

## Fiche résumé

Titre du projet : Etude de l'impact du réchauffement climatique sur l'écologie et la physiologie des poissons des lacs alpins et péri-alpins : exemple d'une espèce sentinelle, l'omble chevalier *Salvelinus alpinus* (2015-2017).

Personnes responsables : (scientifique d'une équipe membre de la ZABR)

Emilien Lasne, UMR CARRETEL INRA/Université de Savoie, Thonon-les-Bains [emilien.lasne@thonon.inra.fr](mailto:emilien.lasne@thonon.inra.fr)

Equipes de recherche « ZABR » concernées : (équipe membre ou associée de la ZABR)

Martin Daufresne, IRSTEA UR Hydrobiologie

Jean Guillard, INRA UMR CARRETEL, Thonon les Bains

Yann Voituron, UCBL LEHNA Lyon

Autres partenaires : (préciser leur degré d'implication et leur accord)

- Recherche :
- Institutionnel

Thème de rattachement ZABR :

Changements climatiques et ressources

Thème de rattachement Agence de l'Eau :

Adaptation au changement climatique

Site ou Observatoire de rattachement ZABR:

Léman (SOERE GLACPE) + Sainte-Croix (site suivi par IRSTEA)+ Allos (site GIS lacs Sentinelles)

Finalités et attendus opérationnels (1/2p):

Le **changement climatique** constitue une des principales menaces pour les écosystèmes aquatiques dans les années futures. Les augmentations de température prévues sont supposées toucher plus rapidement et avec une plus grande intensité les lacs (Adrian, O'Reilly et al. 2009) et en particulier les **lacs alpins et péri-alpins** (Kajfež Bogataj 2007), renforçant les symptômes d'eutrophisation ou limitant l'effet des progrès réalisés dans l'amélioration de la qualité de l'eau (Moss, Kosten et al. 2011). Or, ces lacs fournissent de nombreux **services écologiques** (Amigues and Chevassus-au-Louis 2011) qui sont potentiellement remis en question. Dans ce contexte, **identifier et comprendre les effets du changement climatique** est une étape nécessaire pour permettre la prise de conscience du public et des politiques du caractère immédiat et concret du réchauffement, processus qui reste abstrait pour de nombreux citoyens. C'est donc un préalable indispensable à l'action politique pour la gestion du climat à plus grande échelle.

L'objectif général de ce projet est de **décrire la trajectoire des écosystèmes lacustres alpins et péri-alpins dans le contexte de réchauffement climatique en focalisant en particulier sur la composante "poissons"**. En effet, dans les lacs alpins et péri-alpins du Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, l'ichthyofaune joue un rôle prépondérant dans les services écologiques : elle occupe un poste

clé dans le **fonctionnement trophique** des lacs et alimente la pêche professionnelle et amateur, participant ainsi à l'**activité économique et culturelle locale**. Par ailleurs, avec des espèces d'eau froide en limite sud d'aire de répartition et des espèces eurypiques en limite altitudinale supérieure, les poissons contribuent à la **biodiversité** aux échelles locale et régionales. A l'heure actuelle, la plupart des travaux s'intéressant au rôle du changement climatique sur les poissons mettent en œuvre une approche communautaire et établissent des corrélations entre modifications de la composition et structure des peuplements et le réchauffement. Ces travaux se heurtent à la difficulté d'isoler les effets des différents facteurs de forçages ainsi que les interactions biotiques qui se combinent et qui rendent difficile la mise en avant d'un quelconque effet du réchauffement (Massol et al., 2007). Par ailleurs, assez peu d'études s'intéressent à **élucider les mécanismes sous-jacents** et **évaluer le potentiel d'adaptation des populations**.

Il s'agira dans ce projet :

1- de décrire les effets de la température sur les stades embryonnaires des poissons qui apparaissent comme les plus critiques dans le cycle de vie des espèces (Pankhurst and Munday 2011) au niveau de traits démographiques (survie embryonnaire) et morphologiques (taille, prévalence de malformations) qui sont des composantes de la valeur sélective (fitness). Par ailleurs, des paramètres physiologiques (activité métabolique, activité antioxydante) seront mesurés et mis en relation avec les autres traits afin de fournir un éclairage sur les mécanismes en jeu et évaluer dans quelle mesure l'augmentation de température, censée accroître l'activité métabolique, induit des coûts pour l'organisme. Ces coûts sont de deux types : ceux liés directement aux dégâts de l'activité oxydante et ceux associés à la réparation de ces dégâts (**→ description des effets et compréhension des mécanismes**)

