



Les lacs constituent une **grande majorité de l'eau douce terrestre** à l'état liquide, abritent une importante biodiversité et fournissent un ensemble de **services essentiels** (disponibilité en eau douce, valeurs paysagère, touristique, etc.) (Becquet, 2018 ; Feret et al., 2017 ; Jacquemin, 2019 ; O'Reilly et al., 2015). Ils abritent des organismes spécialisés vivant dans des conditions environnementales particulières (englacement prolongé et températures froides même en été, eaux pauvres en minéraux et matières organiques, etc.). **Tout changement, même mineur peut profondément impacter leurs caractéristiques et les organismes qui s'y développent** (Becquet, 2018 ; Feret et al., 2017 ; Jacquemin, 2019 ; O'Reilly et al., 2015). Ces milieux sont donc considérés comme des « **sentinelles** » en raison de leur sensibilité et de leur réponse rapide aux changements environnementaux (Feret et al., 2017 ; Jacquemin, 2019).



I. Modifications des conditions environnementales



Quelles
conséquences

1 Les lacs se réchauffent

Suite à l'augmentation des températures moyennes, une étude réalisée à l'échelle mondiale a démontré que la **quasi-totalité des lacs d'altitude se sont réchauffés au cours des dernières décennies** (Khamis et al., 2014 ; O'Reilly et al., 2015).

Des conséquences en cascade :

Face à l'augmentation des températures, la **durée pendant laquelle la glace recouvre les lacs d'altitudes est plus courte**. Les lacs sont ainsi exposés plus tôt et plus longtemps au rayonnement solaire, ce qui accentue le réchauffement estival (Jacquemin, 2019 ; O'Reilly et al., 2015 ; Woolway et al., 2020).

Les premiers résultats du programme **Lacs sentinelles** mettent en évidence une réduction de la période d'englacement, avec une période de **7.5 à 8 mois/an contre 9 à 10 mois** il y a quarante ans (Martinot et al., 2020).

La **productivité des lacs est également favorisée**, ce qui amplifie les processus d'eutrophisation, même si les lacs de montagne sont moins concernés (Keck et al., 2020). On observe ainsi de plus en plus **d'épisodes d'efflorescences causés par des proliférations importantes de phytoplancton** (Jacquemin, 2019).

Ces phénomènes s'accompagnent souvent d'une augmentation de la matière organique, d'une désoxygénation des eaux profondes, d'une perte de la valeur paysagère, voire de risques de production de toxines, etc. (Jacquemin, 2019 ; O'Reilly et al., 2015).



Lacs du Carro en phase de dégel



Eutrophisation

Phénomène d'enrichissement des eaux ou des sols en nutriments (phosphates, nitrates, etc.). Ce processus est souvent accéléré voire induit par une pollution par le rejet d'effluents domestiques ou agricoles chargés en nutriments. Dans l'eau, il se caractérise de façon générale par une prolifération du phytoplancton et entraîne une augmentation de la productivité primaire. 1



La hausse des températures **perturbe également le régime thermique et le fonctionnement des lacs** :

- La couverture de glace fond plus rapidement au printemps et se reconstitue plus tard en automne, il en résulte une **stratification estivale des masses d'eau plus longue** (Becquet, 2018 ; Jacquemin, 2019).
- Ces perturbations vont également **induire des changements dans les processus associés au brassage de l'eau, dépendants du régime thermique** (cycle des nutriments, dégradation de la matière organique, teneur en oxygène, composition biologique etc.) (Jacquemin, 2019).

Ce réchauffement de l'eau peut entraîner une évaporation accrue et ainsi une baisse du niveau du lac en cas d'apport d'eau insuffisant (O'Reilly et al., 2015 ; Woolway et al., 2020).

2 Réduction des apports en eau de fonte

Pour les lacs d'altitude, l'apport d'eau se fait en grande partie via la fonte des glaciers et de la neige ainsi que par des sources avoisinantes. **La typologie des lacs d'altitude repose en grande partie sur le mode d'alimentation principal** (Martinot et al., 2020).

