



HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Date de la soutenance : **09 novembre 2021**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur TEULIER Loïc**

Titre de la thèse : *Vision Intégrative de la Bioénergétique dans un contexte écophysiologique*

Résumé



1. Activités de recherche

1.1. Résumé succinct de mes travaux de thèse et de stages postdoctoraux

- 2007-2010 : Thèse de physiologie (UMR 5123, UCBL)
- 2010-2011 : ATER (UMR 5023, UCBL)
- 2012-2013 : Stage postdoctoral (Université d'Ottawa, Canada)

Dès mon intégration dans l'équipe du Pr. Claude Duchamp (Laboratoire de Physiologie Intégrative, Cellulaire et Moléculaire) en 2006 lors de mon stage de master 1 portant sur la balance énergétique d'un rat « anti-obèse » puis lors de mes travaux de thèse sur la thermorégulation chez les oiseaux, j'ai toujours orienté mes recherches vers la « Physiologie Intégrée en Conditions Extrêmes » (intitulé du master 2 que j'ai suivi) et finalement, vers **l'Ecophysiologie**.

Au cours de ma thèse, je me suis principalement intéressé à la **plasticité phénotypique de l'organisme en fonction de l'environnement**, notamment en réponse à un stress chronique froid chez les oiseaux (caneton de Barbarie et manchot royal). J'ai ainsi caractérisé ces adaptations métaboliques à plusieurs niveaux d'intégration, reliant biologie moléculaire au métabolisme *in vivo* à travers la bioénergétique mitochondriale (articles marqués « T » dans la liste).

Par la suite, lors de mes différents stages postdoctoraux sous la supervision du Dr. Jean-Michel Weber et du Dr. Charles Darveau (Université d'Ottawa, Canada), j'ai pu approfondir mes connaissances théoriques et élargir mon éventail technique en travaillant au contact d'experts en physiologie comparée et en biologie évolutive. Toujours avec l'idée d'être à **l'interface entre physiologie et écologie**, mon séjour au Canada m'a permis de travailler sur des nouveaux modèles ectothermes, tels que les poissons et les insectes, modèles que j'ai transposés aux thématiques de recherche abordées au LEHNA (Articles marqués « PD » dans la liste)

1.2. Résumé de mes travaux de recherche après 2014

- 2014-actuellement : Maître de Conférences, LEHNA UMR 5023

A l'interface entre écologie et physiologie, mes activités de recherches s'articulent autour des adaptations physiologiques des animaux (principalement les poissons) en

réponse à des variations environnementales, reliant performances musculaires à l'échelle de l'organisme et bioénergétique cellulaire.

1.2.1. Principales collaborations au sein du LEHNA

Suite à mon recrutement, j'ai intégré l'équipe E2C (Ecophysiologie, Comportement et Conservation) du LEHNA, en collaborant d'abord avec mes collègues sur leurs thématiques :

« Activité ultradienne chez les oiseaux à jeun » : en 2015, un collègue Canadien, Glenn Tattersall (*Brock University*) est venu à Lyon pour travailler avec moi sur une étude de la thermorégulation chez les oiseaux, en fonction du jeûne alimentaire. Utilisant des nouvelles techniques d'acquisition (caméra thermique et capteurs internes de température), nous avons pu mettre en évidence une régulation très fine de la température interne des oiseaux en fonction de leur état de jeûne. Cette étude a été publiée (Article 12) et reprise par le site du CNRS et un site de vulgarisation scientifique Planète-vie.

« Conséquences physiologiques de la pollution lumineuse chez les amphibiens ». Ce projet était porté par Nathalie Mondy et j'ai participé à l'encadrement en M2 de son étudiante Morgane Touzot, actuellement ATER au laboratoire. Nous avons effectué des mesures du métabolisme aérobie et de l'activité physique chez le crapaud commun, soumis à différentes intensités de lumière. (Article 16)

« Conséquences physiologiques d'un choc électrique chez le poisson zèbre » : En 2014 - 2016, j'ai collaboré avec Yann Voituron (UCBL) sur un projet qui avait pour but de caractériser les effets d'un choc électrique sur la bioénergétique des poissons. Au cours de ce projet, j'ai encadré 2 étudiants de master 1, et une publication a été réalisée, ainsi qu'une communication affichée. (Article 15)

En parallèle, j'ai commencé à développer mon projet de recherche principal, en m'intéressant **aux relations entre performances in vivo et bioénergétique cellulaire chez des poissons soumis à différentes contraintes environnementales**.

Globalement deux grands axes se dessinent au sein de cette thématique, avec une vision plus mécanistique dans un contexte physiologique et une vision plus « appliquée » en physiologie de la conservation.

1) Mécanismes physiologiques et plasticité métabolique chez les poissons soumis à des contraintes environnementales.