2- de préciser le niveau d'adaptation des populations le long d'un gradient thermique et d'évaluer leur potentiel adaptatif, défini comme la capacité d'une population à répondre aux changements environnementaux en modifiant son expression phénotypique (plasticité, à l'échelle individuelle) et/ou en modifiant sa composition génétique (adaptation évolutive, à l'échelle de plusieurs générations). Il peut s'évaluer notamment par le biais d'approches expérimentales de type common garden (Hoffmann and Sgro 2011, Crozier and Hutchings 2014)(**→ prédiction des effets du CC et gestion des populations**),

3- de proposer, en fonction des résultats issus des deux points précédents, un protocole permettant de tracer la **trajectoire des écosystèmes lacustres dans le bassin RMC** en développant des indicateurs de vulnérabilité des populations de poissons au changement climatique, par exemple par biais d'un suivi synchronique (comparaison de différents sites) et diachronique (modification au cours du temps observées à l'échelle d'un site) de l'évolution des populations ou des conditions du milieu (**→ mise en évidence et communication sur les effets du CC**).

Si ces approches ne sont pas envisageables pour l'ensemble des populations de poissons lacustres, il serait intéressant en revanche de se focaliser sur un modèle particulièrement sensible au réchauffement et qui pourrait ainsi être utilisé comme **sentinelle du changement climatique**. Parmi les différentes espèces de poisson des lacs alpins et péri-alpins du Bassin RMC, l'omble chevalier *Salvelinus alpinus* est singulier à plus d'un titre. C'est l'espèce d'eau douce qui possède la limite de distribution la plus septentrionale avec des populations présentes jusqu'à plus de 80° de latitude Nord. Elle possède des exigences très strictes en termes de **température** et d'**oxygénation** des eaux (Johnson 1980). En France, il n'existe que deux populations natives d'omble chevalier - celles du Léman et du lac du Bourget - qui sont considérées comme des reliques de la dernière ère glaciaire. Le Bassin RMC constitue ainsi la limite méridionale de distribution naturelle de l'espèce mais elle abrite aussi de nombreuses populations introduites tout le long du gradient altitudinal, de quelques centaines de mètres d'altitude jusqu'à plus de 2000 m. Actuellement, dans le Léman, les conditions thermiques au niveau des frayères sont proches du seuil supérieur de fonctionnalité de 8°C (Rubin and Buttiker 1992). Sans que les causes soient identifiées, les captures d'omble sont en baisse dans le Léman, et des études suggèrent que la reproduction naturelle est peu fonctionnelle (Caudron, Lasne et al. 2014). Comme cela est souligné à juste titre dans le bilan Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse sur les connaissances concernant les impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins RMC (Fabre 2012), dans le contexte actuel de réchauffement climatique, il est très probable que l'augmentation des températures ou une modification des dynamiques de brassage dans les lacs du Bassin RMC (Perroud and Goyette 2010) pourraient entraîner le franchissement de ce seuil et l'extinction de populations. Ces populations semblent donc être de bons candidats à la fonction de sentinelles du changement climatique pour appréhender la vulnérabilité des écosystèmes. Par ailleurs, outre sa valeur patrimoniale et socio-économique, l'omble chevalier est une **espèce emblématique** de la qualité des eaux des lacs alpins et péri-alpins et serait un excellent **vecteur de sensibilisation** du public et des politiques à la question de l'impact du changement climatique. Enfin, d'un point de vue méthodologique, les protocoles expérimentaux de production et d'élevage, sur l'ensemble de leur cycles de vie, de salmonidés et en particulier d'omble chevalier sont bien maîtrisés.

### Objectifs et méthodologie (1p) :

Nous analyserons le rôle de la température sur les stades embryonnaires d'omble chevalier, stades qui apparaissent comme les plus critiques dans le cycle de vie de cette espèce. Globalement, si on sait que les besoins physiologiques de l'embryon augmentent avec la température, on ne connaît pas les mécanismes sous-jacents qu'il s'agira donc de préciser. De plus, un autre facteur clé sera étudié : la concentration en oxygène dissous, qui se raréfie dans les couches profondes avec l'eutrophisation mais également en l'absence de brassage hivernal (conséquence des hivers doux et par effet physique lorsque la température augmente). Nous caractériserons également le potentiel adaptatif des populations, c'est-à-dire leur capacité à mettre en place des réponses adaptatives pour faire face aux nouveaux contextes thermiques et se maintenir. Ce travail permettra d'une part d'identifier les seuils de sensibilité des populations et de proposer un outil pour visualiser et communiquer sur les effets du changement climatique.

