

**PROJET D'ALLOCATION DE RECHERCHE DE L'ED SISEO**  
*Année universitaire 2014/2015*  
**PROJET DE THESE**

<p><b>1. LABORATOIRE</b></p> <p>Nom ou sigle : <b>UMR CARTEL</b> Statut : <b>UMR Uds - INRA</b></p>	<p><b>2. DIRECTION DE THÈSE</b></p> <p>Directeur de thèse (HDR) : <b>Jean Guillard</b> Codirecteurs : <b>Orlane Anneville – Jérémy Lobry</b></p>
<p><b>Domaine de compétences de l'ED SISEO :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Environnement <input checked="" type="checkbox"/></li> <li>- Organisations <input type="checkbox"/></li> <li>- Systèmes <input type="checkbox"/></li> </ul>	<p><b>Collaborations:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IRSTEA, UR EPBX, Bordeaux</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>3. SUJET DE THÈSE</b></p> <p><b>Titre : Impacts des changements globaux et de la pêche sur la structure trophique des écosystèmes lacustres : approche par modélisation écosystémique.</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>4. RESUME</b></p> <p>Les lacs péri-alpins sont des écosystèmes complexes qui assurent de nombreux services écosystémiques dont la valeur économique est fortement liée à leur fonctionnement et qualité écologique. Or ces deux caractéristiques sont particulièrement influencées par le changement global, conjuguant à la fois des pressions d'origine naturelle et anthropique (climat, concentrations en phosphore, pêche, ...). Afin de comprendre les réponses de ces écosystèmes aux pressions conjuguées des activités humaines et des changements environnementaux, il est nécessaire de développer une double approche portant à la fois sur (i) l'analyse de la structure des communautés (diversité taxonomique, abondance des populations, identification de groupes fonctionnels) et (ii) l'analyse de processus fonctionnels (interactions biotiques, importance relative des facteurs de régulations, flux et transferts trophiques).</p> <p>La modélisation de la structure des réseaux trophiques et la quantification des flux et transferts trophiques entre compartiments est un outil pertinent permettant d'appréhender cette double perspective. Ce sujet de thèse propose donc de décrire la structure des réseaux trophiques de 3 lacs péri-alpins (Léman, lacs du Bourget et d'Annecy) qui ont connu des trajectoires d'eutrophisation contrastées, grâce à l'ajustement d'un modèle Ecopath, puis de modéliser l'évolution de ces systèmes en réponse à la variation de plusieurs facteurs de forçages, en utilisant Ecosim et EcoTroph.</p> <p><i>In fine</i>, ce travail de thèse permettra de :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) caractériser le fonctionnement trophique de ces écosystèmes,</li> <li>(2) appréhender les évolutions selon les différents facteurs de forçage, en particulier le changement climatique mais aussi les modifications de teneur en phosphore (réoligotrophisation),</li> <li>(3) identifier l'évolution du mode de régulation (top-down, bottom-up) des communautés,</li> <li>(4) évaluer l'impact de différents modes de gestion halieutique dans ces contextes d'évolutions des écosystèmes.</li> </ol> <p>Ce travail servira de support à une meilleure caractérisation des changements observés et des évolutions possibles des 3 lacs péri-alpins du SOERE GLACPE porté par l'UMR CARTEL. Il pourra ainsi contribuer à la réflexion sur les futurs plans de gestion visant à assurer une exploitation durable de ces écosystèmes et atteindre le bon état écologique préconisé par la DCE. Ce projet permet donc d'assurer une demande à la fois scientifique mais aussi au service de la gestion de ces milieux, dans une approche d'écologie translationnelle.</p>	

