

Thème « Changement Climatique-ressources »

CCR

Bilan 2014-2017

Perspectives 2018-2022

Bilan CCR 2014-2017

Les résultats marquants du thème « Changement Climatique et Ressources » pour la période 2014-2017 s'inscrivent dans 3 grandes questions qui structurent ce thème, avec le but de déterminer (1) comment les séries de données à long-terme et les reconstructions paléoenvironnementales permettent de comprendre et prédire les réponses des systèmes aquatiques continentaux au changement climatique ; (2) comment les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines peuvent permettre de tamponner les impacts du changement climatique et des perturbations locales sur les ressources en eau et la biodiversité ; et (3) comment les effets du changement climatique impactent les ressources (eau, biodiversité) ainsi que le fonctionnement et les capacités de résilience des écosystèmes aquatiques continentaux.

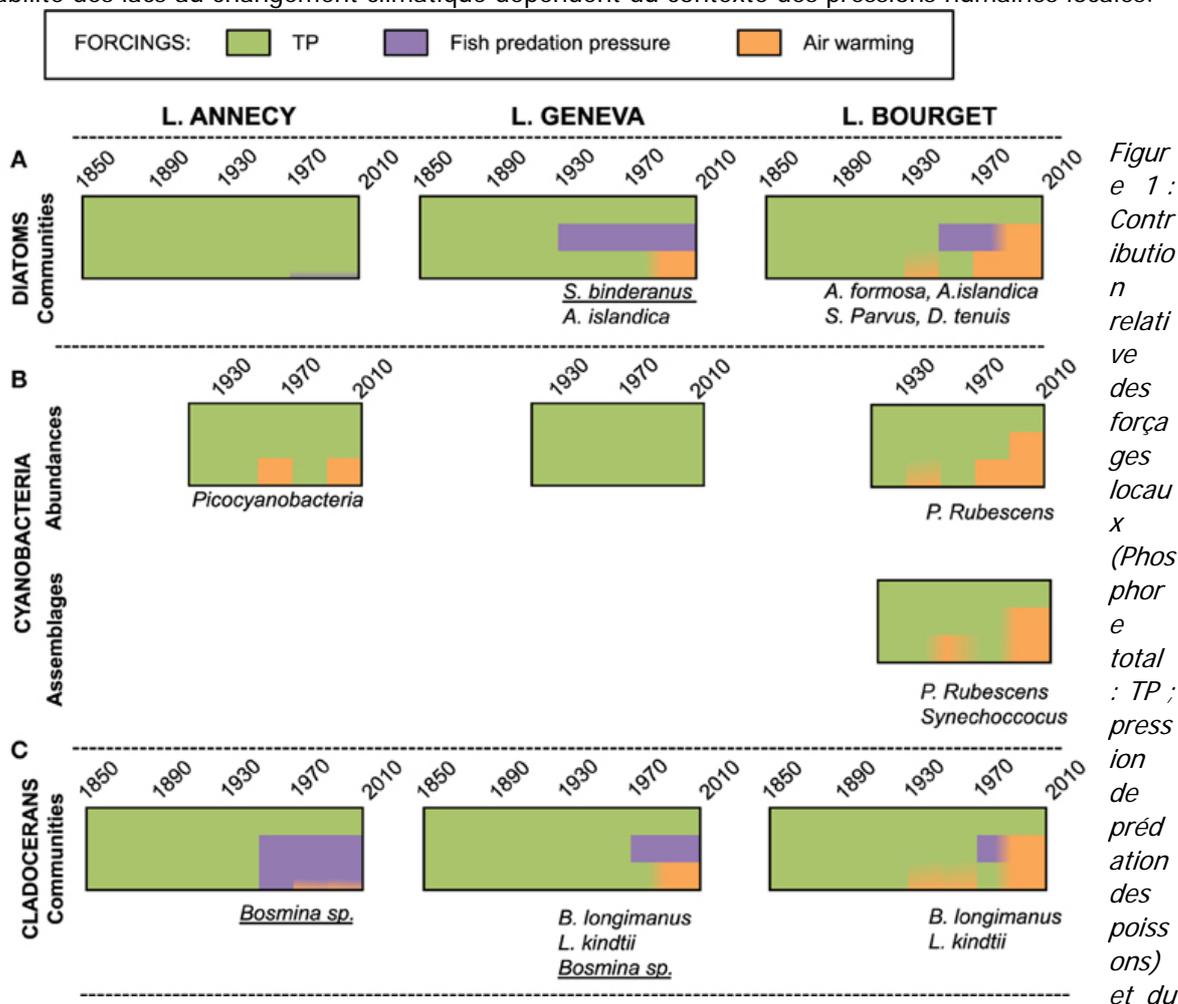
1. Comment les séries de données de différentes profondeurs temporelles permettent de comprendre et prédire les réponses des systèmes aquatiques continentaux au changement climatique ?