Afin de rendre compte de la diversité des habitats utilisés par l'espèce dans le bassin RMC et évaluer la capacité à mettre en place des adaptations locales aux conditions de température, les populations de trois lacs situées le long d'un gradient thermique seront étudiées (Fig. 1). La première est celle du **Léman** (SOERE Grands lacs péri-alpins). Etant donné l'absence d'autres sites lacustres ZABR hébergeant des ombles, d'autres lacs ont été choisis d'une part pour leur caractéristiques biologiques et leur position le long du gradient thermique mais également parce qu'ils sont étudiés dans le cadre d'autres suivis et que l'on dispose déjà d'un certain nombre de connaissances à leur sujet. La deuxième population choisie est celle du **lac de Sainte-Croix**. Ce lac est situé à relativement basse altitude en région méditerranéenne et les ombles y sont exposés à des conditions thermiques probablement plus contraignantes que dans le lac Léman. La troisième population est celle du **lac d'Allos**, plus grand lac d'altitude d'Europe situé à 2220m d'altitude, où les ombles sont exposés à des conditions plus froides que dans les deux autres lacs. Par ailleurs, ces deux populations présentent la particularité d'avoir été fondées à partir d'individus issus du Léman dans les années 1990 et 1920, respectivement, ce qui implique qu'ils ont a priori à la base le même patrimoine génétique.

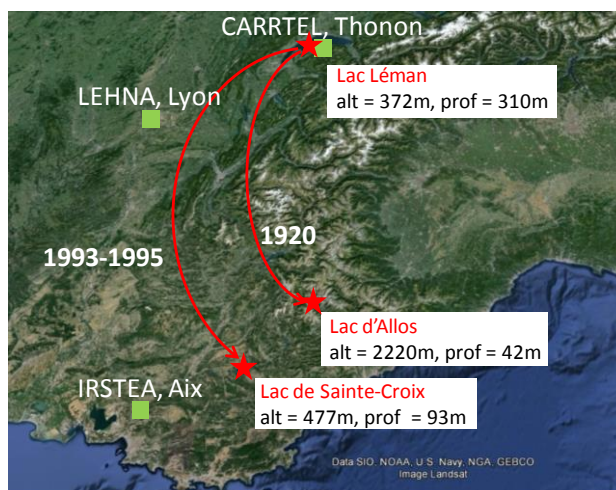


Figure 1: Localisation des sites d'étude et des équipes de recherche partenaires. Les flèches indiquent les dates de fondation des population d'omble dans les lacs de Sainte-Croix et d'Allos à partir d'individus du Léman.

Le travail proposé se décline donc en trois approches complémentaires se déroulant sur 3 ans :

1. Caractérisation des conditions de reproduction : approche *in situ* (2015-2017)

Dans une étape préliminaire, les données de température disponibles aux profondeurs où l'omble est susceptible de se reproduire pour les différents lacs seront compilées et analysées afin d'avoir une première idée des conditions de reproduction et de leur variabilité temporelle. Il s'agira ensuite d'analyser, **sur le terrain**, les conditions de reproduction des ombles en installant des sondes de température et d'oxygène au niveau des frayères dans la partie superficielle des sédiments pour rendre compte des conditions de développement des embryons. L'utilisation de ROV (robots sous-marins) ou de caméra subaquatique ou bien la mobilisation de plongeurs permettra de localiser les frayères pour y mettre en place les sondes à l'interface eau-sédiment dans laquelle les œufs se développent. Ces sondes seront déployées pendant une période suffisamment longue (avant, pendant et après la reproduction) pour appréhender les variations temporelles de ces paramètres.

2. Evaluation de l'impact des conditions physico-chimiques (et de leur modification) sur l'omble chevalier : approche *ex situ* (2015-2016)

Il s'agira d'évaluer en **conditions expérimentales** la réponse d'individus issus des populations du Léman, du lac de Sainte-Croix et du lac d'Allos face au changement climatique. Des géniteurs sauvages seront capturés dans ces différentes populations pour réaliser des fécondations artificielles dans les installations expérimentales de l'INRA de Thonon. Des expériences de type "common garden" seront réalisées : les embryons des différentes origines seront soumis à diverses conditions environnementales réalistes de température et d'oxygène dissous et leur réponse sera évaluée à différents niveaux en combinant deux disciplines : l'écologie évolutive et la physiologie. Les installations expérimentales permettent de tester 2 températures simultanément, par exemple 5°C, qui correspond à la température optimale théorique moyenne, et 9°C qui se situe au-delà des conditions optimales théoriques (Guillard, Gillet et al. 1992).

2.1. Développement embryonnaire

Différents traits caractérisant le développement embryonnaire seront mesurés : la survie, la durée de développement et la taille aux différents stades (éclosion, résorption).