Plusieurs études ont été menées à Lyon sur le poisson zèbre soumis à des variations de teneur en oxygène ou en ions (notamment en collaboration avec Jean-Michel Weber, professeur à l'Université d'Ottawa (Canada), en qualité de professeur invité au LEHNA en 2016). Une autre étude a porté sur la conséquence d'une exposition chronique à la lumière chez les poissons rouges. Ces différentes études ont été réalisées lors de 2 stages de M1. De plus, elles ont été présentées sous forme de poster lors d'un congrès au Canada.

« Plasticité de la performance aérobie et de la bioénergétique musculaire chez le poisson face aux variations de paramètres environnementaux »

Ce projet constitue en grande partie la thèse d'Elisa Thorval, actuellement en 3^e année, et vise à caractériser la relation entre bioénergétique cellulaire et performances musculaires *in vivo* des poissons.

Dans une première partie, en collaboration avec des collègues de l'IFREMER de Sète et de l'Université de Montpellier (Claire Saraux et David McKenzie), nous avons étudié le métabolisme énergétique des sardines et des dorades, en fonction de la qualité et de la quantité de la nourriture. Ces travaux sont en partie déjà publiés (Articles 17, 19 & 21).

Ensuite, afin de caractériser les conséquences métaboliques d'une exposition chronique à une hypoxie sévère (10% de saturation en O₂) couplée ou non à un entraînement d'endurance, nous avons étudié la bioénergétique musculaire au niveau *in vivo* et au niveau cellulaire chez le poisson rouge. (Article en préparation pour une soumission dans *J Exp Biol*).

2) Rôles de la bioénergétique cellulaire en physiologie de la conservation des poissons d'eau douce. En effet, cette thématique est en plein essor, et elle s'intègre parfaitement dans

les prérogatives du LEHNA. En collaboration avec un collègue du LEHNA, François-Xavier Dechaume-Moncharmont et un collègue de l'Université de Saint-Etienne, Vincent Médoc, nous avons initié des projets alliant écologie, physiologie et comportement chez l'Apron du Rhône (*Zingel asper*) et le gobie à tache noire (*Neogobius melanostomus*). Ces deux poissons sont très intéressants au niveau conservation car l'un est en voie d'extinction (l'Apron du Rhône) et l'autre est une espèce fortement invasive (le Gobie). Au travers de nos expertises spécifiques, nous cherchons à mettre en évidence des relations entre métabolisme énergétique, comportement et personnalités dans un contexte de performances d'invasion. Ce projet a débuté en 2019 et a permis d'établir et de consolider un réseau de collaborations avec des partenaires académiques (Université de BFC) et non académiques (OFB, PNA Apron), et d'encadrer plusieurs étudiants de Master.

2. Articles publiés

1. **(T)** Teulier L., Rouanet J.-L., Letexier D., Romestaing C., Belouze M., Rey B., Duchamp C., Roussel D. Cold acclimation induced non-shivering thermogenesis in birds is associated with upregulation of avian UCP but not with innate uncoupling or altered ATP efficiency. *J Exp Biol.* Jul 15; 213(Pt 14):2476-82. 2010
2. **(T)** Salin K., Teulier L., Rey B., Rouanet J.-L., Voituron Y., Duchamp C., Roussel D. Tissue variation of mitochondrial oxidative phosphorylation efficiency in cold acclimated ducklings. *Acta Biochim Pol.* 57: 409-412. 2010
3. **(T, C)** Rey B., Roussel D., Teulier L., Eyenga P., Degletagne C., Belouze M., Duchamp C. Functional argument for the existence of an avian nitric oxide synthase in muscle mitochondria: effect of cold acclimation. *Febs Lett.* 585: 173-177. 2011
4. **(T, C)** Belouze M., Sibille B., Rey B., Rouanet J.-L., Roussel D., Letexier D., Romestaing C., Teulier L., Baetz D., Koubi H., Duchamp C. Leanness of Lou/C rats does not require thermogenic activation of brown adipose tissue. *Physiol Behav.* 04(5):893-9. 2011
5. **(T)** Teulier L., Degletagne C., Rey B., Tornos J., Keime C., de Dinechin M., Raccurt M., Rouanet J.-L., Roussel D. and Duchamp C. Selective upregulation of lipid metabolism in skeletal muscle of foraging juvenile king penguins: an integrative study. *Proc. R. Soc. B.* 279, 2464-72. 2012
6. **(T)** Teulier L., Tornos J., Rouanet J.-L., Rey B. and Roussel D. Metabolic response to lipid infusion in fasting winter-acclimatized king penguin chicks (*Aptenodytes patagonicus*). *Comp. Biochem. Physiol. A.* 165 (1):1-6. 2013
7. **(PD)** Teulier L., Omlin T. and Weber J-M. Lactate kinetics of rainbow trout during graded exercise: Do catheters affect cost of transport? *J Exp Biol.* Dec 15; 216 (Pt 24):4549-56. 2013
8. **(T, C)** Eyenga P., Roussel D., Morel J., Rey B., Romestaing C., Teulier L., Sheu S-S., Goudable J., Négrier C., Viale J-P. Early septic shock induces loss of oxidative phosphorylation yield plasticity in liver mitochondria. *J Physiol Biochem.* 70-2: 285-296 2014
9. **(T)** Teulier L., Rouanet J-L., Rey B., Roussel D. Ontogeny of non-shivering thermogenesis in Muscovy ducklings (*Cairina moschata*). *Comp Biochem Physiol A* 175, 82-89. 2014
10. **(T)** Teulier L., Rey B., Tornos J., Le Coadic M., Monternier P-A., Bourguignon A., Dolmazon V., Romestaing C., Rouanet J-L., Duchamp C., Roussel D. Lipid-induced thermogenesis is up-regulated by the first cold-water immersions in juvenile penguins. *J. Comp. Physiol. B.* 186: 639-650. 2016
11. **(PD)** Teulier L., Weber J-M., Crevier J., Darveau C-A. Proline as a fuel for insect flight: enhancing carbohydrate oxidation in hymenopterans. *Proc. R. Soc. B.* 283-1834. 2016
12. **(MC, PI)** Tattersall G.J., Roussel D., Voituron Y., Teulier L. Novel energy-saving strategies to multiple stressors in birds : the ultradian regulation of body temperature. *Proc. R. Soc. B.* 283- 1839. 2016