## 5. PROJET DE RECHERCHE DETAILLE

### Contexte et état de l'art

**Les services écologiques rendus par les lacs sont multiples** (Millenium Ecosystem Assessment, 2005 ; Amigues et Chevassus-au-Louis, 2011) et représentatifs du rôle général des écosystèmes aquatiques : réservoirs d'eau, de ressources naturelles, sites de conservation de la biodiversité, zone de passages pour les migrateurs, lieux récréatifs mais aussi réceptacles « naturels » d'eaux usées et d'eaux de pluie ruisselant sur des couvertures pédologiques plus ou moins anthropisées. Parce que ces usages sont étroitement liés à la qualité de l'eau et au fonctionnement de l'écosystème, il est devenu impératif de suivre certains paramètres de ces milieux dans le cadre de suivis (Directive Cadre Eau) afin d'évaluer les changements et de préserver leur intégrité écologique. La gestion de ces écosystèmes est ainsi un **enjeu majeur de développement**. A l'échelle mondiale, nombre de lacs ont vu leur entrée dans le 20<sup>ème</sup> siècle s'accompagner d'une dégradation de la qualité des eaux en raison d'apports importants en nutriments. Cette dégradation s'est manifestée par des proliférations d'algues parfois toxiques ou par la baisse du recrutement de certaines espèces piscicoles à forte valeur commerciale et patrimoniale. Divers programmes de gestion et de surveillance ont permis de remédier à cette pollution et à l'échelle de l'Europe, beaucoup de lacs sont maintenant dans une phase de ré-oligotrophisation (Jeppesen et al., 2005). L'augmentation, puis la baisse de la charge en phosphore représente la pression anthropique majeure observée depuis le milieu du 20<sup>ème</sup> siècle pour les grands lacs péri-alpins par ailleurs soumis à d'autres types de pressions. Ainsi, et en particulier, l'ichtyofaune de ces lacs est soumise à une intense pression générée par la gestion de la ressource halieutique qui consiste d'une part en un effort de pêche important caractérisé par une diversité remarquable des engins et des espèces cibles et d'autre part en un alevinage. L'impact de ces pratiques sur les communautés piscicoles est l'objet de nombreuses études, car les populations de poissons peuvent contribuer par effet de cascade à modifier l'ensemble de l'écosystème et son fonctionnement (Lazzaro, 2009 ; Mehner, 2010). Parallèlement à ces forçages d'origines anthropique, plusieurs travaux mettent aujourd'hui en évidence un réchauffement des eaux des systèmes aquatiques (Dokulil et al., 2006). Dans ce contexte de changement climatique (Beniston, 2006), les spécialistes prévoient pour les lacs péri-alpins une reprise des accumulations algales, notamment en automne et un accroissement des épisodes de désoxygénation des fonds (Kipfer et Livingstone, 2008), qui vont impacter les populations de poissons et la qualité des eaux, et engendrer des ajustements en termes de dynamiques annuelles qui, par effet de cascade, modifient le fonctionnement de certaines populations (Stenseth et al., 2002 ; Anneville et al., 2009). Ces ajustements vont eux-mêmes impacter l'activité de pêche. Se pose ainsi la question des effets combinés du changement global (climat, eutrophisation) et de la pêche sur les écosystèmes halieutiques lacustres.

