

# De grandes réserves d'énergie dans les lacs

Effectué en hiver, le prélèvement d'une chaleur équivalente à la production d'énergie d'une à deux centrales nucléaires ferait baisser la température du lac de Constance de moins de 0,2 degrés, ce qui n'aurait pas d'effet perceptible sur l'écosystème. C'est à cette conclusion qu'est parvenue une étude dans laquelle l'incidence d'un prélèvement hivernal de chaleur ou d'un apport estival d'eau de refroidissement sur la stratification du lac et la répartition des températures a été simulée pour la première fois de façon systématique. *Par Andri Bryner*



Andri Bryner

Fig. 1 : L'énergie thermique du lac de Constance pourrait être exploitée sans dommages pour l'écosystème (sur la photo: le lac de Constance devant la chaîne du Säntis).

Dans une optique d'approvisionnement durable en énergie et de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, l'exploitation de la chaleur ou du pouvoir de refroidissement des lacs gagne en attractivité. En Suisse, près de 65 % de l'énergie utilisée pour le chauffage des bâtiments est encore fournie par des combustibles fossiles, donc non renouvelables. Etant donné que de grandes agglomérations se situent en bordure des grands lacs comme le Léman ou les lacs de Zurich, de Constance ou des Quatre-Cantons, l'idée d'une exploitation de l'immense capacité calorifique des lacs profonds périalpins paraît particulièrement pertinente. Quelques installations

sont déjà en service, comme à Zurich, à Lausanne ou encore à St-Moritz, mais elles sont de faible capacité et d'une conception déjà ancienne limitant leur efficacité. Autrement dit, elles nécessitent un apport d'énergie extérieure trop important pour la chaleur gagnée. Cette énergie extérieure, généralement électrique, est d'autre part fournie par des moteurs à combustion dans les grandes installations.

### La pollution thermique : une menace mal connue

Mais la lutte contre le changement climatique et l'efficacité ou la rentabilité des installations ne sont pas tout. Reste la question de la protection des lacs contre la pollution thermique. On parle de ce type de pollution lorsque des apports d'eau réchauffée (de refroidissement) ou refroidie (de chauffage) dans un milieu aquatique affectent la qualité de l'eau ou nuisent aux communautés biotiques. Il existe encore peu d'études scientifiques sur le sujet. La question, notamment, de savoir à partir de quelle quantité la restitution d'une eau refroidie pose un problème à un lac donné a été très peu étudiée. Dans les rivières, une dérive inhabituelle d'invertébrés a été observée à partir d'une chute subite de température de 3 °C. Des études plus anciennes considèrent de façon générale qu'une modification de température de plus ou moins 0,5 °C ne provoque pas d'effets significatifs sur l'écologie des lacs et rivières.

L'incidence d'un réchauffement artificiel des eaux est un peu mieux connue. Dans le lac de Stechlin, en Allemagne, une élévation de température de 1 °C due à un apport d'eau de refroidissement a ainsi provoqué une augmentation de la production primaire et une modification de la composition en espèces de la faune invertébrée benthique. Dans les rivières, il a été démontré que le réchauffement de l'eau causait l'éviction des poissons d'eau froide, en particulier lorsque la température initiale était déjà élevée. Les avis sont cependant partagés quant à l'amplitude thermique à partir de laquelle des modifications significatives sont susceptibles d'apparaître. Le seul point qui fasse réellement consensus entre les auteurs est la prédiction de conséquences négatives à partir d'un réchauffement de 4 °C.