Ainsi la fonte prononcée des glaciers et la fonte précoce de la neige impactent le régime hydrologique de nombreux lacs, **notamment les lacs polaires et les lacs froids**, principalement alimentés par les eaux de fonte (Khamis et al., 2014).

On s'attend par exemple à **une réduction des apports en eau froide et des charges sédimentaires** habituellement transportées par la fonte des glaciers et de la neige.

Les modifications de l'hydrologie dans les bassins versants pourraient également modifier le régime thermique des lacs.



Lac du Grand Méan (lac polaire)



Lac du Mont coua (lac froid)

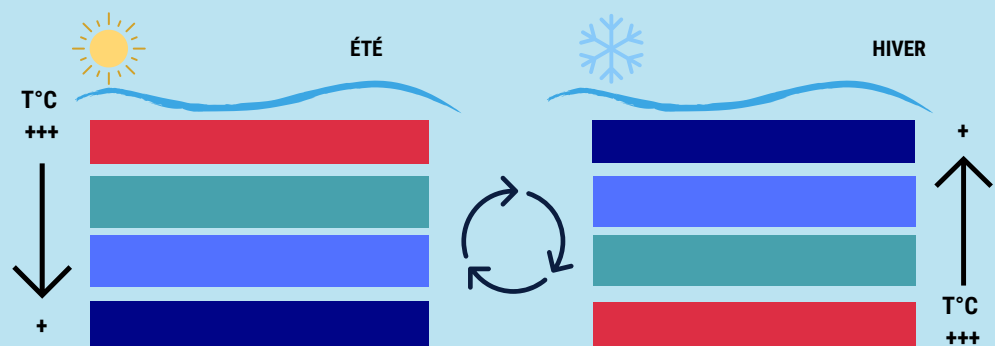
Régime thermique d'un lac



Le régime thermique d'un lac correspond aux changements de température de l'eau dans le temps et à différentes profondeurs (Becquet, 2018). Avec la profondeur, le réchauffement de l'eau induit par le rayonnement solaire s'atténue.

La densité de l'eau étant liée à sa température (densité maximale à 4°C), une stratification thermique se met ainsi en place en été avec les eaux froides en profondeur et les eaux plus chaudes proches de la surface, et inversement en hiver.

L'homogénéisation des composés et les apports en oxygène se font via les brassages qui sont eux-mêmes dépendants des variations de température, de l'eau de fonte et de l'inversion saisonnière de la stratification.

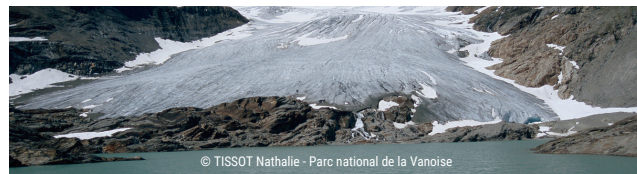
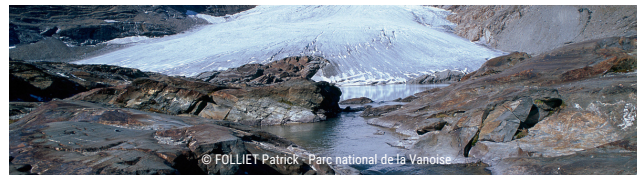




En Vanoise

Le **lac de l'Arpont** qui était jusqu'à 2018 de **type glaciaire** (température en dessous de 6 °C en été, en lien avec son alimentation massive en eau de fonte du glacier de l'Arpont tout proche) **vient de connaître un changement radical**.

Ses **eaux sont devenues plus transparentes et la température de surface a évolué au cours de l'été 2019 pour atteindre 12 °C**. Les suivis récents confirment que le lac n'est plus alimenté directement par les eaux de fonte du glacier, ce qui laisse présager une évolution vers des caractéristiques de lac « froid ».



Lac et glacier de l'Arpont (de haut en bas : 1996 - 2004 - 2016)



Lacs blanc (à gauche) et noir du Carro en 2001 et 2019

Il rejoint donc le **lac blanc du Carro** qui a connu cette déconnexion il y a quelques années, suite à la quasi-disparition du glacier de Derrière-les-lacs et à la formation de plusieurs petits lacs dans les moraines supérieures qui jouent un rôle de filtre (bassins de décantation). Le lac a donc perdu sa couleur laiteuse, liée au transport de fines particules dans les eaux de fonte glaciaire, pour un bleu turquoise.

