

Fiche projet Type Actions de recherche Saône

2022-T15 - BiodiverSaône - Lyon-Besançon- Dijon - Rôle de l'hétérogénéité des milieux sur la biodiversité en Saône

INTITULE DU PROJET : BiodiverSaône - Relation entre les caractéristiques abiotiques et biotique de la Saône : rôle de l'hétérogénéité des milieux sur la résistance des populations de poissons face aux perturbations (2023- 2027)

Responsable scientifique du projet :

- **Nom :** Dechaume-Moncharmont
- **Prénom :** François-Xavier
- **Organisme du contact :** UMR LEHNA, CNRS-université Lyon 1
- **Fonction :** Professeur
- **Courriel :** fx.dechaume@univ-lyon1.fr
- **Téléphone :** 06 09 65 38 25

Référent(s) administratif(s) :

- **Nom :** Brochet
- **Prénom :** Nadine
- **Organisme du contact :** CNRS, UMR LEHNA
- **Fonction :** responsable administrative
- **Courriel :** nadine.brochet@univ-lyon1.fr
- **Téléphone :** 04 72 43 26 60

EQUIPES DE RECHERCHES ZABR CONCERNEES et CONTACT SCIENTIFIQUE DE L'EQUIPE

(Équipe membre ou associée de la ZABR)

- **UMR LEHNA** (université Lyon 1-CNRS), équipe E2C, Ecophysiologie comportement et conservation,
 - François-Xavier Dechaume-Moncharmont, PU, coordinateur de l'axe 1
 - Loïc Teulier, MCF
 - Yann Voituron, PU
 - Ludovic Guillard, AI CNRS
- **UMR Chronoenvironnement** (université de Besançon)
 - Loïc Bollache PU, coordinateur de l'axe 1
- **UMR Biogéosciences** (Université de Bourgogne, Dijon)
 - Jérôme Moreau, MCF
 - Sébastien Motreuil, IE CNRS
 - Maria Teixeira Brandao, IE
- **ENES** (université Jean-Monnet, Saint-Etienne)
 - Vincent Medoc, MCF

AUTRES PARTENAIRES

(Préciser leur degré d'implication et leur accord)

- **UR RIVERLY** (INRAe), équipes EcoFlows et HyBV, Florentina Moatar (DR INRAe) et Martial Ferréol (IE INRAe). Le projet BiodiverSaône repose largement sur les outils (instrumentations de terrain) et cartographie mis en place par les hydrodynamiciens de RIVERLY dans le projet HEATWAVES (AAP ZABR-Agence de l'eau, coordinateur FX Dechaume-Moncharmont). Voir plus loin les synergies et les différences entre les deux projets.
- **OFB Bourgogne Franche-Comté**, Julien Bouchard et Sylvain Besson, expertise sur les points d'échantillonnage et les données piscicoles en Saône. Nous travaillons en collaboration avec eux depuis plusieurs années, notamment sur la thématique liée aux espèces invasives.
- **EPTB Saône et Doubs**, Pôles milieux naturels : Guillaume Blondel et Benoit Droux, soutien pour les campagnes d'échantillonnage des espèces invasives dans le bassin de la Saône, notamment le Gobie à tache noire. Nous allons aussi travailler avec Franck Weingertner pour définir les sites d'études sur la Saône le plus pertinents, au regard des travaux de restauration déjà entrepris et des autres projets en cours (notamment le projet Apecosaone porté par Thomas Changeux)

THEMATIQUE NATURE ET OPERATION *(ne rien compléter)*

- Thématique : Etude recherche et réseau de suivi
- Nature du projet : Etude générale et recherche
- Type d'opération : Recherche et innovation
- **Intitulé de l'opération :**

LOCALISATION DU PROJET: *(se remplit automatiquement -Ne rien remplir)*

- **Commune principale et numéro INSEE :** à compléter
- **Sous bassin versant**
- **Nom du cours d'eau**
- Contrat (si intégré dans un contrat de rivière, un SAGE ou un autre contrat avec l'agence de l'eau)