De nombreux travaux de recherche de la ZABR, et développés notamment au sein de l'Observatoire des Lacs Alpains (SOERE OLA), de l'Observatoire de terrain en hydrologie urbaine (OTHU) et de l'OHM-VR, ont eu pour objectifs d'acquérir des séries de différentes profondeurs temporelles (de 10 ans à plus de 100 ans) grâce à des moyens instrumentaux ainsi que de rétro-observation. Ces séries temporelles, concernant des paramètres physicochimiques (température, hydrologie, nutriments...) ainsi que ces indicateurs de biodiversité et de fonctionnement des écosystèmes (paléo-ADN, isotopes stables) permettent de déterminer les réponses des systèmes aquatiques continentaux (systèmes lacustres, aquifères) au changement climatique, mais aussi de comprendre les impacts de changements environnementaux locaux dans ce contexte.

Les travaux effectués dans le cadre de l'observatoire OLA ont permis de montrer que **les archives sédimentaires à haute résolution permettent de reconstruire les changements climatiques et les réponses écologiques des systèmes aquatiques continentaux**. L'utilisation des données observatoires de trois lacs péri-alpins (Lac de Genève, Lac d'Annecy et Lac du Bourget) a permis d'aborder les questions liées à l'impact du changement climatique sur les températures et sur la dynamique des masses d'eau et a révélé une augmentation des températures de surface depuis 1970 (Perga *et al.*, 2015). Les analyses à haute résolution de sédiments varvés ont permis de reconstruire les dynamiques des réponses écologiques des habitats benthiques, pélagiques et littoraux aux pressions anthropiques locales et au réchauffement climatique, au cours des 150 dernières années (Perga *et al.*, 2015). Par exemple, l'analyse de l'ADN des archives sédimentaires permet de reconstruire la dynamique à long-terme de la diversité lacustre (Capo *et al.*, 2017).

Les chroniques à long-terme et les approches rétrospectives permettent d'étudier les effets combinés du changement climatique et des perturbations anthropiques locales, et de déterminer la vulnérabilité de systèmes aquatiques continentaux.

Dans la continuité des acquis du programme ANR Iper-Retro, les séries temporelles concernant la biodiversité et les indicateurs de fonctionnement des écosystèmes lacustres ont permis de faire la part entre les effets du climat et d'autres forçages (nutriments notamment) dans la trajectoire actuelle de ces systèmes (Perga *et al.*, 2015). L'étude de trois lacs péri-alpins a ainsi montré que l'amplitude de l'effet climatique varie entre lacs, mais aussi les réponses spécifiques engendrées, en fonction du niveau trophique du lac mais aussi du type de gestion piscicole (Figure 1). Ainsi, la réponse écologique et la vulnérabilité des lacs au changement climatique dépendent du contexte des pressions humaines locales.



