

Accord Cadre ZABR - Agence de l'Eau

Fiche projet

2018-65-ARVAN

Titre du projet :

Evolution des écosystèmes aquatiques alpins dans un contexte de changement climatique et d'augmentation des pressions anthropiques.

Personnes responsables :

(scientifique d'une équipe membre de la ZABR)

Sophie Cauvy-Fraunié : Isrtea-DYNAM (Dynamiques, et modèles en écohydrologie)

Equipes de recherche « ZABR » concernées :

(équipe membre ou associée de la ZABR)

Irstea-MALY (Milieux Aquatiques, Écologie et Pollutions) : S. Cauvy-Fraunié, N. Lamouroux, M. Forcellini

Irstea-HH (Hydrologie - Hydraulique): I. Gouttevin

IGE (Institut des Géosciences de l'Environnement): T. Condom, A. Rabatel

LEHNA (Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés) : F. Malard

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 :

Incidences et adaptations changement climatique Q1-Q40

Site ou Observatoire de rattachement ZABR :

Site atelier Arc-Isère : bassin versant de l'Arvan

RESUME

Ce projet propose d'étudier la réponse des écosystèmes aquatiques aux altérations hydrologiques dues au changement climatique et à l'augmentation des pressions anthropiques dans les bassins versants de montagne. Les objectifs de ce projet à l'interface entre glaciologie, hydrologie et écologie sont 1) de caractériser les régimes hydrologiques, les habitats hydrauliques et les conditions environnementales des rivières alpines, 2) de définir la composition des communautés d'invertébrés aquatiques, 3) d'identifier les relations entre les habitats et les organismes, 4) de déterminer les altérations hydrologiques résultantes du changement climatique et des prélèvements.

Livrables : Rapport et synthèse

ENCART 2018-65-ARVAN-IRSTEA (Responsable S.Cauvy-Fraunié)

La contribution d'IRSTEA au projet 65-ARVAN s'inscrit dans le cadre des trois volets du projet : 1) Volet glaciologie-hydrologie dans lequel participeront I. Gouttevin et S. Cauvy, 2) Volet hydrologie-hydraulique dans lequel participeront N. Lamouroux et S. Cauvy et 3) Volet hydraulique-écologie dans lequel participeront S. Cauvy et M. Forcellini.

Volet 1 : L'irstea participera à l'estimation de la contribution de la fonte de la neige à l'hydrologie de l'Arvan : utilisation du modèle hydrologique J2000-Rhone, analyses de données météorologiques et physiographiques. L'irstea participera également à l'installation des capteurs de hauteur d'eau dans le bassin versant.

Volet 2 : Caractérisation du régime hydrologique et thermique des différents types de rivières alpines et des conditions environnementales et hydrauliques associées : mesures de terrain, analyses statistiques.

Volet 3 : Caractérisation des communautés d'invertébrés aquatiques de chaque type de rivières : échantillonnages d'invertébrés aquatiques, tri et identification.
Identification des relations entre habitats et organismes : analyses statistiques.
Hiérarchiser les facteurs d'influence sur la biodiversité

ENCART 2018-65-ARVAN-IGE (Responsable T. Condom)

La contribution de l'IGE s'inscrit dans le cadre du volet « glaciologie-hydrologie » du projet dans lequel participeront T. Condom et A. Rabatel.

Les chercheurs de l'IGE vont estimer la contribution actuelle des eaux de fonte de neige et de glace au réseau hydrographique du bassin versant de l'Arvan ainsi que son évolution au cours des dernières décennies : analyses des données glaciologiques et hydrologiques. L'IGE participera également aux campagnes de terrain : installation des capteurs de hauteur d'eau et mesures de débit. Enfin, l'IGE va réaliser un recensement des différents prélèvements d'eau et leur usage sur le bassin versant de l'Arvan en amont de Saint-Jean-d'Arves.

ENCART 2018-65-ARVAN-LEHNA (Responsable F. Malard)

La contribution du LEHNA, représenté par Florian MALARD, au projet 65-ARVAN s'inscrit dans le cadre du volet 3 intitulé « Volet hydraulique-écologie ». Je participerai aux campagnes de terrain qui consisteront à caractériser la distribution spatiale des communautés d'invertébrés aquatiques et à la collecte des variables physico-chimiques associées. J'apporterai si nécessaire mon expertise dans le domaine des identifications et je participerai aux réunions relatives à l'analyse des couplages entre mesures physico-chimiques et biologiques.