RESUME DU PROJET GLOBAL

La Saône subit depuis plus d'un siècle de nombreuses atteintes à son intégrité physique et biologique. Son fonctionnement est durablement altéré par plusieurs facteurs. L'un d'eux est l'accélération des perturbations d'origines abiotiques, comme les effets du changement climatique sur **son hydrologie et la température** des masses d'eau. Un autre concerne les perturbations d'origines biotiques avec la diminution des **populations piscicoles** et l'arrivée d'espèces exotiques ou de nouveaux pathogènes. Un point commun entre ces différentes perturbations est qu'elles sont largement liées à la **simplification** de nos rivières. L'aménagement des berges, les **ruptures de connectivité** entre le lit mineur et le lit majeur, et la disparition des bras morts ou des îlots entraînent l'homogénéisation et l'appauvrissement d'un écosystème autrefois complexe. Pourtant l'hétérogénéité des milieux aquatiques offre plus qu'un simple réservoir de biodiversité. Les milieux annexes peuvent ainsi constituer des îlots de résistances contre les perturbations abiotiques et biologiques et devraient freiner leurs impacts. Notre projet est centré sur la compréhension des relations entre les perturbations abiotiques (température et hydrologie) et biotiques (invasion biologique) chez les poissons. Nous cherchons à évaluer comment les caractéristiques abiotiques des différents milieux de la Saône, notamment les annexes fluviales (bras morts et îlots), permettent une meilleure **résistance de l'écosystème** aux perturbations biotiques ou au contraire facilitent le déclin des espèces natives et le succès des espèces invasives. Il doit par ailleurs permettre de fournir des outils opérationnels pour l'évaluation des projets de restauration, notamment ceux visant à reconnecter le lit mineur et majeur de la Saône, en termes de résistance aux perturbations. Un des **objectifs opérationnels** du projet est d'évaluer l'efficacité écologique des mesures de restauration entrepris en comparant des sites très anthropisés et d'autres ayant fait l'objet de travaux de renaturation plus ou moins anciens. Une des finalités est d'aboutir à des recommandations concrètes pour les gestionnaires en ce qui concerne l'efficacité réelle sur le long terme.

ENCART 2022- BiodiverSaône - axe1 (Coordinateur Loïc Bollache)

- Tache de l'équipe dans le projet : Axe I
-

ENCART 2022- BiodiverSaône - axe2 (Coordinateur François-Xavier Dechaume-Moncharmont)

- Tache de l'équipe dans le projet : Axe II

CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Contexte général

Très riches en nombre et en diversité d'espèces, les **annexes fluviales** (îlot, bras morts, mares) jouent un rôle fondamental pour la préservation de la diversité biologique, pour le maintien de la qualité de l'eau et la lutte contre les inondations. Ce sont des écosystèmes complexes, qui offrent des conditions de vie favorables à l'alimentation et à la reproduction des poissons. Ils permettent à de nombreuses espèces de résister aux perturbations croissantes d'origine abiotiques (anomalies thermiques), biotiques (espèces invasives) ou anthropiques (pollution acoustique). Ces milieux annexes pourraient être des zones refuge, c'est-à-dire des zones où les composantes biotiques et abiotiques de l'écosystème et la composition et l'abondance des espèces indigènes sont caractéristiques de leurs régions naturelles. Ces zones sont un enjeu de conservation majeur puisqu'elles peuvent être le point de départ d'une **reconquête de l'intégrité écologique** de l'écosystème Saône. Notre projet vise à caractériser la biodiversité des poissons dans les différents milieux (lit mineur VS lit majeur) et leur susceptibilité aux perturbations, notamment les conséquences du réchauffement climatique ou les invasions biologiques. Il se décline en deux grands axes.

AXE 1 : Caractéristiques physiques et biotiques de l'écosystème Saône et des milieux annexes. Rôle de l'hétérogénéité des habitats dans la résistance biotique aux espèces invasives et le maintien des espèces autochtones

La simplification de l'écosystème Saône suite aux aménagements de son lit pour les besoins de la navigation, de l'agriculture et de l'urbanisation a eu de nombreuses conséquences pour la biodiversité. La perte de milieux annexes essentiels pour la reproduction de nombreuses espèces et l'aménagement du lit mineur a conduit à fragiliser les espèces locales tout en favorisant les espèces exotiques. Les altérations anthropiques ont ainsi entraîné des changements dans la composition du peuplement piscicole affectant la fonctionnalité de l'écosystème dans son ensemble. Pour inverser cette tendance, l'EPTB a mis en œuvre de nombreux programmes de restauration des habitats du lit mineur et du lit majeur de la Saône. Les programmes les plus nombreux concernent la restauration des frayères à brochet, des milieux annexes et des platis, des milieux essentiels pour le maintien de la biodiversité et la production biologique. S'il est connu que les milieux non perturbés peuvent être relativement résistants aux invasions tout en favorisant les

espèces natives (Naeem et al. 2000), cette résistance peut être affectée par la perturbation de l'habitat causée par l'homme (Byers 2002). Par ailleurs, dans un contexte de réchauffement climatique global, les milieux annexes et les milieux peu profonds comme les platis risquent d'être plus exposés aux perturbations thermiques compromettant les efforts de restauration (voir l'axe 2 qui explore spécifiquement cette question). Notre projet vise à **analyser le rôle de l'hétérogénéité** des habitats et à **mesurer l'efficacité des projets de restauration** dans le maintien des espèces piscicoles locales. Pour cela, nous proposons d'évaluer la dynamique spatio-temporelle des espèces entre les différents habitats restaurés ou non du lit mineur et majeur.