C'est dans ce contexte de forçages d'origine climatique et anthropique (température, concentrations en phosphore, pêche, ...) que se situe ce sujet de thèse. **La question posée est : Comment les écosystèmes et singulièrement, les communautés de poissons, soumis à ces pressions, et dans certains cas à des pêcheries intensives, vont réagir à ces facteurs de forçage, qui peuvent en partie remettre en question la restauration en cours de la qualité des eaux dans nos écosystèmes lacustres modèles** (Moss et al., 2011)? Divers travaux proposent déjà des hypothèses pour expliquer les changements observés à l'échelle des communautés phytoplanctoniques, zooplanctoniques et piscicoles. La plupart de ces travaux se basent sur l'analyse de données récoltées dans le cadre de suivis à long-termes. Ces études consistent essentiellement à analyser la structure des communautés dans le but d'inférer des hypothèses sur les processus fonctionnels (modes de régulations,...) expliquant les changements observés et de construire des modèles conceptuels de l'impact des changements globaux sur les écosystèmes aquatiques. Or, afin de bien appréhender l'impact conjugué des changements globaux sur les écosystèmes aquatiques, il est nécessaire de développer des approches combinant l'analyse des structures des communautés et l'analyse des processus fonctionnels (voir les travaux sur la relation entre biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes : Loreau et al., 2001 ; Loreau et al., 2002 ; Naeem et al. 2009 et plus particulièrement Patricio et al, 2004 pour les questions d'eutrophisation). L'analyse des réseaux trophiques fournit un cadre pertinent pour aborder ces deux échelles de façon simultanée dans une approche de type écosystémique (cf. par exemple Livingstone, 2002). En particulier, les outils de modélisation de réseau trophique de type EwE (Ecopath with Ecosim – Christensen et Pauly, 1992 ; Christensen et Walters, 2004) seront utilisés dans le cadre de cette thèse. Ils permettent (1) de décrire la structure trophique des écosystèmes et les propriétés écologiques des réseaux (Ecopath) et simuler l'impact de scénarios de gestion des pêches (EcoTroph) ou les évolutions temporelles en tenant compte des effets de la pêche et du changement climatique (Ecosim). Ces modèles, largement développés dans le domaine marin, pour répondre notamment à des questions halieutiques, sont peu utilisés en limnologie.

### **Objectifs de la thèse**

Dans le cadre de cette thèse, ce type d'approche sera mis en œuvre afin de caractériser l'évolution des 3 lacs péri-alpins qui sont au centre du SOERE GLACPE (le Léman, les lacs du Bourget et d'Anney) et qui ont connu des trajectoires d'eutrophisation contrastées. Ces 3 lacs font l'objet d'un suivi depuis les années 1960 pour le Léman et plus récent pour les lacs d'Anney et du Bourget. Il s'agira donc d'utiliser ces jeux de données et les connaissances acquises sur ces écosystèmes (en termes de biologie des espèces et des communautés) pour calibrer et utiliser les modèles Ecopath, EcoTroph et Ecosim sur ces lacs. On souhaite ainsi décrire et expliquer les changements à long-terme dans l'abondance des populations, la structure et le fonctionnement des réseaux trophiques dans ces 3 lacs qui ont expérimenté des trajectoires écologiques différentes, notamment en termes d'eutrophisation. L'étude comparée de ces 3 écosystèmes nous permettra d'appréhender différents scénarios d'évolution de la qualité de l'eau et de gestion halieutique en tenant compte des interactions entre ces facteurs de forçage. En particulier, nous testerons différentes hypothèses de fonctionnement écologiques (ex . en raison de températures plus élevées et d'un meilleur match entre larves de corégones et zooplancton, la régulation de la population du corégone ne passe plus par des mécanismes densité-dépendants ; les populations de perchettes sont soumises à des facteurs de régulation importants (parasitisme), comment la gestion halieutique (qui diffère entre ces 3 écosystèmes) impacte les ressources disponibles ; etc... ) et analyserons différents scénarios prospectifs de restauration et de gestion. Il s'agira donc de :

- Décrire et évaluer la structure trophique des trois écosystèmes lacustres en utilisant Ecopath.
- Etablir les changements dans les abondances et les interactions trophiques au cours du temps en utilisant Ecosim.
- Comparer l'évolution de la structure des réseaux trophiques et du fonctionnement des 3 lacs péri-alpins étudiés qui bien que contrastés en terme d'états trophiques, sont tous les trois soumis à une forte pression de pêche et au changement climatique.
- Tester des scénarios de gestion piscicole dans un contexte de changement global et de réoligotrophisation (EcoTroph et Ecosim).