Finalités et attendus opérationnels (1 p. maxi) :

Les bassins versants de montagne forment des réseaux hydrographiques particulièrement complexes, caractérisés par une forte hétérogénéité environnementale car ils comprennent des cours d'eau alimentés par différents apports (eaux souterraines, pluie, fonte de neige, glaciers) qui présentent des régimes hydrologiques et des conditions environnementales spécifiques (Hannah et al., 2007 ; Cauvy-Fraunié et al., 2013). Ces hydrosystèmes alpins abritent une biodiversité locale singulière composée d'espèces rares et présentent une forte variabilité spatiale de communautés aquatiques à l'échelle du bassin versant (Jacobsen et al., 2012). Ces écosystèmes aquatiques sont menacés par le changement climatique et les changements environnementaux qui en découlent tels que l'augmentation de la température et le changement des régimes de précipitation (Dudgeon et al., 2006), ainsi que la diminution de la couverture neigeuse et l'accélération de la fonte des glaciers (Brown et al., 2007). De plus, les régions de montagnes ne font pas exception en matière de pressions anthropiques sur la ressource en eau (hydroélectricité, industrie, irrigation; Campion, 2002). Alors qu'ils ont historiquement été assimilés à des châteaux d'eau des plaines environnantes avec une ressource en eau considérée comme très abondante, les bassins versants alpins sont, au contraire, soumis à de très fortes pressions sur la ressource. Le captage d'eau dans ces régions ne cesse d'augmenter pour pallier aux besoins croissants des stations de ski pour l'eau potable et la neige de culture (le volume d'eau prélevé pour la production de neige a augmenté de 1 million de m³ par an entre 1995 et 2008 à l'échelle nationale ; Badre et al., 2009). Cette demande croissante, essentiellement pendant les périodes de forte affluence touristique, coïncide avec la période d'étiage hivernal, ce qui dans un contexte de changement climatique augmente les risques de conflit au niveau du partage de la ressource entre les usagers (Magnier, 2013). De plus, ces perturbations induisent à l'échelle locale une forte altération du régime hydrologique et affectent à plus large échelle l'hétérogénéité environnementale et la connectivité des bassins versants. Ces altérations environnementales multi-échelles peuvent engendrer des effets considérables aussi bien sur la structure que sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques alpins comme il a été démontré récemment dans les Andes (Cauvy-Fraunié et al., 2015 ; Cauvy-Fraunié et al., 2016).

Bien qu'il existe un certain nombre d'études écologiques sur les rivières alpines à l'échelle mondiale (Brown et al., 2007 ; Jacobsen et al., 2012), nous n'avons actuellement pas les connaissances suffisantes ni les outils nécessaires pour modéliser ces écosystèmes complexes et prévoir la réponse de la biodiversité alpine face aux

multiples altérations hydrologiques. Ceci est dû, d'une part, à l'insuffisance de suivi écologique dans ces systèmes (actuellement aucun suivi écologique des rivières glaciaires dans les Alpes françaises) et, d'autre part, au manque d'études sur la relation entre les habitats hydrauliques et les organismes aquatiques en montagne. En effet, les modèles éco-hydrologiques (modèles de préférence des espèces), compétence reconnue de l'équipe DYNAM (IRSTEA) qui permettent de prévoir la réponse des organismes aquatiques aux altérations hydrauliques, n'ont pas encore été adaptés aux cours d'eau de montagne, hors zones à truite. Par conséquent, il est nécessaire d'identifier les organismes qui doivent être considérés pour évaluer la qualité de l'habitat hydraulique des cours d'eau de montagne.

L'objectif de ce projet pour l'appel d'offre ZABR-Agence de l'Eau est de caractériser le régime hydrologique, les habitats hydrauliques et les communautés d'invertébrés aquatiques des cours d'eau d'un bassin versant de montagne sous influence glaciaire, et d'autre part d'estimer les ressources en eau et les prélèvements au sein du bassin versant. Cette étude sera réalisée sur le bassin versant englacé de l'Arvan, site atelier Arc-Isère labellisé par la ZABR, déjà très instrumenté et qui servira de base à une étude régionale sur l'impact des altérations hydrologiques sur les écosystèmes aquatiques de montagne.