13. **(MC, C)** Desprat J., Teulier L., Puijalon S., Dumet A., Romestaing C., Tattersall G.J., Lengagne T., Mondy N. Doping for sex: Bad for mitochondrial performances? Case of testosterone supplemented *Hyla arborea* during the courtship period. *Comp. Biochem. Physiol. A* 209, 74-83. 2017
14. **(MC, C)** Monternier P-A., Teulier L., Draï J., Bourguignon A., Collin-Chavagnac D., Hervant F., Rouanet J-L., Roussel D. Mitochondrial oxidative phosphorylation efficiency is upregulated during fasting in two major oxidative tissues of ducklings. *Comp. Biochem. Physiol. A* 212, 1-8. 2017
15. **(MC, PI)** Teulier L., Guillard L., Leon C., Romestaing C., Voituron Y. Consequences of electroshock-induced narcosis in fish muscle: from mitochondria to swim performance. *J. Fish Biol.* 92 (6): 1805-1818. 2018
16. **(MC, C)** Touzot M., Teulier L., Lengagne T., Secondi J., Théry M., Libourel P-A., Guillard L., Mondy N. Artificial light at night disturbs the activity and energy allocation of the common toad during the breeding period. *Cons. Phys.* 7 (1), 2019, coz002, <https://doi.org/10.1093/conphys/coz002>
17. **(MC, PI)** Teulier L., Thoral E., Queiros Q., McKenzie D.J., Roussel D., Dutto G., Gasset E., Bourjea J., Saraux C., Muscle bioenergetics of two emblematic Mediterranean fish species: *Sardina pilchardus* and *Sparus aurata* *Comp. Biochem. Physiol. A* 235, 174-179. 2019 <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2019.06.008>.
18. **(MC, C)** Cayuela H., Valenzuela-Sanchez A., Teulier L., Martínez-Solano I., Léna J-P., Merilä J., Muths E., Shine R., Quay L., Denoël M., Clobert J., Schmidt B. R. Determinants and consequences of dispersal in vertebrates with complex life cycles: a review of pond-breeding amphibians. *The Quarterly Review of Biology* 95 (1), 1-36, 2020
19. **(MC, PI)** Thoral E., Roussel D., Chinopoulos C., Teulier L., Salin K. Low oxygen levels can help to prevent the detrimental effect of acute warming on mitochondrial efficiency in fish. *Biol. Lett.* 17: 20200759. 2021. <http://doi.org/10.1098/rsbl.2020.0759>
20. **(MC, C)** Eyenga, P., Roussel D., Rey B., Ndille P., Teulier L., Eyenga F., Romestaing C., Morel J., V. Gueguen-Chaignon V., et Sheu S-S. Mechanical Ventilation Preserves Diaphragm Mitochondrial Function in a Rat Sepsis Model . *Intensive Care Medicine Experimental*. 2021: 19. <https://doi.org/10.1186/s40635-021-00384-w>.
21. **(MC, PI)** Thoral E., Queiros Q., Roussel D., Dutto G., Gasset E., McKenzie D. J., Romestaing C., Fromentin J-M., Saraux C., Teulier L. « Changes in Foraging Mode Caused by a Decline in Prey Size Have Major Bioenergetic Consequences for a Small Pelagic Fish ». *Journal of Animal Ecology*, 2021, 1365-2656.13535. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13535>.