AXE 2 : Capacité de résistance à la thermie des espèces natives et des espèces invasives

L'écosystème d'une rivière est marqué par des changements fréquents au cours son histoire. Son lit varie au cours de l'année (crue saisonnière) ou entre les années et cela modifie la connectivité de nombreux milieux annexes. Les grands travaux d'aménagement du lit mineur ont altéré la dynamique naturelle des îlots et bras morts. Un grand nombre de ces bras mort sont en voie d'atterrissement ou ne sont plus suffisamment alimentés en eau par le lit mineur ou la nappe d'accompagnement. Du fait de leur faible masse d'eau et du moindre courant, ces écosystèmes lenticques sont plus exposés aux fluctuations rapides des températures que le lit mineur de la rivière. Un pic de chaleur y affecte souvent l'entièreté de la colonne d'eau privant ainsi la faune piscicole de poches de refuge thermique qui lui permet de résister à une hausse soudaine des températures. À l'inverse, dans ces milieux annexes, la température de l'eau peut rapidement chuter en cas de remontées de la nappe d'accompagnement. Enfin, les effets d'ombrage y sont plus marqués que dans le lit mineur. Il est donc crucial d'arriver à évaluer finement les effets des brusques fluctuations thermiques sur les espèces sauvages. Dans cet axe, nous quantifierons les effets de variation de températures sur les performances écologiques et comportementales des poissons. Il s'agit d'un axe plus prospectif que le précédent dans la mesure où nous cherchons à prédire les conséquences de stress thermique sur la chaîne trophique en évaluant la réponse fonctionnelle (*functional response*, DeLong 2021) chez les espèces présentes en Saône, y compris les espèces invasives (Alexander et al 2014).

Articulation avec les autres projets de recherche (Stratégie connaissance Saône)



Ce projet BiodiverSaône est **clairement adossé au projet HEATWAVES** déposé en réponse à l'AAP ZABR-Agence de l'eau, en cours d'évaluation par l'Agence de l'eau. Plusieurs membres du consortium de chercheurs BiodiverSaône figurent aussi dans celui de HEATWAVES. Le projet HEATWAVES et l'axe 2 de BiodiverSaône explore tous les deux la réponse des espèces de poissons du bassin versant de la Saône aux pics de chaleurs. Nous tenons cependant à bien souligner leurs différences. Ils sont **complémentaires mais non redondants**. Les AAP qui pourraient concerner ces questions offre rarement une enveloppe financière suffisante pour un travail de plusieurs années reposant sur la collaboration entre des équipes de plusieurs universités, et des bourses de thèse. Nous avons donc construit notre programme de recherche en le structurant en projets plus petits pouvant être réalisés séparément, et qui peuvent démarrer à des dates échelonnées. Le projet HEATWAVES est la première de ces briques élémentaires. Il est de portée plus modeste que BiodiverSaône, et il est ciblé sur une question beaucoup plus resserrée. Il vise à caractériser le stress **métabolique** en réponse à des variations rapides et de grandes amplitudes de la température (pics de chaleur) : nous proposons d'exposer des poissons à des régimes thermiques très variables (stochasticité thermique) et à mesurer leur réponse physiologique (taux métabolique). Pour cela, notre consortium comporte des hydrodynamiciens spécialisés sur la thermie en rivière (Florentina Moatar, Inrae RIVERLY) pour cartographier, caractériser et prédire les régimes thermiques en Saône, et des experts en écophysiologie (Loïc Teulier, Yann Voituren) pour les mesures en chambre métabolique au laboratoire. Il est important de noter que le projet HEATWAVES se concentre sur des mesures rapides en conditions très contrôlées. Il n'aborde donc pas les conséquences écologiques (réponse fonctionnelle, perturbations des chaînes trophiques) des coûts métaboliques de la réaction aux stress thermiques. C'est précisément ce lien (totalement absent du projet HEATWAVES) entre le stress thermique subit et leur impact trophique et écologique que nous souhaitons traiter dans l'axe 2 de BiodiverSaône. Dis autrement, le projet HEATWAVES correspond à une approche réductionniste (mesurer la réponse physiologique intra-individu à un stress thermique) alors que l'axe 2 du projet BiodiverSaône a une visée holistique (estimation des conséquences écologiques à l'échelle interspécifique des altérations comportementales des poissons).

Notons enfin que lors de nos échanges avec les membres de l'Agence de l'eau et de la ZABR pour l'élaboration du dossier HEATWAVES, la question de la description des interactions trophiques nous avait été posée explicitement. Nous avons alors préféré jouer la franchise : compte tenu l'ampleur du projet HEATWAVES, il ne nous était pas possible de tout faire. Nous avons préféré nous en tenir à nos domaines d'expertise à Lyon et mettre l'accent sur une question plus resserrée, la réponse physiologique. Ce nouveau projet BiodiverSaône vient donc combler plusieurs manques du projet HEATWAVES et répondre aux attentes de nos évaluateurs. Pour cela, nous avons augmenté la taille du consortium de chercheurs en y intégrant des écologues de Dijon, Besançon et Saint-Etienne spécialisés dans les relations proie-prédateur ou hôte-parasite.