Les mesures physiques et biologiques réalisées permettront, à moyen terme, de développer des modèles de préférence hydraulique des espèces alpines et d'identifier des espèces cibles pour évaluer la qualité de l'habitat des cours d'eau de montagne. Ces résultats de modèles permettront d'établir les débits écologiques multi-échelles en montagne ; c'est-à-dire la quantité, la qualité et la variabilité temporelle du flux d'eau à l'échelle locale et la connectivité entre habitats à l'échelle du bassin versant nécessaires au maintien des écosystèmes d'eau douce et des services écosystémiques qui en découlent (Tonkin et al., 2014).

A plus long terme, cette étude permettra de développer un modèle prédictif de la réponse de la biodiversité alpine aux altérations hydrologiques et environnementales dues au changement climatique et à l'augmentation des pressions anthropiques à l'échelle de l'arc alpin français. Cette modélisation est ambitionnée dans le long terme via un couplage entre modèles glaciologiques (dynamique du volume glaciaire, Huss et al., 2012), hydrologiques (débit des eaux de fonte de glace/neige et des eaux de pluie, Huss et al., 2008 ; Engel et al. 2015), hydrauliques (modélisation statistiques des habitats hydrauliques, Girard et al., 2014) et de distribution d'espèces (effet des habitats et de la connectivité entre habitats; Dolédec et al., 2007 ; Cauvy-Fraunié et al., 2015) : un projet dédié à ces couplages a été déposé cette année à la région Auvergne-Rhône-Alpes. Le présent projet AERMC-ZABR sera donc une brique élémentaire et préliminaire à la réalisation d'une projection de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques alpins en fonction des différents scénarios de changement climatique (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013) et de l'évolution de la pression anthropique dans les zones de montagne.

A l'issue du présent projet, nous aurons déterminé l'impact des différentes variables environnementales et hydrauliques sur les communautés d'invertébrés aquatiques et identifié les différentes altérations hydrologiques liées aux prélèvements anthropiques et à l'évolution de la contribution des eaux de fonte. Les résultats de cette étude vont nous permettre de hiérarchiser les facteurs d'influence sur la biodiversité aquatique pour identifier les leviers possibles d'actions afin de minimiser les impacts des altérations hydrologiques sur les écosystèmes alpins.