### **Retombées potentielles pour la discipline :**

Ce projet de thèse fournira une analyse intégrative pour les lacs péri-alpins, des changements observés au sein des communautés planctoniques et piscicoles. **Il s'agit d'un travail innovant et original sur la description et l'évolution des réseaux trophiques dans un milieu lacustre sur le long-terme dans un cadre de changement global.** Ce projet permettra de renforcer les objectifs scientifiques et opérationnels du SOERE et de l'UMR CARTEL et contribuera à la valorisation scientifique des suivis réalisés dans les 3 lacs péri-alpins. Ce projet aura également des retombées opérationnelles pour tous les acteurs de la pêche et les gestionnaires de ces trois lacs.

### **Originalité du projet :**

Si les modèles Ecopath et Ecosim ont été très utilisés dans les domaines marins et côtiers pour notamment mieux appréhender le fonctionnement trophique et le rôle des différentes composantes biologiques, peu d'études ont été menées sur les milieux lacustres, en particulier sur les lacs français. L'originalité du projet réside également dans le fait d'intégrer l'ensemble du réseau trophique, en prenant en compte sa structure et les flux de matière, dans un processus évolutif à long-terme.

### **Etape et faisabilité du projet, partenariat :**

Ce projet se fonde sur une collaboration entre des scientifiques de l'UMR CARTEL et d'une unité IRSTEA de Bordeaux (EPBX - "Ecosystèmes Estuariens et Poissons Migrateurs Amphihalins"- Jérémy Lobry). Les premiers apporteront les connaissances nécessaires relatives au fonctionnement des écosystèmes lacustres, à la biologie et l'écologie des espèces et des communautés. Ils entretiennent également d'étroites relations avec les gestionnaires des 3 lacs (membres des Comités Scientifiques de ces lacs, participations aux suivis) et ont réalisé de nombreux travaux sur la réponse des communautés pélagiques (plancton et poissons) aux changements globaux (cf Anneville et al., 2009, 2010 ; Guillard et al., 2006 ; Molinero et al., 2007 ; Sotton et al., 2011). Ils pourront ainsi apporter un avis sur les scénarios à tester et la pertinence des sorties des modèles. J. Lobry est modélisateur, son activité de recherche porte sur les systèmes aquatiques côtiers. Il interviendra donc pour apporter son expertise au niveau de la structuration et la calibration des modèles ainsi que de l'interprétation écologique des résultats. Ce partenariat entre écologistes, biologistes et modélisateur est nécessaire à la faisabilité du projet qui s'inscrit dans la continuité d'un partenariat entre les 2 équipes (co-encadrement d'un Master2). Le travail actuel consiste à revisiter un modèle Ecopath développé sur le Lac d'Anney en prenant en compte de nouvelles données sur les différents compartiments du système, en particulier le stock de perchettes, afin de mieux caractériser le lien entre le statut trophique du lac et la pêche.