Enfin, ce projet BiodiverSaône et le projet Apecosaone (porté par Thomas Changeux) sont très complémentaires. Le premier se concentre sur la biodiversité de l'ichtyofaune et le second se focalise plus sur des mesures de biomasse. Nous sommes tout à fait désireux de travailler en synergie. Nous sommes par exemple en train de réfléchir ensemble et avec l'EPTB et l'OFB à des choix de sites de suivi de population communs. Nous partagerons aussi nos données tout au long du projet.

FINALITE ET ATTENDUS OPERATIONNELS

Objectifs scientifiques. Notre projet est d'explorer l'efficacité des projets de restauration, la valeur écologique de l'hétérogénéité des milieux, et le rôle de la connectivité entre les milieux annexes du lit majeur de l'écosystème Saône. D'une part, les projets de restauration de milieux comme les platis, et la connectivité entre les îlots, bras mort et le lit mineur peut être un atout si elle permet à ces milieux de jouer le rôle de réservoir de biodiversité favorisant la reconquête écologique. Mais d'autre part, elle peut être un handicap. Par exemple, l'action de l'homme lors de la restauration et les perturbations que cela entraîne pourrait favoriser certaines

espèces exogènes. Par ailleurs, du fait de leur fragmentation, les annexes sont potentiellement plus exposés aux fluctuations rapides des contraintes abiotiques (notamment la température) mais aussi aux altérations biotiques (parasites ou espèces invasives). La question de l'importance écologique de l'hétérogénéité des habitats et de leur connectivité entre les petites parcelles de refuge de biodiversité est l'objet d'un débat scientifique assez vif à l'heure actuelle (Fletcher et al. 2018, Fahrig et al. 2019, Wintle et al. 2019). L'écosystème Saône constitue une opportunité unique d'explorer le lien qu'il peut y avoir entre la connectivité des milieux et la résilience écologique des espèces face aux perturbations.

Attendus opérationnels. Notre consortium d'écologues a aussi à cœur de valoriser nos recherches en contribuant à adosser des plans de gestion à des analyses et des résultats acquis dans un contexte académique rigoureux. L'analyse des dynamiques spatio-temporelles des différents milieux du bassin versant de la Saône a aussi pour but d'évaluer l'efficacité de plans de gestion ou de renaturation des annexes fluviales. En évaluant la résilience écologique de milieux suivant un gradient d'anthropisation (milieu anciens ou réaménagés récemment) ou un gradient d'instabilité thermique (présence ou absence de refuge thermique face aux pics de chaleur), nous espérons identifier les leviers prioritaires pour faciliter la reconquête écologique des espèces de poissons natifs. Nous souhaitons aussi impliquer en amont les acteurs de terrain, notamment les fédérations de pêches, dans le choix des sites expérimentaux et des espèces étudiées : l'objectif est de construire ensemble un plan de suivi qui répondent pleinement à leurs préoccupations de gestionnaires.

DESCRIPTIF DETAILLE

Protocole d'identification des stations

Le choix des stations d'échantillonnage et d'analyse se fera en adéquation avec les différents enjeux opérationnels d'une part et les enjeux scientifiques d'autre part. Pour cela, des échanges auront lieu avec les fédérations de pêche et l'EPTB Saône Doubs. Une première réunion de travail a d'ailleurs eu lieu le 5 Décembre 2022.

Compte-tenu du contexte, deux problématiques sont à distinguer :

- Le suivi temporel à long terme des communautés de poisson. Il se fera sur l'ensemble des stations de l'OFB, les données sont déjà disponibles et en cours d'analyse. Elles sont localisées de l'amont à l'aval comme suit : Belrupt, Jonvelle, Cendrecourt, Scey sur Saone, Apremont, Auxonne, Charrey sur Saone, Seurre, Gergy, Ouroux sur Saone, Fleurville, Saint Symphorien d'Annelle, Saint Bernard et Lyon.
- Le suivi des stations à mettre en place devrait comprendre **8 sites**. Il s'agit soit de sites de références, soit de sites avec des actions de restauration passées ou futures. Il y a 2 sites par département. **Cette sélection sera validée avec l'EPTB et les fédérations de pêche d'ici fin Février 2023.** La liste prévisionnelle à ce jour est la suivante :
 - o 70 - Cendrecourt
 - o 70 - Jonvelle (Restauration de 5ha d'une zone humide actuellement occupée par une peupleraie en 2019)
 - o 21 - Auxonne (Travaux de reconnexion de la zone humide de la Bernassaire avec la Saône, réhabilitation de frayères de l'écluse en 2020)
 - o 21 - Seurre, Labergement les Seurre (Projet pour la protection du platis rive droite de Saône)
 - o 71 - Gergy (Restauration franc bord et lône du breuil en 2021)
 - o 71 - Fleurville (Restauration gravière en 2020)
 - o 01 - Trévoux (Restauration de la zone humide de la petite Saône en 2020)
 - o 01 - Saint Bernard (projet et travaux de protection anti-batillage du platis de Saint Bernard, travaux de restauration d'une zone humide (annexe) sur 7 Ha)

Trois stagiaires de Master appuieront le début du projet avec la collecte et l'analyse des données.