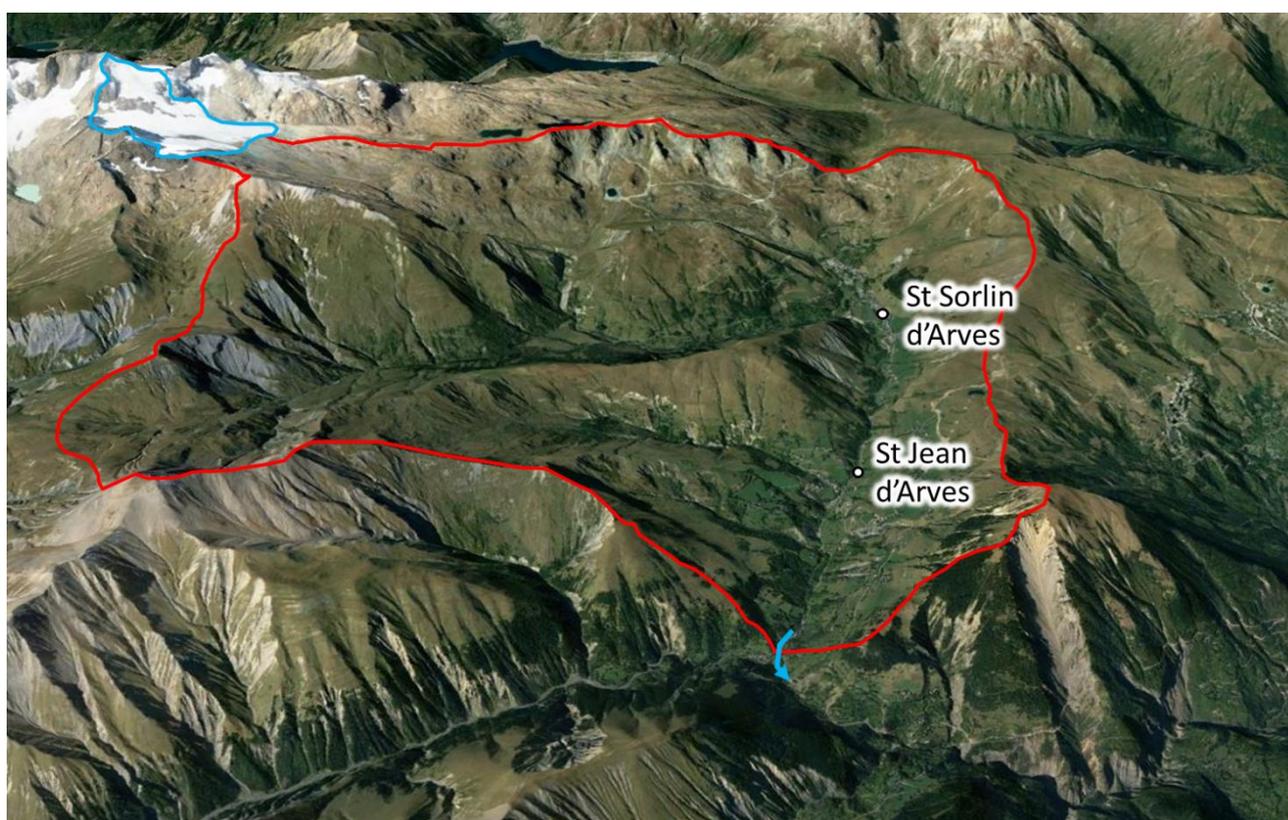
En terme opérationnel, dès l'issue de ce projet les résultats de cette étude nous auront permis de:

- caractériser les écoulements des cours d'eau de montagne
- recenser les prélèvements du bassin versant du glacier de Saint-Sorlin
- identifier les relations entre habitats et organismes aquatiques
- identifier les espèces à considérer pour l'établissement futur de débits écologiques des cours d'eau alpins
- hiérarchiser les facteurs d'influence sur la biodiversité

Objectifs et méthodologie (2 p. maxi) :

Ce projet, pour l'appel d'offre ZABR-Agence de l'Eau propose d'étudier la réponse des écosystèmes aquatiques aux altérations hydrologiques dues au changement climatique et à l'augmentation des pressions anthropiques dans les bassins versants de montagne. Les objectifs de ce projet à l'interface entre glaciologie, hydrologie et écologie sont 1) de caractériser les régimes hydrologiques, les habitats hydrauliques et les conditions environnementales des rivières alpines, 2) de définir la composition des communautés d'invertébrés aquatiques, 3) d'identifier les relations entre les habitats et les organismes, 4) de déterminer les altérations hydrologiques résultantes du changement climatique et des prélèvements. Cette étude sera réalisée sur le bassin versant de l'Arvan, un site atelier Arc-Isère labellisé par la ZABR. C'est un bassin versant de 222 km², entre 500 m d'altitude à Saint-Jean-de-Maurienne à 3463 m au Pic de l'étendard. Ce bassin versant de haute montagne inclut le Glacier de Saint-Sorlin, d'une superficie d'environ 2 km² en 2015 (superficie importante par rapport aux glaciers des Alpes françaises dont la superficie moyenne est de 0,5 km² ; Gardent et al., 2014), qui s'étend de 3463 m à 2700 m. Le Glacier de Saint-Sorlin fait partie des glaciers suivis par le Service National

d'Observation GLACIOCLIM (<https://glacioclim.osug.fr/>). Les glaciologues de l'IGE étudient en effet l'évolution de ce glacier depuis plus de 50 ans via des mesures de terrain (bilan de masse, albédo, météorologie) et des mesures photogrammétriques (photographies aériennes, images satellites). De plus, les hydrologues du laboratoire HH (IRSTEA) étudient l'export sédimentaire lié à la fonte nivo-glaciaire de ce bassin versant et mesurent le débit et les concentrations de sédiments en continu depuis 10 ans à Saint Jean d'Arves (qui couvre un bassin d'une superficie 58 km²) et à Saint Jean de Maurienne. Quatre stations du réseau Météo-France, réparties sur le bassin de l'Arvan, mesurent la température de l'air et les précipitations. Ce bassin versant constitue un site idéal pour réaliser une étude représentative éco-hydrologique des cours d'eau alpins car l'abondance des données historiques et des mesures temporelles météorologiques, glaciologiques et hydrologiques permettra de modéliser la réponse des écosystèmes aquatiques aux altérations hydrologiques.