#### Références :

- Amigues, J. P. B. Chevassus-au-Louis. 2011. Evaluer les services écologiques des milieux aquatiques: enjeux scientifiques, politiques et opérationnels. Onema.
- Anneville O., Molinero J.C., Souissi S., et Gerdeaux D. (2010) Seasonal and interannual variability of cladoceran communities in two peri-alpine lakes: uncoupled response to the 2003 heat wave. *Journal of Plankton Research*, 32, 913-925.
- Anneville O., Souissi S., Molinero J.C., Gerdeaux D., 2009. Influences of human activity and climate on the stock-recruitment dynamics of whitefish, *Coregonus lavaretus*, in Lake Geneva. *Fish. Manag. Ecol.*, 16, 6: 492-500.
- Beniston M., 2006. Mountain weather and climate: a general overview and focus on climatic change in the Alps. *Hydrob.*, 562: 3-16.
- Christensen, V. & Pauly, D., 1992. ECOPATH II - a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling* 61: 169-185.
- Christensen, V. & Walters, C.J., 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. *Ecological Modelling* 172: 109-139.
- Dokulil M., Jagsch T.A., George G.D, Anneville O., Jankowski T., Wahl B., Lenhart B., Blenckner T., Teubner K., 2006. Twenty years of spatially coherent deepwater warming in lakes across Europe related to the North Atlantic Oscillation. *Limnol. Oceanogr.*, 51(6): 2787-2793.
- Guillard J., Perga M.-E., Colon M., Angeli N., 2006. Hydroacoustic assessment of young-of-year perch, *Perca fluviatilis*, population dynamics in an oligotrophic lake (Lake Annecy, France), *Fisheries Management Ecology*, 13, 319-327.
- Jeppesen E, et al. 2005. Lakes responses to reduced nutrient loading – an analysis of contemporary long term data from 35 case studies. *Fresh. Biol.*, 50:1747-1771.
- Kipfer, R., Livingstone, D.M., 2008. Ressources en eau et changement climatique. *EAWAG NEWS* 65f, 8-10
- Loreau M. et al., 2001. Ecology Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science* 294: 804-808.
- Lazzaro, X., 2009. Rôle structurant des poissons filtreurs omnivores sur la dynamique des communautés planctoniques et les efflorescences dans les lacs tropicaux peu profonds. HDR Univ. Pierre et Marie Curie – Paris 6, 115p.
- Livingston, R.J., 2002. Trophic organization in coastal systems. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 412 pp.
- Loreau, M., Naeem, S. & Inchausti, P. (Eds), 2002. Biodiversity and ecosystem functioning: synthesis and perspectives. Oxford University Press, New York, 312 pp.
- Mehner, T. 2010. No empirical evidence for community-wide top-down control of prey fish density and size by fish predators in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 55(1): 203-213.
- Millenium Assessment 2005. Ecosystems and human well-being: Wetland and Water synthesis, 2005.
- Molinero J.C., Anneville O., Souissi S., Lainé L. et Gerdeaux D. (2007) Decadal changes in water temperature and ecological time-series in Lake Geneva, Europe - relationship to subtropical Atlantic climate variability. *Climate Research*, 34, 15-23.
- Moss B, Kosten S, et al. (2011) Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland Waters* 1, 101-105.
- Naeem, S., Bunker, D., Loreau, M., Hector, A. & Perring, C. (Eds), 2009. Biodiversity, Ecosystem functioning and Human wellbeing. An ecological and economic perspective. Oxford University Press, 356 pp.
- Patricio, J., Ulanowicz, R., Pardal, M.A. & Marques, J.C., 2004. Ascendency as an ecological indicator: a case study of estuarine pulse eutrophication. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 60: 23-35.
- Sotton B., Anneville O., Cadel-Six S., Domaizon I., Krys S., Guillard J., 2011. Spatial match between *Planktothrix rubescens* and whitefish in a mesotrophic peri-alpine lake: evidence of toxins accumulation. *Harmful Algae*, 10, 749-758.
- Stenseth N. C., Myrsetrud A., Ottersen G., Hurrell J. W., Chan K.-S., Lima M., 2002. Ecological effects of climate fluctuations. *Science* 297: 1292-1296.

**6. CANDIDAT RECHERCHE :** Le candidat devra avoir une double compétence, à savoir 1) de solides connaissances en écologie-biologie, avec une spécialisation halieutique si possible et 2) avoir des notions de modélisation.

**7. FINANCEMENT DE LA THESE :** Le contrat doctoral fixe une rémunération minimale, indexée sur l'évolution des rémunérations de la fonction publique : depuis le 1er juillet 2010, elle s'élève à **1684,73 euros bruts mensuels** pour une activité de recherche seule et **2024,70 euros bruts** en cas d'activités complémentaires. Elle peut être augmentée au-delà du montant plancher (<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid20185/doctorat.html>).

#### 8. CONTACTS :

Guillard Jean - tél : (33) 0450267851 - Email : jean.guillard@thonon.inra.fr / Anneville Orlane – tél : (33) 0450267804 – Email : orlane.anneville@thonon.inra.fr / Lobry Jeremy – tél : (33) 0557890832 – Email : jeremy.lobry@irstea.fr