AXE 1 : Caractéristiques physiques et biotiques de l'écosystème Saône et des milieux annexes

- *Coordonnateur* : Loic Bollache
- *Membres impliqués* : Jérôme Moreau, Sébastien Motreuil, Maria Texeira Brandao, Vincent Médoc, FX Dechaume-Moncharmont, Loic Teulier
- *Membres CDD financés sur le projet* : 4 stagiaires de 6 mois de niveau M2 ou BTS

Cet axe abordera 3 questions principales.

Question 1.1. Quelles sont les **dynamiques spatio-temporelles de la biodiversité piscicole** dans les différents compartiments du lit mineur au lit majeur de l'écosystème Saône ? La biodiversité piscicole varie-t-elle entre le chenal, les zones des clayonnages et des platys, les bras morts et les lônes ?

Question 1.2. Les projets de **restauration et d'aménagement déjà entrepris ont-ils réellement permis de restaurer la biodiversité piscicole** ?

Question 1.3. Quelles sont les **caractères principaux** de la rivière ou des annexes fluviales qui permettent d'expliquer les dynamiques spatio-temporelles précédemment décrites ?

Méthodologie. Nous proposons de travailler sur deux types de données : des données nouvelles acquises pendant la durée du projet directement par nos équipes, et des données déjà collectées (bases de données de l'OFB et des fédérations de pêche, ou les données mises en commun avec le projet Apecosaone porté par Thomas Changeux).

Acquisition de données nouvelles. Nous effectuerons des campagnes d'échantillonnage (pêche électrique voire au filet ou plongées, analyse des contenus stomacaux, évaluation de la charge parasitaire) sur **des sites encore à définir** en concertation avec les agents de l'OFB (Julien Bouchard et Sylvain Besson), les membres de l'EPTB Saône Doubs (notamment Frank Weingertner avec qui nous avons rendez-vous en décembre, et Guillaume Blondel et Benoit Droux qui ont déjà participé à une campagne de capture sur le gobie à tache noire invasif et soutiennent notre projet), et les fédérations de pêches. L'échantillonnage se fera suivant **des transects de la Saône vraisemblablement au niveau de 8 sites** (comprenant le chenal et les milieux annexes et d'autres pour le chenal et les zones des clayonnages et des plats). Notre échantillonnage a pour objectif de décrire la diversité piscicole au moyen d'indices quantitatifs permettant les comparaisons entre sites ou au cours du temps (indices de richesse spécifique, de diversité beta, etc.). Une attention particulière sera portée sur la présence des espèces invasives et le recul d'espèces natives. Nous profiterons de cet échantillonnage pour évaluer le statut parasitaire des poissons et leur impact trophique.

Valorisation des bases de données. Par ailleurs, nous souhaitons valoriser des **données déjà collectées**, très abondantes bien qu'encore peu exploitées. Par exemple, les agents de l'OFB effectuent chaque année des campagnes de captures systématiques de grande qualité sur une cinquantaine de stations dans le bassin versant de la Saône. Nous sommes en contact étroit depuis plusieurs années avec Julien Bouchard et Sylvain Besson, et nous avons participé à des campagnes d'échantillonnages communes, notamment en lien avec le suivi d'espèces invasives. Nous construirons avec eux un plan de valorisation de ces données portant sur de longues séries temporelles.

Livrables. Pour chaque site étudié, nous rendrons compte des espèces présentes (diversité spécifique). Nous comparerons ces données aux cours du temps pour un même site (cas des suivis sur plusieurs années), ou au sein du transect. Puis dans un second temps, nous contrasterons les résultats entre sites (sites non-restaurés, restaurés récemment ou à restauration plus ancienne). Enfin, dans un troisième temps nous produirons des analyses de l'efficacité des mesures de restauration en mettant l'accent sur les paramètres clés pour maintenir ou restaurer au mieux la diversité piscicole. Nos données de terrain sur la biodiversité seront partagées en temps réel avec les collègues du projet Apecosaone qui se concentrent sur la dimension biomasse de poisson.

AXE 2 : Capacité de résistance à la thermie des espèces natives et des espèces invasives

- Coordonnateur : FX Dechaume-Moncharmont
- Membres impliqués : Vincent Médoc, Loïc Teulier, Yann Voituron, Ludovic Guillard
- *Membre CDD financé sur le projet* : un doctorant.e (3 ans)