2.2. Métabolisme individuel/cellulaire

La température agissant sur l'activité métabolique, il s'agira de mesurer la réponse métabolique (consommation d'oxygène à l'échelle individuelle et cellulaire) des différents stades (embryon et alevin).

### 2.3. Stress oxydant

L'activité métabolique accrue attendue sous conditions de stress thermique entraîne la production de radicaux libre toxiques (ROS). Si les ROS ont des effets négatifs sur les organismes, leur élimination a également un coût. Les compromis entre coût indirects (maintenance) et coûts direct (dégâts infligés) seront étudiés.

### 3. Proposition d'une méthodologie pour évaluer la trajectoire de l'omble dans les écosystèmes lacustres dans le bassin RMC dans le cadre du changement climatique (2017)

En intégrant les résultats issus des points 1 et 2 (axe ZABR "**comprendre**"), il sera possible d'identifier des seuils critiques au-delà desquels la fonctionnalité de la reproduction n'est plus assurée. Le suivi des conditions de température et d'oxygène, dans un réseau de sites le long du gradient thermique (les trois lacs étudiés ici, mais possiblement d'autres), permettra de produire des cartes de vulnérabilité actualisables et rendant compte de l'évolution dans le temps et dans l'espace des conditions de reproduction de l'omble (en se basant uniquement sur le critère thermique). Cette méthodologie aura donc pour objectif de visualiser et communiquer sur les effets du changement climatique (axe ZABR "**agir**").

#### **Rappels**

**Tout projet ZABR doit répondre à 5 critères** : être pluridisciplinaire, entrer dans les problématiques scientifiques de la ZABR, impliquer au moins 2 équipes du GIS ZABR, s'appliquer sur un site ou un observatoire de la ZABR, provenir d'équipes ayant une production scientifique internationale garantissant la valorisation future du travail de recherche. Tous les renseignements sont disponibles sur le site internet de la ZABR. <http://www.zabr.org>

Remarque : le critère de site ou d'observatoire peut être levé s'il est démontré : soit que l'action est en lien avec des travaux en cours sur un site ou un observatoire de la ZABR (ex : test d'un outil sur un autre secteur), soit si l'action permet une analyse comparative avec les travaux réalisés sur les sites et observatoires et nécessite de passer à l'échelle du bassin versant du Rhône.

## Références

- Adrian, R., et al. (2009). "Lakes as sentinels of climate change." Limnology and Oceanography **54**(6): 2283-2297.
- Amigues, J. P. and B. Chevassus-au-Louis (2011). Evaluer les services écologiques des milieux aquatiques: enjeux scientifiques, politiques et opérationnels, Onema.
- Caudron, A., et al. (2014). "Thirty years of reoligotrophication do not contribute to restore self-sustaining fisheries of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in Lake Geneva." Fisheries Research **154**(0): 165-171.
- Crozier, L. G. and J. A. Hutchings (2014). "Plastic and evolutionary responses to climate change in fish." Evolutionary Applications **7**(1): 68-87.
- Fabre, J. (2012). Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse : bilan des connaissances, Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse: 65 p.
- Guillard, J., et al. (1992). "MAIN CHARACTERISTICS OF THE ARCTIC CHARR BREEDING (*SALVELINUS-ALPINUS* L) IN FRESH-WATER." Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture(325): 47-68.  
The Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. is a cold water salmonidae. Its physiology and biology being different from the other salmonidae species, raising techniques are not the same. The main research results about its breeding in fresh water are reviewed in this paper, from the fecundation to the production of adult fish for trade.
- Hoffmann, A. A. and C. M. Sgro (2011). "Climate change and evolutionary adaptation." Nature **470**(7335): 479-485.
- Johnson, L. (1980). The Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. Charrs: Salmonid fishes of the genus *Salvelinus*. E. K. Balon. The Hague, Dr. W. Junk Publishers.: 15-98.
- Kajfež Bogataj, L. (2007). How will the Alps respond to climate change? Scenarios for the future of Alpine water. The water balance of the Alps: What do we need to protect the water resources of the Alps?, Innsbruck University, 28-29 September 2006, University Press.
- Moss, B., et al. (2011). "Allied attack: climate change and eutrophication." Inland Waters **1**(2): 101-105.
- Pankhurst, N. W. and P. L. Munday (2011). "Effects of climate change on fish reproduction and early life history stages." Marine and Freshwater Research **62**(9).
- Perroud, M. and S. Goyette (2010). "Impact of warmer climate on Lake Geneva water-temperature profiles." Boreal Environment Research **15**(2): 255-278.
- Rubin, J. F. and B. Buttiker (1992). "The spawning grounds of the Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), in Lake Geneva." Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture(325): 69-82.