

	Emmanuel Jaulin (2021-2024)
	Effet des variations artificielles du niveau d'eau sur les stades de vie sensibles des éphémères du genre <i>Baetis</i>
	Encadrant.e.s : Maria Alp, Hervé Capra (INRAE, UR RiverLy, Equipe EcoFlowS)
	Ecole doctorale : E2M2 Ecosystèmes Evolution Modélisation Microbiologie

La production d'hydroélectricité, qui a connu une expansion mondiale au cours des dernières années (Zarfl et al., 2015), génère des perturbations hydro-morphologiques majeures dans les rivières, modifiant une série de composantes physiques et écologiques de l'écosystème (McCartney, 2009). La nature et l'étendue de ces effets sont principalement déterminées par le mode de gestion des centrales hydroélectriques, qui peut modifier différentes composantes de l'écosystème (Kumar et al., 2011). L'écluse, un type de gestion hydroélectrique très répandu, consiste en une variation (infra)-journalière du débit induit par des lâchers d'eau générés par les centrales hydroélectriques en fonction de la demande d'électricité (Moog, 1993). Les éclusées modifient fortement le régime hydrologique (Gierszewski et al., 2020) et les conditions hydrauliques (Shen & Diplas, 2010) en aval du point de lâcher d'eau.

Les poissons, en particulier les salmonidés, ont été au centre de l'évaluation de l'impact écologique des éclusées, contrairement à d'autres organismes tels que les insectes des cours d'eau jouant un rôle clé dans les réseaux alimentaires (Wallace & Webster, 1996). Le cycle de vie complexe des insectes des cours d'eau comprend plusieurs stades de vie distincts : œuf, larve, imago (nymphe, subimago pour certains taxons), s'accompagnant souvent d'une transition d'habitat entre les milieux aquatiques et terrestres lors d'une transition entre stades de vies (Lancaster & Downes, 2013). Dans les études antérieures, l'impact des éclusées sur les insectes des cours d'eau a été principalement évalué pour le stade larvaire, ce qui a permis de montrer l'échouage des larves dû aux éclusées (Tonolla et al., 2023), leur dérive (Lauters et al., 1996), des changements de la composition des communautés (Bruno et al., 2009) et de la structure fonctionnelle des métacommunautés (Ruhi et al., 2018).

Bien que cruciaux pour le recrutement des populations (Downes et al., 2021), les stades de vie adulte et œuf sont étudiés que récemment dans le contexte des rivières régulées (Kennedy et al., 2016; Miller et al., 2020; Ruhi et al., 2018; Wahjudi et al., 2024). La dispersion aérienne des stades adultes est un mode de dispersion important pour les insectes des cours d'eau (Bunn & Hughes, 1997), permettant la connexion entre les populations et la recolonisation des zones perturbées ou restaurées par les femelles prête à pondre (Hughes, 2007). De nombreux insectes des cours d'eau ont un comportement de ponte sélectif et fixent leurs masses d'œufs sur des substrats organiques et non organiques spécifiques : soit des rochers, des troncs d'arbre ou des macrophytes dans le lit de la rivière (Johannsen, 1935). Dans les rivières à éclusées, la variation artificielle des conditions hydrauliques peut perturber la disponibilité spatio-temporelle des habitats de ponte en les submergeant et empêchant les femelles de pondre (Wahjudi et al., 2024) et assécher les habitats de ponte induisant une mortalité des œufs par dessiccation (Kennedy et al., 2016; Miller et al., 2020). L'échec potentiel du recrutement dû à cette perturbation peut agir comme un goulot d'étranglement sur la population, en particulier pour les taxons ayant un comportement de ponte très sélectif, dont les masses d'œufs sont concentrées dans des habitats très spécifiques (Downes et al., 2021; Kennedy et al., 2016). L'étude de ces transitions cruciales du cycle de vie est nécessaire pour améliorer notre compréhension des effets écologiques des éclusées sur la structure et la dynamique des populations d'insectes des cours d'eau et peut nous permettre de proposer de nouveaux indicateurs écologiques fonctionnels pour

l'évaluation de l'impact écologique des éclusées et la planification des mesures d'atténuation (Hayes et al., 2023).