Cet axe porte sur des questions plus fondamentales que l'axe précédent puisqu'il vise à prédire l'effet de stress thermiques aigus et répétés chez les poissons. En dépit des rapides changements climatiques auxquels nous allons être exposés à brève échéance, cette question est encore largement inexplorée (Jørgensen et al. 2022). Or, les hydrosystèmes seront très sévèrement impactés par les chocs thermiques. La température de la masse d'eau varie fortement en fonction de la connectivité. Si la température est relativement stable dans le lit mineur du fait de l'homogénéisation par le courant, on enregistre des variations de température soudaines et de grandes amplitudes dans les îlots et plus encore dans les bras morts. Elles peuvent être dues à des pics de chaleur comme ceux que la région Bourgogne Franche-Comté a connu en 2022, ou à des refroidissements brutaux liés à des remontées de la nappe d'accompagnement. Ces variations de températures se ressentent dans toute la colonne d'eau et entraînent des chocs thermiques importants chez les vertébrés ectothermes que sont les poissons (Jørgensen et al. 2022). Il est donc essentiel d'anticiper les conséquences du dérèglement climatique sur l'écosystème Saône. Mais pour cela, notre approche dans cet axe est nettement plus réductionniste que dans l'axe 1. Nous ne pouvons pas facilement étudier la réponse des poissons *in natura*, en tout cas pas dans premier temps. Nous devons commencer les analyses en conditions contrôlées, au laboratoire. Mais nous espérons que ces résultats servent de références pour des prédictions de terrain.

Cet axe se ventile en trois questions.

Question 2.1. Quel est l'impact des stress thermiques sur les poissons natifs de la Saône ? Nous nous concentrons sur les coûts physiologiques, et les changements de prédation et de répartition spatiale qui en découlent.

Méthodologie 2.1. Nous souhaitons adopter une approche intégrative en mesurant cette réponse à différentes échelles. La première est la réponse physiologique immédiate qui permet de survivre à un stress thermique modéré mais qui est aussi très énergivore (Voituron et al. 2022). Cette dimension fait l'objet du projet HEATWAVES. C'est une dimension importante mais elle n'est pas suffisante pour dresser un bilan complet des risques. Nous la compléterons par des mesures à une échelle supérieure, celle de paramètres comportementaux (prédation, activité, répartition spatiale, choix des habitats).

Le succès écologique d'une espèce est largement déterminé par l'utilisation des ressources, en particulier par les interactions trophiques. L'impact trophique d'une espèce sera décrit au moyen de **mesures de réponse fonctionnelle** qui correspondent à la relation entre le taux de consommation des proies et la densité de proies disponibles (Médoc 2020). Cette dernière est une technique standardisée pour une évaluation rapide du potentiel de prédation, et plus largement, elle peut être utilisée en tant qu'indicateur de l'impact trophique d'une espèce (DeLong 2021). Nous avons une bonne expertise de ces mesures chez les poissons, notamment en réponse à des perturbations environnementales (Hanache et al. 2020, Dickey et al. 2021, Fernandez Declerck 2021). Concrètement, les tests de réponse fonctionnelle consistent à modéliser la variation du taux de consommation individuel de proies en fonction de la quantité initiale en proies disponibles. Le taux de consommation augmente avec la quantité de ressource. Chez les poissons, cette réponse est modélisée au moyen d'une équation non-linéaire à deux paramètres : le taux d'attaque a (pente initiale)

et le temps de manipulation des proies h (asymptote = $1/h$). Les expériences seront réalisées dans des aquariums (typiquement 50 L, 60 x 25 x 35 cm). Les individus à jeun depuis 24h auront chacun eu une phase d'acclimatation de 30 minutes dans leur aquarium expérimental. Ils recevront une certaine densité de proies, avec lesquelles ils ont été en présence pendant une phase d'observation d'une durée allant typiquement de 15 minutes à une heure. Cette durée sera ajustée pour chaque espèce au moyen de mesures préliminaires où les poissons devaient avoir assez de temps pour manger des proies à basses densités, mais pas assez pour les manger toutes à chaque fois (Li et al., 2017). Nous espérons mettre en évidence des différences de réponse fonctionnelle en fonction des régimes de température auxquels auront été exposés les poissons, températures stables (basses, intermédiaires, hautes) ou variables (régime stochastique). Cela nous renseignera sur les conséquences des pics de chaleurs sur l'impact trophique des espèces étudiées. Nous nous attendons à ce que le stress thermique et les coûts métaboliques qu'il entraîne augmentent fortement la pression de prédation par les poissons et donc alerte les écologues sur la possible déstabilisation des chaînes trophiques.

Notre projet a aussi pour objectif de quantifier les stratégies comportementales d'**évitement des températures extrêmes** par les poissons. La sélection par les animaux d'environnements offrant des conditions abiotiques compatibles avec leurs exigences biologiques est essentielle pour comprendre leur sélection d'habitat, leur tolérance aux facteurs de stress et leurs réponses aux changements environnementaux. Pour les animaux aquatiques, les plages environnementales préférées seront étudiées dans un dispositif appelé « *shuttle box* » (Christensen et al. 2021), où les individus peuvent choisir leur environnement ambiant en faisant la navette entre des chambres d'un mètre de diamètre, présentant des différences très contrôlées de température, et connectées entre elles. Cette mesure donne des informations différentes et complémentaires aux mesures physiologiques et trophiques évaluées précédemment. Ces dernières ne laissent pas le choix aux animaux de la température dans laquelle ils évoluaient. Avec ce protocole de « *shuttle box* », nous mesurerons la tolérance comportementale des espèces à des régimes thermiques variables. Notre objectif est d'identifier le stress thermique que les individus sont prêts à tolérer si on leur laisse le choix entre une chambre à température stable mais pauvre en nourriture et une chambre à température variables (régime stochastiques) mais plus riche en nourriture. Cette dimension comportementale (cognitive, donc très intégrative) n'est presque jamais évaluée dans les protocoles standards. Pourtant les poissons sont des animaux mobiles capables de fortes dispersion si les conditions écologiques ne leurs conviennent pas.