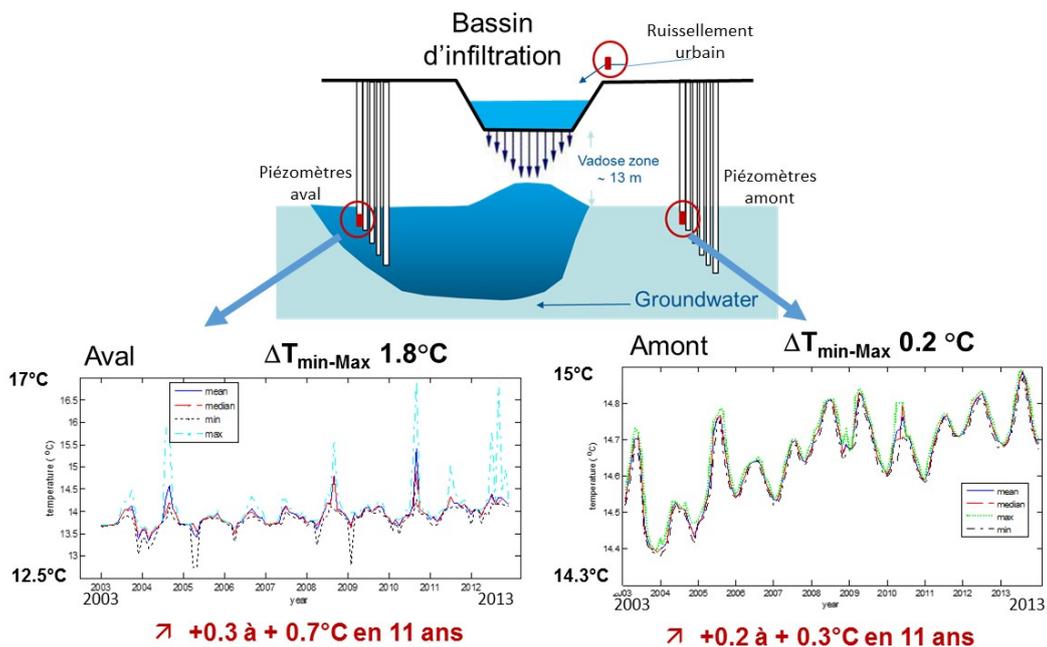
climat (augmentation de la température de l'air) à l'explication des trajectoires écologiques planctoniques (A : diatomées ; B : cyanobactéries ; C : assemblages des cladocères) des lacs d'Annecy, de Genève et du Bourget. Les taxons indiqués sous les cadres sont ceux qui sont favorisés par le réchauffement récent de l'air, soit par des effets directs, soit par un effet indirect à travers les modifications de prédation par les poissons (souligné).

En contexte urbain, le programme ChronOTHU (OTHU – Agence de l'eau) a permis, par l'analyse des données de plus de 10 ans acquises au sein de l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine, de différencier les effets des changements globaux (dont réchauffement climatique) des changements locaux (pollutions, utilisation des sols...), montrant l'**importance d'acquérir et d'analyser des chroniques à long terme en hydrologie urbaine** (Sun *et al.*, 2016 ; encart Chronothu).

Importance des chroniques à long terme en hydrologie urbaine

(OTHU - Programme Agence de l'Eau Chronothu)

Dans de nombreuses agglomérations dont le sol est imperméabilisé, les eaux de ruissellement urbaines sont infiltrées dans des bassins pour maintenir le niveau des nappes. L'analyse des chroniques à long terme de caractéristiques physiques et chimiques des eaux souterraines nous ont permis de séparer les effets des perturbations locales (augmentation des surfaces imperméables par exemple) et des changements climatiques globaux. Ainsi les enregistrements des températures des eaux souterraines sur 11 années soulignent les effets des bassins d'infiltration sur les nappes : ils induisent en aval des augmentations de la variabilité thermique saisonnière (ΔT de $1,8^{\circ}\text{C}$) se combinant aux effets des changements climatiques (augmentation de $0,2$ à $0,3^{\circ}\text{C}$ sur une décennie) et conduisent ainsi à des hausses des températures estivales spectaculaires, constituant de véritables perturbations écologiques des nappes souterraines.



d'après (Sun *et al.* 2016)

2. Comment les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines peuvent permettre de tamponner les impacts du changement climatique et des perturbations locales sur les ressources en eau et la biodiversité ?

Dans le cadre du thème CCR, des travaux au sein des sites Drome-Rivières en tresse, Rivières cévenoles, Zones Humides et de l'OHM-VR ont permis de tester l'hypothèse selon laquelle **les apports souterrains qu'ils soient d'origine alluviale ou karstique modèrent fortement les effets du changement climatique en constituant des zones tampons sur le plan quantitatif ou sur le plan thermique avec une incidence positive sur la qualité écologique des rivières**. Dans un contexte de réchauffement climatique et d'augmentation des pressions sur la ressource en eau, les échanges d'eaux entre nappe et rivière deviennent un régulateur extrêmement important du système aquatique. Ces échanges, de manière diffuse (nappe alluviale) ou ponctuelle (source karstique), jouent un rôle important sur les transferts chimiques (nutriments, polluants) et sur la température des eaux de surface, et donc sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Des outils et méthodes de caractérisation des échanges entre eaux superficielles et eaux souterraines ont été développées en milieu alluvial aux cours du précédent contrat (Projet Eau Sout' ZABR-AE), mais la transposition directe aux échanges entre rivière et karst n'est pas possible du fait des spécificités de ces aquifères discontinus. Un programme de recherche multidisciplinaire (Projet AE-ZABR « Cèze ») a eu pour objectif d'évaluer les échanges karst-rivière au niveau de la Cèze (Site Rivières Cévenoles), en

