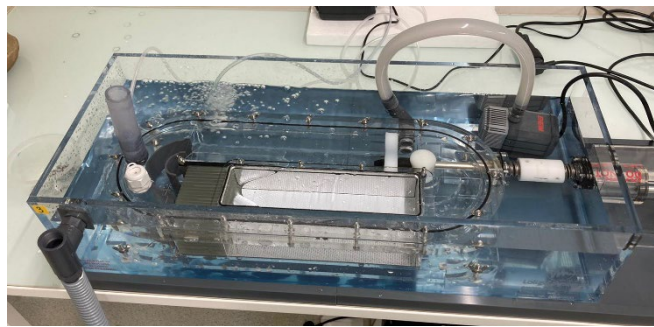


Figure 3 : Photographie du tunnel de nage

Tout d'abord, nos résultats ont montré que les poissons d'hiver étaient significativement plus grands que ceux du printemps mais avec une condition corporelle identique. Cela suggère que les poissons d'hiver étaient en moyenne à un stade de développement plus avancé (les groupes d'individus mélangeant possiblement plusieurs classes d'âge), mais nous n'avons pas pu caractériser plus précisément le stade de développement des individus. Ensuite, le SMR des poissons du printemps était significativement plus élevé que celui des poissons de l'hiver. Cependant, malgré une tendance à être également plus élevés, il n'y avait aucun effet significatif de la saison sur le MMR et l'AS. Enfin, les poissons du printemps avaient une U_{crit} significativement plus grande que les poissons d'hiver, démontrant ainsi des performances de nage supérieures. Le coût du transport (quantité d'oxygène nécessaire pour se déplacer sur une distance donnée, Schmidt-Nielsen, 1972), avait tendance à être plus haut chez les poissons du printemps, ce qui peut s'expliquer par le fait que ces poissons tendaient à avoir une consommation d'oxygène (SMR et MMR) plus importante.

Ces résultats confirment nos hypothèses ; au printemps, les poissons ont des performances de nage plus élevées, soutenues par un coût de maintenance plus élevé. Cependant dans les conditions évaluées, les saisons n'ont pas eu d'effet sur le registre aérobie. De fait, l'augmentation de la température semble avoir induit une augmentation de l'efficacité de nage, car les poissons ont été capables d'augmenter leur performance de nage sans modifier leur registre aérobie.

En conclusion, cette étude souligne le fait que la physiologie des poissons varie en fonction des saisons, avec une amélioration des performances *in vivo* au printemps par rapport aux conditions hivernales. Cependant, cela amène à se poser la question de l'effet de la saison estivale sur le métabolisme des poissons. Pour cela, nous prévoyons de reproduire cette expérience juste après la période estivale et

en ajoutant les spiralins de l'amont si possible, afin de voir si ces poissons sont encore capables d'augmenter leurs performances *in vivo*, ou au contraire, si les températures estivales représentent un stress thermique trop important, en dehors de la zone de confort des poissons, entraînant un effet négatif sur leurs performances.

BIBLIOGRAPHIE (*obligatoire uniquement pour les communications à caractère scientifique*)

Fry, F. E. J. (1971). The Effect of Environmental Factors on the Physiology of Fish. In *Fish Physiology* (Vol. 6, p. 1-98). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60146-6](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60146-6)

Huey, R. B., & Kingsolver, J. G. (2019). Climate Warming, Resource Availability, and the Metabolic Meltdown of Ectotherms. *The American Naturalist*, 194(6), E140-E150. <https://doi.org/10.1086/705679>

Jutfelt, F., Ern, R., Leeuwis, R. H. J., & Clark, T. D. (2024). Effects of climate warming. In *Reference Module in Life Sciences* (p. B978032390801600183X). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90801-6.00183-X>

Kontopoulos, D.-G., Sentis, A., Daufresne, M., Glazman, N., Dell, A. I., & Pawar, S. (2024). No universal mathematical model for thermal performance curves across traits and taxonomic groups. *Nature Communications*, 15(1), 8855. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53046-2>

Pörtner, H. O., & Farrell, A. P. (2008). Physiology and Climate Change. *Science*, 322(5902), 690-692. <https://doi.org/10.1126/science.1163156>

Schmidt-Nielsen, K. (1972). Locomotion : Energy Cost of Swimming, Flying, and Running. *Science*, 177(4045), 222-228. <https://doi.org/10.1126/science.177.4045.222>

Teulier, L., Omlin, T., & Weber, J.-M. (2013). Lactate kinetics of rainbow trout during graded exercise : Do catheters affect the cost of transport? *Journal of Experimental Biology*, jeb.091058. <https://doi.org/10.1242/jeb.091058>

Thoral, E., Dargère, L., Medina-Suárez, I., Clair, A., Averty, L., Sigaud, J., Morales, A., Salin, K., & Teulier, L. (2024). Non-lethal sampling for assessment of mitochondrial function does not affect metabolic rate and swimming performance. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 379(1896), 20220483. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0483>

Tissot, L., & Souchon, Y. (2010). Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen. *Hydroécologie Appliquée*, 17, 17-76. <https://doi.org/10.1051/hydro/2010004>