Nous avons cependant à cœur de travailler avec des **poissons prélevés en Saône** et dont la liste définitive sera discutée avec l'OFB et les fédérations de pêches. Nous avons déjà identifié plusieurs espèces natives et d'intérêt écologique, patrimonial ou piscicole, comme par exemple *Esox lucius* (Brochet), *Perca fluviatilis* (Perche), *Squalius cephalus* (Chevesne), *Abramis brama* (Brème), *Sander lucioperca* (Sandre), *Barbus barbus* (Barbeau), *Gymnocephalus cernua* (Grémille), *Barbus barbus* (Barbeau), *Cottus gobio* (Chabot commun), *Salaria fluviatilis* (Blennie fluviatile) ou des espèces menacées comme *Zingel asper* (Apron du Rhône), dont la conservation fait l'objet d'un PNA auquel est rattaché un chercheur du projet, Loïc Teulier.

Livrable 2.1. Pour chaque espèce de poisson, nous serons en mesure de calculer un score de sensibilité au stress thermique. Notons, qu'à l'heure actuelle ce type de données n'existe pas dans la littérature scientifique. Les seules informations disponibles concernent des optimums thermiques et des gammes de température [min-max]. Mais nous pensons que ces valeurs sont beaucoup trop optimistes et sous-estiment les risques : elles sont calculées dans des conditions irréalistes *in natura* en plaçant les poissons dans des conditions de températures stables auxquelles ils ont le temps de s'acclimater progressivement. Au contraire, nos tests évaluent la réponse des poissons à des chocs thermiques qui peuvent se révéler extrêmement délétères bien que se situant théoriquement dans la gamme de tolérance thermique (estimée en conditions stables) de l'espèce. Ces livrables par espèce seront échelonnés tout au long du projet, au fur et à mesure des analyses

Question 2.2. Quelles sont les **parties de la Saône les plus menacées** en termes de risque thermique pour les poissons ?

Méthodologie 2.2. Pour cette question, nous mettrons à profit les informations spatiales et les données de cartographie produites par l'équipe de Florentina Moatar dans le cadre du projet HEATWAVES. Une des sorties du projet HEATWAVES est précisément d'évaluer non plus seulement la température moyenne mais aussi la variance d'une cinquantaine de stations dont nous disposons de mesures au cours du temps. Ces données nous permettront de prédire les habitats les plus à risques espèces par espèces à partir des résultats obtenus dans la question 2.1.

Livrable 2.2. Notre objectif est de produire des cartes croisant les données biologiques (sensibilité au stress thermique) et les données de cartographie de la thermie en Saône. Ce livrable ne sera disponible qu'une fois les paramètres biologiques estimés (question 2.1).

Question 2.3. Les **espèces invasives sont-elles moins sensibles** que les espèces natives aux chocs thermiques ?

Méthodologie 2.3. Nous reprendrons le protocole décrit pour la question 2.1 en l'adaptant aux espèces invasives présentes dans le bassin de la Saône telles que *Pseudorasbora parva*, *Ameiurus melas* (poisson-chat), *Proterorhinus semilunaris* (Gobie de Kessler), et surtout *Neogobius melanostomus* (Gobie à tache noire) qui vient d'arriver en Saône (observation à Cendrecourt en 2019-2022 par l'OFB et notre équipe) et qui a déjà profondément déstabilisé les écosystèmes dans le bassin de la Meuse. Ce Gobie est originaire de la région Ponto-Caspienne et son écologie laisse penser qu'il a un métabolisme particulièrement résistant à un large spectre de paramètres physicochimiques. Nous nous attendons à une plus grande tolérance au stress thermique mais ce point reste à vérifier. Si de nombreux travaux présentent un étalement géographique et une remontée vers les pôles des espèces invasives avec la lente augmentation des températures, notamment pour les espèces en provenance des régions chaudes, très peu d'études explorent la tolérance à la stochasticité thermique. Or, il est possible qu'un syndrome de dispersion s'accompagne aussi d'une moins grande plasticité face à des variations rapides des conditions abiotiques.

Livrable 2.3. Pour chaque espèce de poisson invasif, nous évaluerons sa tolérance au stress thermique. L'objectif opérationnel est ici d'identifier les écosystèmes les plus à risques, ou les zones de la rivières (chenal, plats, berges) à échantillonner en priorité pour le suivi des populations. Ces résultats seront échelonnés tout au long du projet.