combinant des approches thermiques, hydrogéochimiques, hydrologiques, biologiques par échantillonnage des invertébrés interstitiels. Par exemple, l'acquisition d'images dans l'infrarouge thermique de tronçons de rivière réalisée depuis un ULM permet d'identifier distinctement les eaux souterraines lorsqu'elles émergent au niveau de la rivière. L'analyse de l'ensemble de ces images thermiques a permis notamment de mettre en évidence les émergences, le caractère ponctuel ou diffus des apports souterrains vers la rivière et la distance d'homogénéisation par mélange des eaux superficielles et souterraines. En outre, le profil de température amont/aval a permis, dans une certaine mesure, d'estimer les débits de certaines émergences par effet de mélange (Ré-Bahuaud *et al.*, 2016).

De nombreux travaux ont eu pour objectifs de déterminer si **la capacité des apports d'eau souterraines à modérer les effets du changement climatique dépendait du contexte climatique, géologique, ou hydrologique** en étudiant par exemple l'effet des échanges nappes-zones humides de tête de bassin (programme ZABR-AE), l'impact des zones d'infiltration d'eau de surface et d'exfiltration d'eau souterraine sur la biodiversité souterraine et sur la structure trophique des communautés benthiques (programme B17 Ain EDF-AE-ZABR) ou l'effet régulateur de la ripisylve sur la température de surface des cours d'eau (programme B15 Ain EDF-AE-ZABR). La quantification par couplage de données LiDAR et d'imagerie thermique montre que le refroidissement des eaux de surface par l'effet de l'ombrage par la ripisylve et des apports d'eau souterraine peuvent mitiger les fortes valeurs de température estivales (Wawrziniak *et al.*, 2017 ; Fig 2).