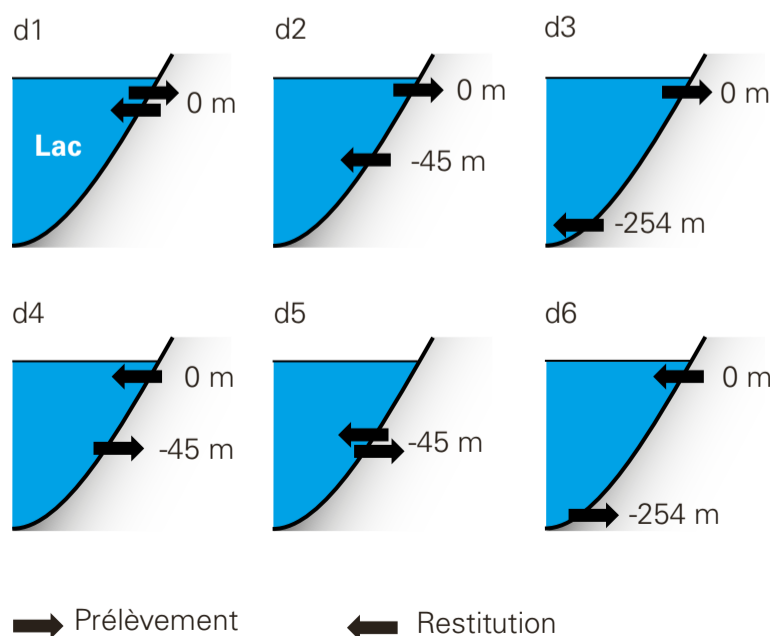


Fig. 2 : Différentes profondeurs de prise et de restitution d'eau envisagées dans la modélisation. Les quantités prélevées et restituées sont identiques.

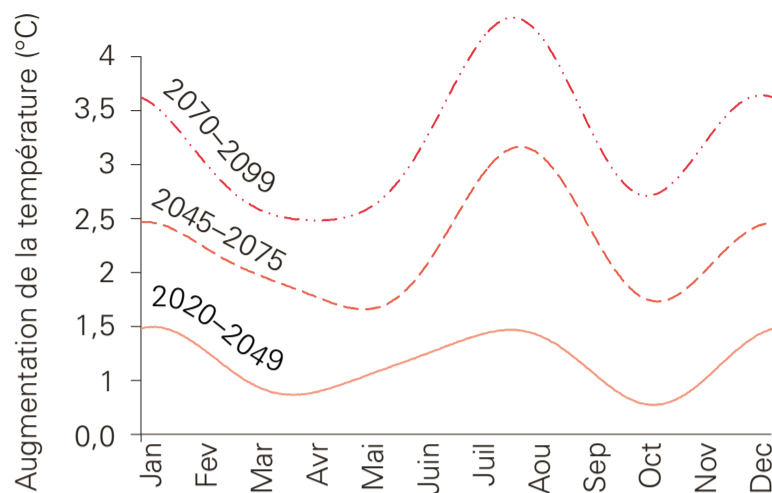


Fig. 3 : Augmentation de la température de l'air au lac de Constance prévue par le scénario A1B du GIEC par rapport à la période 1980-2009.

### Une modélisation basée sur des scénarios réalistes de consommation

Au lieu d'envisager un prélèvement de chaleur si élevé qu'il pourrait causer une baisse de température de plusieurs degrés à la surface du lac, les chercheurs de l'Eawag ont choisi de travailler dans leur nouvelle étude avec des scénarios réalistes de la demande d'énergie. Ils ont ainsi considéré que les besoins seraient d'environ 1 kW par habitant riverain du lac de Constance. Pour 1 million d'habitants, cela équivaudrait à 1 gigawatt (GW) pour le lac ou à 2 W par mètre carré de surface, ce qui correspond à peu près à la production d'une centrale nucléaire. Si on compare ces valeurs à la capacité des pompes déjà installées et aux entrées actuelles d'eau de refroidissement, cela semble beaucoup (environ 30 fois plus) ; comparé au bilan thermique naturel du lac de Constance, c'est cependant peu : le lac perd près de 170 GW ne serait-ce que par rayonnement de grandes longueurs d'ondes et près de 20 GW par évaporation.

Pour évaluer l'évolution spatiotemporelle des températures dans le lac, les chercheurs ont utilisé un modèle de turbulence. Ils ont ainsi déterminé plusieurs scénarios pour différentes quantités prélevées et différentes amplitudes de refroidissement mais également pour différentes profondeurs de prise et de restitution de l'eau (Fig. 2). A titre de comparaison, ils ont également simulé les réactions du lac à un apport d'énergie correspondant aux projections des changements climatiques futurs (Fig. 3).