Bassin versant de l'Arvan – Glacier de Saint-Sorlin

Ce projet à l'interface entre la glaciologie, l'hydrologie et l'écologie s'articule selon trois axes interdépendants:

Volet glaciologie-hydrologie (T. Condom, I. Gouttevin, A. Rabatel, S. Cauvy)

L'objectif de ce volet est d'estimer la contribution actuelle des eaux de fonte de neige et de glace au réseau hydrographique du bassin versant de l'Arvan ainsi que son évolution au cours des dernières décennies. Il s'agira donc de quantifier le volume d'eau provenant de la fonte du Glacier de Saint Sorlin et de la fonte nivale sur le bassin versant de l'Arvan actuellement (sur les 2 années du projet) et sur les 20 dernières années.

Le volume d'eau de fonte glaciaire actuel sera quantifié à partir des mesures d'ablation réalisées pendant la période estivale dans le cadre de GLACIOCLIM et de nouvelles données hydrologiques qui seront acquises au niveau du front du Glacier de Saint-Sorlin : installation de capteurs de hauteur d'eau et jaugeages à différents débits pour établir les courbes de tarage. Ces mesures continues de débit permettront de valider la modélisation glaciologique d'eau de fonte sur les 2 années du projet. L'évolution de la contribution des eaux glaciaires sera estimée à partir de la réduction du volume du glacier quantifié à partir des bilans de masse estimés (images aériennes et satellites) et mesurés (balises d'accumulation et d'ablation) depuis plusieurs décennies.

La contribution de la fonte de la neige sera estimée avec le modèle J2000-Rhone (Nepal et al., 2014, Branger et al., 2016, Gouttevin et al., 2016). Il s'agit d'un modèle hydrologique distribué développé par le laboratoire HH (IRSTEA) depuis 2009, et a fait l'objet des projets MDR (Modélisation Distribuée du Rhône) et de l'Action Neige (amélioration de la modélisation hydrologique distribuée dans les régions alpines), en partenariat avec l'AERMC. Cet outil permettra de réaliser une modélisation nivo-hydrologique à partir de données physiographiques (modèle numérique de terrain, couvert végétal, caractérisation pédologiques et géologiques) et en utilisant en entrée des forçages météorologiques produits dans la zone par Météo-France. L'évolution de

la contribution de la couverture neigeuse à l'écoulement hydrologique sera également évaluée, à partir des données météorologiques historiques. Les données satellites historiques de superficie du manteau neigeux (données MODIS, Landsat 8 et Spot 4, 5 à respectivement 250, 30, 20 et 10 m de résolution) et les chroniques de débits des stations hydrométriques en aval permettront de valider la modélisation nivo-hydrologique des années précédentes. Ces estimations à l'échelle du bassin versant de l'Arvan s'inscrivent dans un projet régional dont l'objectif est de réaliser une modélisation glacio-hydrologique sur l'ensemble de l'arc alpin français. Cette modélisation à plus large échelle fait l'objet d'une thèse co-portée par IRSTEA et l'IGE (co-financement IRSTEA et Labex OSUG@2020) qui débutera à l'automne 2017. Dans cette thèse, l'intégration des aspects nivo-glaciaires dans le modèle J2000-Rhone pourra faciliter l'estimation des contributions nivo-glaciaires aux écoulements sur le bassin versant de l'Arvan.

Enfin, le dernier objectif consiste à réaliser un recensement des différents prélèvements d'eau et leur usage sur le bassin versant de l'Arvan en amont de Saint Jean d'Arves.