Durée du projet : 3 ans (septembre 2023 - août 2026)

Calendrier prévisionnel : un des déterminants du succès de ce projet repose sur le recrutement d'un.e étudiant.e en thèse, ce qui contraint à un démarrage tardif (automne 2023) et une durée de projet d'au moins 3 ans. Par ailleurs, trois stagiaires de Master appuieront le début projet dans la collecte et l'analyse des données.

	2023			2024			2025			2026		
Axe 1. Concertation avec l'EPTB, l'OFB et les fédérations de pêche pour l'identification des sites d'échantillonnage	■	■	■									
Axe 1. Collecte, analyses et partage des bases de données OFB et Apecosao				■	■	■				■	■	■
Axe 1. Capture et mesure de terrain				■	■	■				■	■	■
Axe 1. Rédaction des rapports							■	■	■			
Axe 2. Recrutement de l'étudiant.e en thèse	■	■	■									
Axe 2. Capture des poissons, en concertation avec l'OFB et les fédérations de pêche pour l'identification des sites d'échantillonnage				■	■	■				■	■	■
Axe 2. Mesures des éthologiques et écophysiologicals				■	■	■				■	■	■
Axe 2. Rédaction des rapports sur la sensibilité thermique des poissons, et établissement des cartes des risques				■	■	■				■	■	■

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alexander ME, Dick JTA, Weyl OLF, Robinson TB, Richardson DM (2014) Existing and emerging high impact invasive species are characterized by higher functional responses than natives. **Biology Letters** 10:20130946 <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2013.0946>
- Christensen EAF, Andersen LEJ, Bergsson H, Steffensen JF, Killen SS (2021) Shuttle-box systems for studying preferred environmental ranges by aquatic animals. **Conservation Physiology** 9 <http://dx.doi.org/10.1093/conphys/coab028>
- DeLong J (2021) *Predator ecology: evolutionary ecology of the functional response*. Oxford University Press, Oxford, UK
- Dickey JWE, Coughlan NE, Dick JTA, Médoc V, McCard M, Leavitt PR, Lacroix G, Fiorini S, Millot A, Cuthbert RN (2021) Breathing space: deoxygenation of aquatic environments can drive differential ecological impacts across biological invasion stages. **Biological Invasions** 23:2831–2847 <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-021-02542-3>
- Fahrig L, Arroyo-Rodríguez V, Bennett JR, Boucher-Lalonde V, Cazetta E, Currie DJ, Eigenbrod F, Ford AT, Harrison SP, Jaeger JAG, Koper N, Martin AE, Martin J-L, Metzger JP, Morrison P, Rhodes JR, Saunders DA, Simberloff D, Smith AC, Tischendorf L, Vellend M, Watling JI (2019) Is habitat fragmentation bad for biodiversity? **Biological Conservation** 230:179–186 <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2018.12.026>
- Fernandez Declerck M (2021) Comparaison des performances écologiques et physiologiques dans un contexte de pollution sonore de deux espèces de poisson d'eau douce, une native et une invasive : l'Apron du Rhône et le Gobie à tache noire. Master 2. Université Claude-Bernard Lyon 1, Lyon, France
- Jørgensen LB, Ørsted M, Malte H, Wang T, Overgaard J (2022) Extreme escalation of heat failure rates in ectotherms with global warming. **Nature** 611:93–98 <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-022-05334-4>
- Hanache P, Spataro T, Firmat C, Boyer N, Fonseca P, Médoc V (2020) Noise-induced reduction in the attack rate of a planktivorous freshwater fish revealed by functional response analysis. **Freshwater Biology** 65:75–85 <http://dx.doi.org/10.1111/fwb.13271>
- Li Y, Rall BC, Kalinkat G (2018) Experimental duration and predator satiation levels systematically affect functional response parameters. **Oikos** 127:590–598 <http://dx.doi.org/10.1111/oik.04479>
- Médoc V (2020) Implications éco-évolutives de la modulation des interactions trophiques. HDR, Université Jean Monnet, Saint-Etienne
- Reid AJ, Carlson AK, Creed IF, Eliason EJ, Gell PA, Johnson PTJ, Kidd KA, MacCormack TJ, Olden JD, Ormerod SJ, Smol JP, Taylor WW, Tockner K, Vermaire JC, Dudgeon D, Cooke SJ (2019) Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. **Biological Reviews** 94:849–873 <http://dx.doi.org/10.1111/brv.12480>
- Voituron Y, Roussel D, Teulier L, Vagner M, Ternon Q, Romestaing C, Dubillot E, Lefrançois C (2022) Warm acclimation increases mitochondrial efficiency in fish: a compensatory mechanism to reduce the demand for oxygen. **Physiological and Biochemical Zoology** 95:15–21 <http://dx.doi.org/10.1086/716904>