### Un changement minime de 0,2 degrés

En considérant la demande en énergie prévue pour l'alimentation de la population riveraine, la température du lac ne se modifierait que légèrement : sa surface ne se refroidirait que de 0,2 °C si 1 GW lui était prélevé pour le chauffage des bâtiments. La variation de température ne serait même que de 0,1 °C si le prélèvement de chaleur en hiver était compensé par une restitution estivale (par un apport d'eau de refroidissement).

La modélisation a montré que, suivant la profondeur des prélèvements et restitutions d'eau, les différences de température dans le lac étaient plus ou moins influencées par les quantités prélevées et par la différence de température entre le flux sortant et le flux entrant – et qu'elles

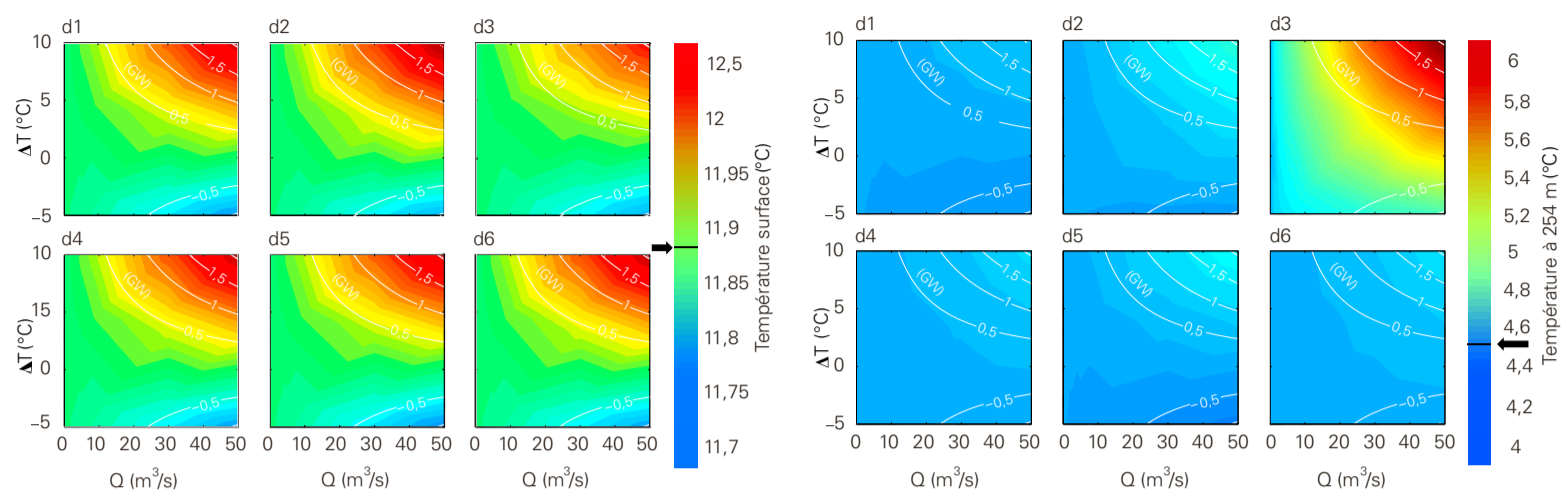


Fig. 4: Température moyenne de l'eau à la surface (à gauche) et au fond du lac, à 254 mètres de profondeur (à droite), simulée pour différentes options de prélèvement-restitution (d1 à d6), différents débits de prise d'eau ( $Q$  de 0 à 50  $m^3/s$ ) et divers écarts de température entre l'eau prélevée et l'eau restituée ( $\Delta T$  de -5 à +10 °C). Les lignes blanches correspondent au flux de chaleur entrant ou sortant en gigawatts (de -1 à +2 GW). La flèche noire apposée à droite sur les échelles de couleur indique la température moyenne actuelle à la surface et au fond du lac. À l'exception des apports d'eau réchauffée en grande profondeur (cas d3 à droite), les prélèvements suivis de restitutions ont très peu d'influence sur la température du lac dans les cas de figure étudiés.

pouvaient donc être régulées en agissant sur ces paramètres. Mis à part un apport d'eau réchauffée en grande profondeur (Fig. 4, figure de droite, cas d3), les différentes options de prélèvement et de restitution ont cependant une influence très modeste sur les variations de température.