Volet hydrologie-hydraulique (N. Lamouroux, S. Cauvy)

Le premier objectif de ce volet est de caractériser le régime hydrologique et thermique (variabilité temporelle du débit et de la température) des différents types de rivières alpines : les rivières provenant de la fonte du glacier, les rivières provenant de la fonte de la neige, les eaux de source, et les eaux de pluie. Pour cela, nous installerons des capteurs de hauteurs d'eau et de température sur 20 sites dans les différents types de rivières : les rivières en tête de bassin (3 sites pour chaque type de rivière), et au niveau des confluences (8 sites). Ces mesures continues de hauteur d'eau couplées à des jaugeages à différents débits permettront de quantifier la variabilité temporelle du débit des différents cours d'eau alpins. Il s'agira également d'identifier les éventuelles ruptures de connectivité du réseau hydrographique et dans ce cas les durées d'intermittences. Le second objectif est de déterminer les conditions environnementales (turbidité, conductivité...) et hydrauliques (hauteur d'eau, vitesse...) des différents cours d'eau alpins via des mesures ponctuelles, 2 répétitions temporelles entre avril et octobre afin d'évaluer la variabilité temporelle des conditions abiotiques en fonction de la forte saisonnalité des écoulements alpins. Ces mesures permettront d'établir une première relation entre les conditions hydrologiques, hydrauliques et environnementales en fonction de la source de l'eau.

Volet hydraulique-écologie (S. Cauvy, F. Malard, M. Forcellini)

L'objectif de ce volet est de caractériser la distribution spatiale des communautés d'invertébrés aquatiques et d'identifier les processus qui structurent les assemblages des organismes aquatiques. Pour cela, nous caractériserons la composition des communautés aquatiques de chaque type de rivières (au niveau des sites préalablement instrumentés, voir volet précédent) à partir d'un échantillonnage quantitatif d'invertébrés benthiques (un minimum de 5 échantillons par site avec des filets Surber, 2 répétitions temporelles). La structure des communautés aquatiques sera déterminée à partir de plusieurs indices écologiques (Shannon, Bray-Curtis). Ces indices permettront de quantifier la différence de composition des communautés d'invertébrés entre les différents types de rivières alpines. Le couplage des mesures physico-chimiques et biologiques vont permettre de déterminer l'effet des différentes variables environnementales et hydrauliques sur la densité, la richesse et la composition des communautés à l'échelle locale. Les mesures hydrobiologiques seront réalisées en amont de Saint Jean d'Arves.

En conclusion, l'étude proposée permettra d'évaluer la pression actuelle sur la ressource de ce bassin versant à partir de l'estimation quantitative des ressources en eau disponibles et des prélèvements. Son évolution pourra être pronostiquée par rapport aux modifications possibles de la contribution en eaux de fonte. Les mesures physiques et biologiques permettront d'identifier les facteurs environnementaux qui influencent la composition des communautés aquatiques et les mécanismes qui structurent la distribution spatiale des invertébrés aquatiques dans les bassins versants de montagne sous influence glaciaire. Bien que l'étude soit réalisée sur le seul bassin versant de l'Arvan, l'identification des mécanismes qui structurent les écosystèmes aquatiques de montagne permettra de déterminer quels pourraient être les effets des altérations hydrologiques dues au changement climatique et aux pressions anthropiques sur la biodiversité aquatique dans les bassins versants de l'arc alpin. Ces résultats permettront donc de proposer des leviers possibles d'actions pour limiter la dégradation des écosystèmes aquatiques de montagne et de préserver les services écosystémiques qui en découlent (par ex. choix du point de prélèvement et timing).