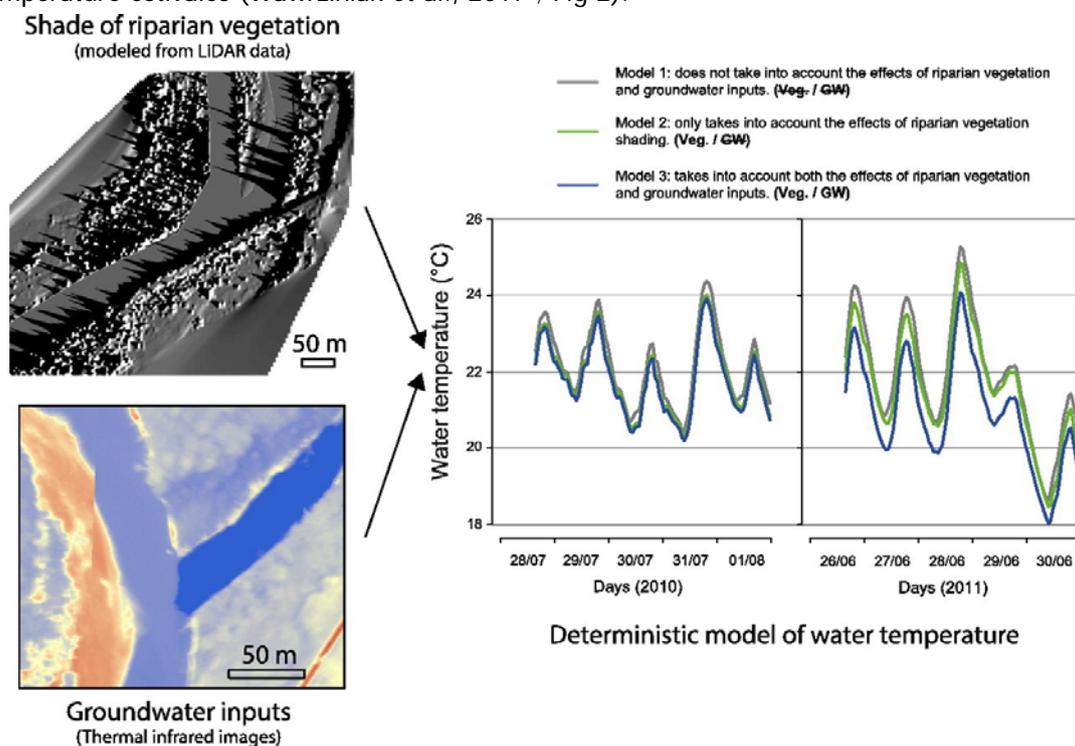


Fig. 2 : Température de l'eau modélisée à Chazey-sur-Ain. Le modèle 1 ne considère ni l'effet de la végétation riparienne, ni les apports d'eau souterraine ; le modèle 2 prend seulement en compte l'effet de la végétation riparienne. Le modèle 3 prend en compte l'effet de la végétation riparienne et des apports d'eau souterraine.

3. Comment les effets du changement climatique impactent les ressources (eau, biodiversité) ainsi que le fonctionnement et les capacités de résilience des écosystèmes aquatiques continentaux ?

Comprendre et quantifier les impacts du changement climatique sur les ressources et sur le fonctionnement des écosystèmes nécessite de **se doter d'un outil intégré représentant l'hydrologie naturelle et les actions de l'homme sur la ressource pour tester des scénarios de gestion alternatifs et mesurer les effets du changement global sur l'hydrologie et les milieux à l'échelle du bassin du Rhône (fleuve et affluents)**. En lien étroit avec la question 3 du thème Flux, Formes, Habitats, Biocénose (FFHB), le modèle hydrologique distribué appliqué au bassin versant du

Rhône J2000 permet de mesurer l'impact des usages de l'eau et des scénarios climatiques sur la ressource disponible (cf. encart J2000, thème FFHB).

Comprendre et quantifier le fonctionnement des écosystèmes est nécessaire pour estimer la vulnérabilité des ressources (eau, biodiversité) face au changement climatique.

Des travaux ont été menés dans le cadre de l'OHM-VR pour déterminer l'origine de l'eau utilisée par les arbres de la ripisylve pour leur croissance et pouvoir estimer l'impact du changement climatique sur la disponibilité en eau de la végétation riparienne. De nouvelles méthodes ont été développées à partir de l'analyse de la composition isotopique de l'oxygène des cernes d'arbres permettant de déterminer l'origine de l'eau et les changements d'accès des arbres à la nappe phréatique (Sargent & Singer, 2016). Une fonction généralement importante des forêts ripariennes est le stockage de carbone. Des travaux ont ainsi pour objectif de déterminer l'évolution de la séquestration de carbone en réponse aux changements de pratique pour quantifier un service écosystémique crucial pour mitiger les effets du changement climatique (travaux de V. Matzek).

Enfin, **prédire les conséquences du changement climatique sur la biodiversité et les services écosystémiques nécessite de déterminer le potentiel d'adaptation locale des populations face aux changements environnementaux.**

En effet, la compréhension de l'impact du changement climatique sur les écosystèmes nécessite de s'intéresser à ses effets à l'échelle des communautés, des espèces et des populations. Dans le cadre du programme RhônEco, le suivi à long-terme (30+ années) des communautés de poissons sur plus de 10 sites le long du Rhône permet de comprendre les effets combinés 1) du réchauffement de l'eau, 2) de la construction des derniers barrages (années 80), 3) d'opérations de restauration physique plus ou moins fortes suivant les sites. Un résultat est que le réchauffement de l'eau favorise les espèces « sudistes » et les petits individus, de façon indépendante des effets de restauration physique (Fig. 3) (Daufresne *et al.*, 2015).