Cette thèse porte sur l'effet des variations artificielles du niveau d'eau sur les stades de vie sensibles des éphémères du genre *Baetis*. Ces dernières ont un comportement de ponte très sélectif en déposant leurs œufs sur des rochers émergents dans des zones peu profondes à écoulement rapide. Ce comportement les rend vulnérables aux fréquentes fluctuations artificielles du niveau d'eau, qui peut rendre peu disponible, voir absent, leur habitat de ponte et assécher les œufs causant leur mortalité par dessiccation (Kennedy et al., 2016 ; Miller et al., 2020).

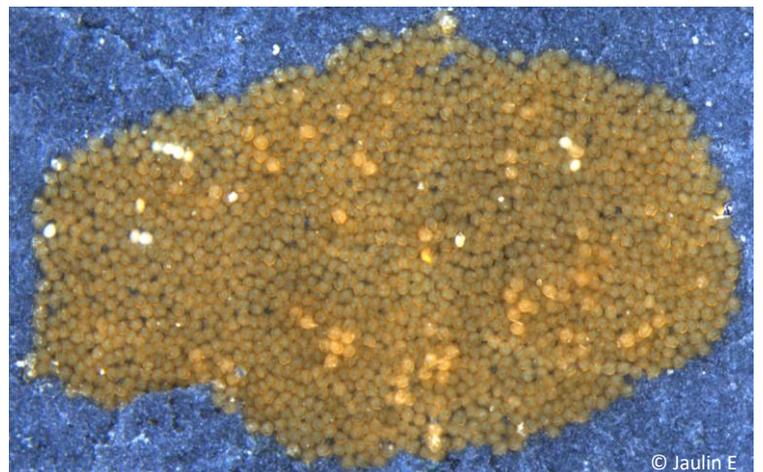
L'axe 1 de cette thèse porte sur l'habitat de ponte sélectionné par les femelles du genre *Baetis* en contexte de rivière régulée vs non régulée. La question principale est : est-ce que les habitats de pontes sélectionnés par les femelles *Baetis* diffèrent entre une rivière régulée vs non régulée ?'. Pour répondre à cette question, un travail de terrain a été réalisé en 2022 au sein d'une rivière régulée (L'Ain) et d'une rivière non régulée (La Loue). Ce travail consistait à examiner et à caractériser les substrats minéraux (habitat de ponte potentiel) afin d'identifier et de comparer l'habitat de ponte choisi par les femelles *Baetis* entre les 2 rivières.

L'axe 2 concerne la réponse des masses d'œufs de *Baetis* à l'assèchement causé par les variations artificielles du niveau d'eau. La question principale est : quelle est la durée d'assec minimum engendrant l'absence d'éclosion des œufs de *Baetis* ?'. Pour déterminer ce seuil, une expérience en laboratoire a été réalisée en 2023.

L'axe 3 a pour but d'évaluer à l'échelle d'un tronçon de rivière régulée la disponibilité d'habitat de ponte préférentiel (tel que défini dans l'axe 1) pour les femelles *Baetis* en fonction du débit, et la proportion de ces habitats de ponte mise en assec lors d'une baisse de débit liée à une éclusée. Cette analyse s'est faite en 2024 avec les résultats des simulations des conditions hydrodynamiques de la basse rivière d'Ain (modèle 2D INRAE, EDF - Rubar20).