Le prélèvement de quantités importantes d'eau de refroidissement suivi de la restitution d'une eau réchauffée peut causer une légère prolongation de la période de stagnation estivale. En moyenne, ce retard n'est cependant que d'une journée par gigawatt apporté. Etant donné que la plupart des scénarios prévoient une augmentation des prélèvements de chaleur en hiver, le brassage (souhaitable) du lac à l'automne et au printemps serait plutôt favorisé par son exploitation thermique. « L'installation d'un système combiné, s'il est bien conçu, devrait permettre une compensation au moins partielle de ces deux effets – intensification du refroidissement en hiver et accentuation du réchauffement en été », indique Gabriel Fink, le premier auteur de l'étude.

Même une restitution de chaleur deux fois plus élevée que celle prévue par le scénario « réaliste » (2 GW) serait largement dominée par les effets du réchauffement climatique. D'après les prévisions du GIEC, celui-ci provoquerait un apport d'énergie de l'ordre de 40 GW à l'échelle du lac (soit 85 W par mètre carré) d'ici la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle. Inversement, des prélèvements importants de chaleur permettraient de ralentir voire de compenser le réchauffement climatique : pour contrebalancer le réchauffement prévu par le GIEC d'ici 2049, 14 GW devraient lui être soustraits d'ici là.



## L'exploitation thermique du lac de Constance acceptée par les riverains

L'utilisation de l'eau du lac de Constance à des fins de chauffage ou de refroidissement était fortement restreinte depuis 1987. En mai 2014, la Commission internationale pour la protection du lac de Constance (IGKB) a assoupli ses positions. Elle autorise maintenant une exploitation thermique du lac dans la limite où elle ne nuit ni à son état ni à celui de ses communautés biotiques. Par ailleurs, une priorité absolue doit être accordée aux aspects écologiques et à l'approvisionnement en eau potable. La composition chimique de l'eau prélevée ne doit ainsi pas être modifiée. D'autre part, les prises d'eau ne sont auto-

risées que jusqu'à 40 m de profondeur et la profondeur des restitutions doit être définie de façon à ce que les flux entrants viennent se positionner à 20–40 m sous la surface. La température de l'eau restituée ne doit pas dépasser 20 °C et, en dehors d'une petite zone de mélange, la variation de température du milieu ne doit pas excéder 1 °C. L'IGKB spécifie enfin qu'il convient de privilégier les projets de grande taille afin de limiter le nombre d'interventions dans le lac et sur les rives. Les petites installations de moins de 200 kW sont ainsi à proscrire.

### La prudence s'impose avec les petits lacs

L'étude soutenue par l'Europe (programme [Interreg IV](#)) avait pour objectif d'évaluer les possibilités et limites d'une exploitation thermique du lac de Constance. Le responsable du projet, Alfred Wüest, est certain que les résultats peuvent être extrapolés à d'autres grands lacs. Dans le cas des lacs peu profonds de faible dimension, il recommande la prudence. De même, il lui semble indispensable de rester vigilant vis-à-vis d'effets néfastes qui pourraient apparaître localement. « Néanmoins, dans les conditions fixées pour l'étude, et dans lesquelles la température de l'eau ne doit pas varier de plus de 0,2 degrés à la surface du lac, les effets sur le brassage hivernal et la stagnation estivale sont négligeables », souligne le chercheur. L'impact sur l'écosystème devrait donc être très faible, surtout si on le compare au bénéfice environnemental de l'économie d'énergies fossiles ainsi réalisée. Il espère que les résultats de l'étude redynamiseront les grands projets de géothermie de surface initiés dans le pays, comme celui du rafraîchissement et du chauffage des locaux de l'EPFL, de l'Université de Lausanne ou des bâtiments l'ONU à partir du Léman (projet « [Genève-Lac-Nations](#) »). Alfred Wüest a grossièrement estimé le potentiel thermique que l'on pourrait tirer du Léman et des lacs de Constance, de Neuchâtel, des Quatre-Cantons et de Thun réunis si l'on acceptait une différence de température d'au maximum 1 °C jusqu'à 100 mètres de profondeur. Le résultat est édifiant : plus de 60 gigawatts !

>> [Article original paru dans « Water Resources Research »](#)

**Contact:** [alfred.wueest@eawag.ch](mailto:alfred.wueest@eawag.ch)