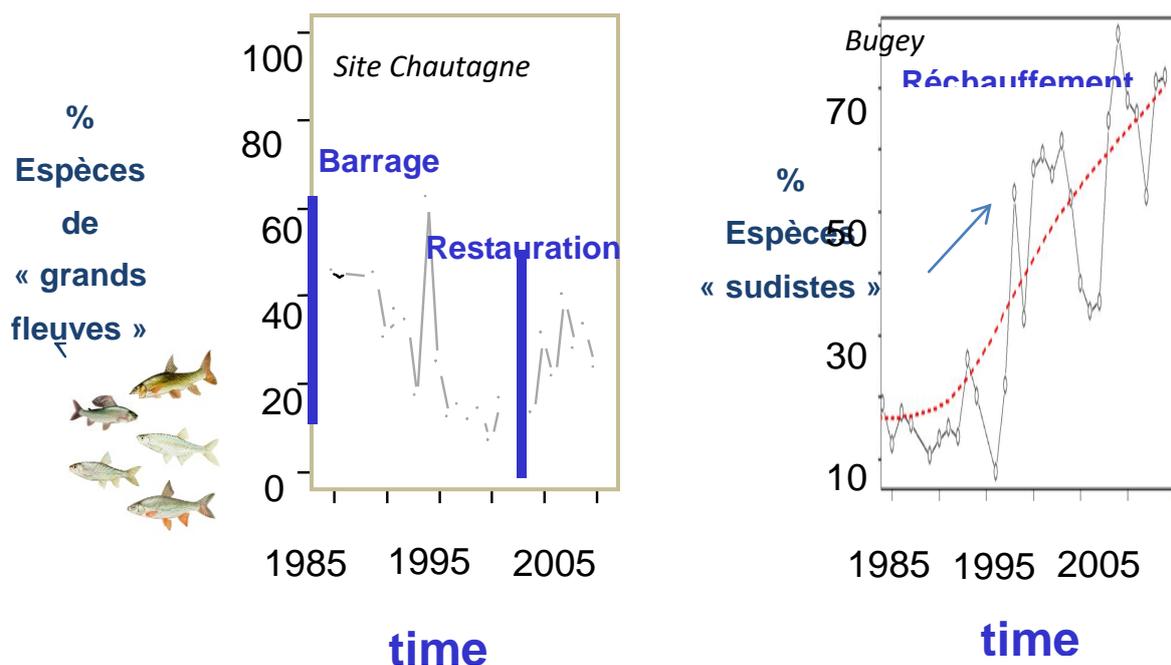


Fig. 3 : Evolution depuis 1985 du pourcentage d'espèces de « grands fleuves » et d'espèces « sudistes » pour 2 stations de la haute vallée du Rhône (Daufresne *et al.*, 2015).

1. Comment les séries de données à long-terme et les reconstructions paléoenvironnementales permettent de comprendre et prédire les réponses des systèmes aquatiques continentaux au changement climatique ?

Les projets qui se développent sur cette problématique ont pour objectif d'étendre et de compléter les enregistrements instrumentaux et les reconstructions à partir des archives sédimentaires. Par exemple, dans le cadre de l'observatoire OLA, le déploiement des approches paléo-écologiques s'inscrit dans une démarche d'élargissement à la fois en termes d'échelles temporelles, de types de systèmes étudiés et de proxies utilisés pour reconstituer la diversité biologique et le type et l'intensité des pratiques humaines sur les bassins versants. De nouvelles méthodes sont en développement, comme l'analyse des inclusions fluides dans des cristaux de halites par spectroscopie Brillouin pour déterminer la température de formation des inclusions fluides, permettant d'avoir accès aux variations de la température de surface des lacs dans le passé (thèse E. Guillerm, LGL-TPE). Un projet concerne également la double étude des sédiments des lacs alpins et des spéléothèmes pour améliorer la robustesse des rétroanalyses du climat alpin. Les spéléothèmes enregistrent les dépôts de crue au sein des cavités souterraines. Les analyses fluorimétrique 3D, les analyses isotopiques et des éléments traces permettent de reconstituer les variables hydrologiques au sein d'une galerie souterraine, puis l'inversion de la relation pluie-débit permet d'avoir accès aux précipitations. Ces approches sont envisagées dans les karsts du Massif des Bauges qui domine le Lac du Bourget (OLA) ainsi que sur les aquifères et rivière du site atelier rivières cévenoles (projet A. Johannet – S. Jaillet).

2. Comment les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines peuvent permettre de tamponner les impacts du changement climatique et des perturbations locales sur les ressources en eau et la biodiversité ?