3 Modification du régime des précipitations

L'apport en eau se fait également via les précipitations sous forme de pluie. Toute modification du régime des précipitations pourrait ainsi perturber l'alimentation en eau des lacs. Actuellement, les modèles climatiques ne prédisent **pas de modifications majeures de la pluviométrie générale** (Woolway et al., 2020). En revanche, **une augmentation des phénomènes extrêmes est prévue**, notamment des orages et des tempêtes qui deviendront plus fréquents. Ces changements pourraient aussi **impacter le régime hydrologique et thermique** des lacs (Jacquemin, 2019 ; Woolway et al., 2020).



Torrent au refuge d'Entre le Lac et au Lac de la Plagne, formé après un orage

- Sur le long terme une augmentation des événements de précipitations extrêmes pourrait entraîner une élévation du niveau des lacs, potentiellement des inondations, un apport accru en nutriments et en sédiments, moins de transparence, etc. (Jacquemin, 2019 ; Woolway et al., 2020).

- Les événements extrêmes estivaux peuvent également entraîner une déstratification temporaire du lac et limiter le réchauffement de l'eau via la lumière (en cas de forte turbidité), modifiant ainsi les cycles biogéochimiques internes du lac notamment en limitant l'apport d'oxygène et d'eau plus chaude en profondeur (Perga et al. 2018).



II. Modification du compartiment biologique

Quelles
conséquences

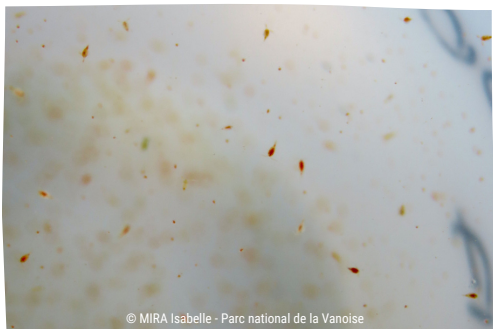


1 Phénologie

Avec l'augmentation des températures, la couverture de glace fond plus rapidement, ce qui permet par exemple au phytoplancton de se développer plus tôt (Jacquemin, 2019).



Algues à la surface du Lac des Échines



Copépodes (petits crustacés), échantillonnés lors du programme "Lacs sentinelles"

2 Modifications de la composition en espèce

Les effets précédemment cités entraîneront également des changements dans les communautés animales et végétales, **avec notamment une augmentation du phytoplancton** (Birck et al., 2013), **une diminution des organismes liés à des eaux froides et un remplacement par des organismes liés à des eaux plus chaudes** (Khamis et al., 2014).

Au cours des dernières décennies, de nombreux lacs semblent connaître une augmentation significative des organismes photosynthétiques et une diminution des organismes hétérotrophes. Ces changements d'abondance sont probablement dus à des modifications des conditions environnementales qui sélectionnent des espèces ayant des exigences écologiques différentes (Keck et al., 2020).

Lacs sentinelles

Si de plus en plus d'études s'intéressent aux impacts du changement climatique sur les lacs d'altitude, notre connaissance de ces milieux reste encore limitée.

Il existe donc un réel besoin d'amélioration des connaissances pour comprendre le fonctionnement des lacs d'altitude et les facteurs environnementaux qui le contrôlent afin d'anticiper leurs réponses face au changement global. Enjeux auxquels le programme Lacs sentinelles souhaite répondre, en assurant un suivi commun et régulier de plusieurs lacs de l'arc alpin (Becquet, 2018).