Durée du projet : 2 ans

Références

- Badré, M., J.-L. Prime, and G. Ribière. 2009. Neige de culture: état des lieux et impacts environnementaux-Note socio-économique.
- Branger, F., I. Gouttevin, F. Tilmant, T. Cipriani, C. Barachet, M. Montginoul, C. Le Gros, I. Braud, E. Sauquet, et E. Leblois. 2016. Modélisation hydrologique Distribuée du Rhône. Rapport final. Irstea
- Brown, L. E., D. M. Hannah, and A. M. Milner. 2007. Vulnerability of alpine stream biodiversity to shrinking glaciers and snowpacks. *Global Change Biology* **13**:958-966.
- Campion, T. 2002. Etude de l'impact de la production de neige de culture sur la ressource en eau, en hiver, en montagne. Mémoire de Mastère, stage réalisé à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.
- Cauvy-Fraunié, S., P. Andino, R. Espinosa, R. Calvez, D. Jacobsen, and O. Dangles. 2016. Ecological responses to experimental glacier-runoff reduction in alpine rivers. *Nature Communications*.
- Cauvy-Fraunié, S., T. Condom, A. Rabatel, M. Villacis, D. Jacobsen, and O. Dangles. 2013. Technical Note: Glacial influence in tropical mountain hydrosystems evidenced by the diurnal cycle in water levels. *Hydrology and Earth System Sciences* **17**:4803-4816.
- Cauvy-Fraunié, S., R. Espinosa, P. Andino, D. Jacobsen, and O. Dangles. 2015. Invertebrate metacommunity structure and dynamics in an andean glacial stream network facing climate change. *PloS one* **10**:e0136793.
- Doledec, S., N. Lamouroux, U. Fuchs, and S. Merigoux. 2007. Modelling the hydraulic preferences of benthic macroinvertebrates in small European streams. *Freshwater Biology* **52**:145-164.
- Dudgeon, D., A. H. Arthington, M. O. Gessner, Z. I. Kawabata, D. J. Knowler, C. Leveque, R. J. Naiman, A. H. Prieur-Richard, D. Soto, M. L. J. Stiassny, and C. A. Sullivan. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* **81**:163-182.
- Engel, M., D. Penna, G. Bertoldi, A. Dell'Agnese, C. Soulsby, and F. Comiti. 2015. Identifying run-off contributions during melt-induced run-off events in a glacierized alpine catchment. *Hydrological Processes*.
- Gardent, M., A. Rabatel, J.-P. Dedieu, and P. Deline. 2014. Multitemporal glacier inventory of the French Alps from the late 1960s to the late 2000s. *Global and Planetary Change* **120**:24-37.
- Girard, V., N. Lamouroux, and R. Mons. 2014. Modeling point velocity and depth statistical distributions in steep tropical and alpine stream reaches. *Water Resources Research* **50**:427-439.
- Gouttevin et al., 2016. Modelling efforts to assess changes in hydrology and sustainability of water uses in the Alps. 2nd INARCH workshop, 15/10/2016-17/10/2016, Grenoble, FRA. 22 p.
- Hannah, D. M., L. E. Brown, A. M. Milner, A. M. Gurnell, G. R. McGregor, G. E. Petts, B. P. Smith, and D. L. Snook. 2007. Integrating climate-hydrology-ecology for alpine river systems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **17**:636-656.
- Huss, M. 2012. Extrapolating glacier mass balance to the mountain range scale: the European Alps 1900–2100. *The Cryosphere*. **6**:1117-1156.
- Jacobsen, D., A. M. Milner, L. E. Brown, and O. Dangles. 2012. Biodiversity under threat in glacier-fed river systems. *Nature Climate Change* **2**:361-364.
- Magnier, E. 2013. Neige artificielle et ressource en eau en moyenne montagne: impacts sur l'hydrosystème. Les exemples d'Avoriaz (France) et de Champéry (Suisse). Université Paris-Sorbonne-Paris IV; Université de Lausanne.
- Nepal, S., P. Krause, W. A. Flügel, M. Fink, and C. Fischer. 2014. Understanding the hydrological system dynamics of a glaciated alpine catchment in the Himalayan region using the J2000 hydrological model. *Hydrological Processes* **28**:1329-1344.
- Rabatel, A., J. P. Dedieu, and C. Vincent. 2016. Spatio-temporal changes in glacier-wide mass balance quantified by optical remote sensing on 30 glaciers in the French Alps for the period 1983–2014. *Journal of Glaciology* **62**:1153-1166.
- Tonkin, J. D., S. C. Jähnig, and P. Haase. 2014. The Rise of Riverine Flow-ecology and Environmental Flow Research. *Environmental Processes* **1**:323-330.

- 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. 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.

Modalités d'intervention de l'Agence de l'Eau :

Règle générale : une subvention de 50% d'un budget prévisionnel HT

Montant global alloué par l'Agence de l'Eau sur l'accord cadre AE ZABR : 250 k€ à 300 k€/an