Les travaux qui ont pour objectifs de quantifier l'impact des échanges entre les eaux souterraines et les eaux de surface vont continuer à se développer, dans des contextes variés afin d'augmenter la capacité de généralisation des résultats obtenus. L'étude des échanges entre karsts et eaux de surface permettra de comprendre le rôle que jouent les karsts dans l'écoulement des crues (projet au sein du site Rivières cévenoles). Les travaux se poursuivent pour quantifier les transferts entre zones humides et eaux de surface dans les têtes de bassin, ce qui permettra de comprendre l'importance que peuvent avoir les zones humides dans le soutien d'étiage des cours d'eau (projet AE-ZABR). A terme, ces travaux permettront de déterminer et de comprendre la sensibilité au changement climatique des systèmes aquatiques continentaux en contexte méditerranéen.

3. Comment les effets du changement climatique impactent les ressources (eau, biodiversité) ainsi que le fonctionnement et les capacités de résilience des écosystèmes aquatiques continentaux ?

Dans le cadre des thèmes CCR et FFHB, la poursuite de l'effort de modélisation à l'échelle du bassin du Rhône permettra de progresser dans la représentation des processus et le paramétrage du modèle hydrologique J200 actuellement mis en place, en intégrant notamment les processus liés aux zones de montagne, et en réalisant le couplage avec des modèles d'habitats biologiques pour pouvoir prédire l'évolution de la diversité biologique.

Dans le cadre de l'observatoire OLA, des travaux sont prévus pour déterminer l'impact du réchauffement climatique sur une espèce sentinelle, l'omble chevalier. Parmi les différentes espèces de poisson des lacs alpins et péri-alpins, l'omble chevalier *Salvelinus alpinus* est l'espèce qui possède la limite de distribution la plus septentrionale, et elle possède des exigences très strictes en termes de température et d'oxygénation des eaux. Les populations du Lac de Genève et du Lac du Bourget se situent en limite méridionale de distribution naturelle de l'espèce. Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, il est probable que ces populations soient particulièrement vulnérables à l'augmentation des températures ou une modification des dynamiques de brassage dans les lacs. Des projets de suivi de la fraie de l'omble et de l'incubation des œufs en conditions naturelles (Léman) et

d'évaluation de la réponse de l'omble au changement climatique en conditions expérimentales seront menés. Le couplage entre ces approches expérimentales et le suivi de conditions physicochimiques au niveau des frayères permettra de préciser l'impact du réchauffement sur les populations (projet E. Lasne ; thèse L. Mari).

Références

Daufresne, M., Veslot, J., Capra, H., Carrel, G., Poirel, A., Olivier, J.-M. and Lamouroux, N. (2015), Fish community dynamics (1985–2010) in multiple reaches of a large river subjected to flow restoration and other environmental changes. *Freshwater Biology*, 60: 1176–1191.

Pergat, M.-E., Frossard V., Jenny J.-P., Alric B., Arnaud F., Berthon V., Black J., Domaizon I., Giguët-Covex C., Kirkham A., Magny M., Manca M., Marchetto A., Millet L., Paillès C., Pignol C., Poulenard J., Reyss J.-L., Rimet F., Savichtcheva O., Sabatier P., Sylvestre F., Verneaux V. (2015). High-resolution paleolimnology opens new management perspectives for lakes adaptation to climate warming. *Frontiers in Ecology and Evolution* 3, 72, doi:10.3389/fevo.2015.00072.

Ré-Bahuaud, J., Chapuis, H., Graillot, D., Wawrzyniak, V., Piégay, H., Jolivet, J. (2016). Caractérisation des échanges entre karst et rivière par imagerie infrarouge thermique (IRT) aéroportée. La rivière Cèze et ses émergences karstiques au niveau du plateau de Méjannes-le-Clap (Gard, France). *Eurokarst 2016*, Sep 2016, Neuchâtel, Suisse.

Sargeant, C. I., Singer, M. B. (2016). Sub-annual variability in historical water source use by Mediterranean riparian trees. *Ecohydrol.*, 9: 1328–1345.

Sun, S., Barraud, S., Castebrunet, H., Aubin, J.-B., Marmonier, P. (2016). Long-term trend evolution of the temperature of the groundwater upstream and downstream a stormwater infiltration basin. *Novatech 2016*, 9ème Conférence internationale sur les techniques et stratégies pour la gestion durable de l'Eau dans la Ville, Lyon <http://hdl.handle.net/2042/60445>.

Wawrzyniak, V., Allemand, P., Bailly, S., Lejot, J., Piégay, H. (2017) Coupling LiDAR and thermal imagery to model the effects of riparian vegetation shade and groundwater inputs on summer river temperature. *Science of The Total Environment*, 592: 616-626.