© AUGÉ Vincent - Parc national de la Vanoise

Campagne de mesure du programme Lacs sentinelles sur le Lac de l'Arpont.



réseau lacs
sentinelles

Pour plus de renseignement, consulter le site internet

<http://www.lacs-sentinelles.org/>



III. Formation de nouveaux lacs



Quelles
conséquences

1 33 nouveaux-nés

En Savoie, **33 nouveaux lacs aux abords des glaciers se sont créés au cours des 40 dernières années**, majoritairement situés en Haute-Maurienne. Ces « nouveaux-nés » se situent aux abords des glaciers, là où le recul de la glace et les modifications géomorphologiques associées ont creusé des dépressions ou des cuvettes d'accueil pour les eaux de fonte (Martinot et al., 2020). La fonte des glaciers a également contribué à l'extension de nombreux lacs.

Ces nouveaux lacs constituent de nouveaux espaces qui seront potentiellement colonisés par des organismes adaptés. Ces nouveaux écosystèmes pourraient compenser en partie les impacts du changement climatique sur les lacs glaciaires, qui seront de plus en plus perturbés par l'évolution de leurs bassins versants et du climat. Ces nouveaux lacs constituent aussi des zones à risques, en cas de vidange glaciaire (cf. Fiche Glacier).

Quelques exemples

- **Lac du Montet** (Bonneval sur Arc) : ce lac est apparu au début des années 1990 et s'est progressivement étendu suite à la fonte du glacier du Montet, ce dernier a d'ailleurs perdu plus des deux-tiers de sa surface initiale. En 2010, le lac et le glacier se sont complètement déconnectés.
- **Lacs du glacier des Sources inférieures de l'Arc** (Bonneval sur Arc) : le premier lac est apparu entre 1980 et 1990, suivi par un deuxième lac en 2010 et d'un troisième en 2012.



- **Lac du Grand Méan** (Bonneval sur Arc) : apparu dans les années 1980, le lac fait aujourd'hui près de 300 m de longueur et 100 m de large.
- **Lac à proximité du glacier du Pelve** (Val Cenis).



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- Becquet, J. (2018). *Étude du régime thermique des lacs d'altitude et des facteurs de contrôle dans le cadre du réseau Lacs sentinelles*. Rapport de stage, Université Savoie Mont-blanc, 56 p.
- Birck, C., Epailard, I., Leccia, M. F., Morand, A., Miaud, C., Bertrand, C., et al. (2013). Sentinel lakes : a network for the study and management of mountain lakes in the French Alps and in Corsica. *Journal on Protected Mountain Areas Research and Management*, 5, 63-69.
- Feret, L., Bouchez, A. & Rimet, F. (2017). Benthic diatom communities in high altitude lakes: a large scale study in the French Alps. *International Journal of Limnology*, 53, 411–423.
- Jacquemin, C. (2019). *Vulnérabilité des lacs de haute altitude au changement climatique*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille, 222 p.
- Keck, F., Millet, L., Debroas, D., Etienne, D., Galop, D., Rius, D., et al. (2020). Assessing the response of micro-eukaryotic diversity to the Great Acceleration using lake sedimentary DNA. *Nat Commun*, 11, 3831.
- Khamis, K., D.M. Hannah, L.E. Brown, R. Tiberti, & A.M. Milner. (2014). « The Use of Invertebrates as Indicators of Environmental Change in Alpine Rivers and Lakes ». *Science of The Total Environment*, 493, 1242-54.
- Martinot, J.P, Mansoux, H., Béranger, P. (2020). *Les lacs de Savoie, du Bourget aux lacs nouveaux-nés.*, Vizille, 193 p.
- O'Reilly, C. M., Sharma, S., Gray, D. K., Hampton, S. E., Read, J. S., Rowley, R. J., Schneider, P., Lenters, J. D., McIntyre, P. B., Kraemer, B. M., et al. (2015), Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 10,773– 10,781.
- Perga, M.-E., Bruel, R., Rodriguez, L., Guénand, Y. & Bouffard, D. (2018). Storm impacts on alpine lakes: Antecedent weather conditions matter more than the event intensity. *Global Change Biology*, 24, 5004–5016.
- Woolway, R.I., Kraemer, B.M., Lenters, J.D., Merchant, C.J., O'Reilly, C.M. & Sharma, S. (2020). Global lake responses to climate change. *Nat Rev Earth Environ*, 1, 388–403.