Femelle *Baetis*



Masse d'œufs de *Baetis*

Bibliographie

- Bruno, M. C., Maiolini, B., Carolli, M., & Silveri, L. (2009). Impact of hydropeaking on hyporheic invertebrates in an Alpine stream (Trentino, Italy). *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 45(3), 157-170. <https://doi.org/10.1051/limn/2009018>
- Bunn, S. E., & Hughes, J. M. (1997). Dispersal and Recruitment in Streams : Evidence from Genetic Studies. *Journal of the North American Benthological Society*, 16(2), 338-346. <https://doi.org/10.2307/1468022>
- Downes, B. J., Peckarsky, B. L., Lancaster, J., Bovill, W. D., & Alp, M. (2021). From Insects to Frogs, Egg–Juvenile Recruitment Can have Persistent Effects on Population Sizes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 52(1), 67-86. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-122420-102909>
- Gierszewski, P. J., Habel, M., Szymańska, J., & Luc, M. (2020). Evaluating effects of dam operation on flow regimes and riverbed adaptation to those changes. *Science of The Total Environment*, 710, 136202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136202>
- Hayes, D. S., Bruno, M. C., Alp, M., Boavida, I., Batalla, R. J., Bejarano, M. D., Noack, M., Vanzo, D., Casas-Mulet, R., Vericat, D., Carolli, M., Tonolla, D., Halleraker, J. H., Gosselin, M.-P., Chiogna, G., Zolezzi, G., & Venus, T. E. (2023). 100 key questions to guide hydropeaking research and policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 187, 113729. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113729>
- Hughes, J. M. (2007). Constraints on recovery : Using molecular methods to study connectivity of aquatic biota in rivers and streams. *Freshwater Biology*, 52(4), 616-631. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01722.x>
- Johannsen, O. A. (1935). Number 177—Aquatic Diptera Part II. Orthorrhapha-Brachycera and Cyclorrhapha : Memoir. In O. A. Johannsen (Éd.), *Aquatic Diptera*. Cornell University Agricultural Experiment Station.
- Kennedy, T. A., Muehlbauer, J. D., Yackulic, C. B., Lytle, D. A., Miller, S. W., Dibble, K. L., Kortenhoeven, E. W., Metcalfe, A. N., & Baxter, C. V. (2016). Flow Management for Hydropower Extirpates Aquatic Insects, Undermining River Food Webs. *BioScience*, 66(7), 561-575. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw059>
- Kumar, A. T., Schei, T., Ahenkorah, A., Caceres Rodriguez, R., Devernay, J.-M., Freitas, M., Hall, D., Killington, A., & Liu, Z. (2011). Hydropower. In O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, & C. von Stechow (Éds.), *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge University Press.
- Lancaster, J., & Downes, B. J. (2013). *Aquatic entomology*. Oxford University Press.
- Lauters, F., Lavandier, P., Lim, P., Sabaton, C., & Belaud, A. (1996). Influence of Hydropeaking on Invertebrates and Their Relationship with Fish Feeding Habits in a Pyrenean River. *Regulated Rivers: Research & Management*, 12(6), 563-573. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199611\)12:6<563::AID-RRR380>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199611)12:6<563::AID-RRR380>3.0.CO;2-M)
- McCartney, M. (2009). Living with dams : Managing the environmental impacts. *Water Policy*, 11(S1), 121-139. <https://doi.org/10.2166/wp.2009.108>
- Miller, S. W., Schroer, M., Fleri, J. R., & Kennedy, T. A. (2020). Macroinvertebrate oviposition habitat selectivity and egg-mass desiccation tolerances : Implications for population dynamics in large regulated rivers. *Freshwater Science*, 39(3), 584-599. <https://doi.org/10.1086/710237>
- Moog, O. (1993). Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts. *Regulated Rivers: Research & Management*, 8(1-2), 5-14. <https://doi.org/10.1002/rrr.3450080105>
- Ruhi, A., Dong, X., McDaniel, C. H., Batzer, D. P., & Sabo, J. L. (2018). Detrimental effects of a novel flow regime on the functional trajectory of an aquatic invertebrate metacommunity. *Global Change Biology*, 24(8), 3749-3765. <https://doi.org/10.1111/gcb.14133>
- Shen, Y., & Diplas, P. (2010). Modeling Unsteady Flow Characteristics of Hydropeaking Operations and Their Implications on Fish Habitat. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(12), 1053-1066. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000112](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000112)
- Tonolla, D., Dossi, F., Kastenhofer, O., Doering, M., Hauer, C., Graf, W., & Schülting, L. (2023). Effects of hydropeaking on drift, stranding and community composition of macroinvertebrates : A field experimental approach in three regulated Swiss rivers. *River Research and Applications*, 39(3), 427-443. <https://doi.org/10.1002/rra.4019>
- Wahjudi, H., Bovill, W. D., Brooks, A. J., & Downes, B. J. (2024). Seasonal differences in amounts of oviposition habitat and egg-laying by caddisflies in rivers with regulated versus unregulated flows. *Freshwater Biology*, 69(5), 645-659. <https://doi.org/10.1111/fwb.14236>

- Wallace, J. B., & Webster, J. R. (1996). The Role of Macroinvertebrates in Stream Ecosystem Function. *Annual Review of Entomology*, *41*(1), 115-139. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.41.010196.000555>
- Zarfl, C., Lumsdon, A. E., Berlekamp, J., Tydecks, L., & Tockner, K. (2015). A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, *77*(1), 161-170. <https://doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0>