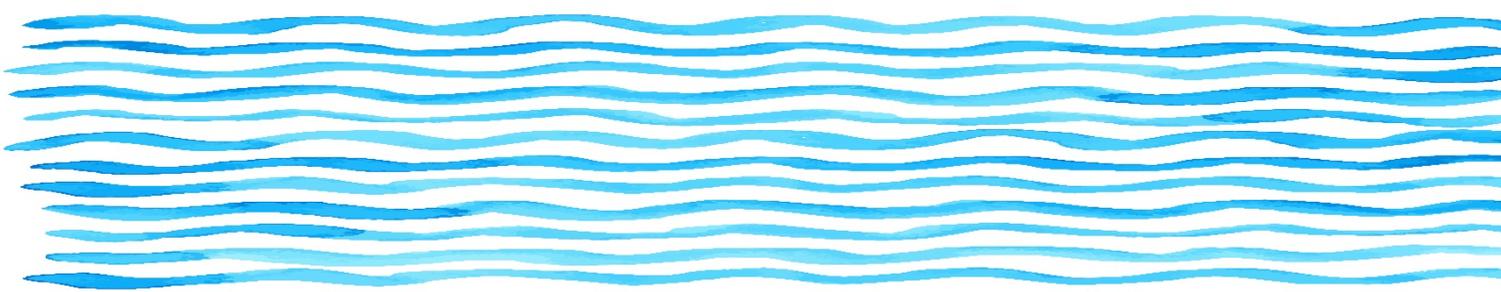


*Unil*

**UNIL** | Université de Lausanne

# Eau et tourisme

E. REYNARD, M. CALIANNI, M. MILANO



SUR MANDAT DE L'OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT OFEV - FEVRIER 2021

UNE ETUDE REALISEE DANS LE CADRE DU THEME PRIORITAIRE "CYCLE HYDROLOGIQUE" DU NATIONAL CENTRE FOR CLIMATE SERVICES

## Mentions légales

**Mandant** : Office fédéral de l'environnement (OFEV), division Hydrologie, CH-3003 Berne

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

**Mandataire** : Emmanuel Reynard

**Auteur** : Emmanuel Reynard, Martin Calianno, Marianne Milano, Université de Lausanne

**Accompagnement OFEV** : Petra Schmocker-Fackel, Fabia Hüsler

**Remarque** : La présente étude a été réalisée sur mandat de l'OFEV. Seul le mandataire porte la responsabilité de son contenu. Ce rapport est la version française, légèrement remaniée, du chapitre 5 Wasser und Tourismus, In: Lanz, K. (Hrsg.) *Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft der Schweiz*. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Evillard.

**Manière de citer** : Reynard E., Calianno M., Milano M. (2021). *Eau et tourisme*. Lausanne, Université de Lausanne. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement OFEV. Berne, Suisse, 25 p.

**Remerciements** : Les auteurs remercient Klaus Lanz, Fabia Hüsler, Olivier Overney et Petra Schmocker-Fackel pour leurs judicieux conseils.

## Table des matières

<b>RESUME .....</b>	<b>2</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>1. DEMANDES EN EAU POUR LE TOURISME.....</b>	<b>3</b>
DIFFERENTES DEMANDES EN EAU.....	3
DEMANDE EN EAU POUR LE TOURISME ET SAISONNALITE .....	5
DEMANDES EN EAU ACTUELLES POUR LE TOURISME DANS DIFFERENTES REGIONS DE SUISSE ET POUR DIVERS TYPES DE TOURISME ...	7
<b>2. IMPACTS DU TOURISME SUR LES RESSOURCES EN EAU .....</b>	<b>14</b>
<b>3. LE FUTUR.....</b>	<b>15</b>
EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET SOCIO-ECONOMIQUES SUR LA SAISONNALITE TOURISTIQUE.....	15
EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET SOCIO-ECONOMIQUES SUR DIFFERENTS TYPES DE TOURISME .....	15
EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET SOCIO-ECONOMIQUES SUR LE TOURISME HIVERNAL DE MONTAGNE.....	17
<b>4. CONFLITS D'INTERET .....</b>	<b>19</b>
<b>5. SOLUTIONS ET/OU SYNERGIES POTENTIELLES .....</b>	<b>20</b>
<b>6. LACUNES DE CONNAISSANCES .....</b>	<b>21</b>
<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>22</b>

## Résumé

Le tourisme est une branche importante de l'économie suisse mais les statistiques concernant les usages de l'eau par le secteur touristique sont rares. Ce rapport traite des besoins en eau pour le tourisme en Suisse. Il établit une représentation conceptuelle des relations entre eau et tourisme, montrant que l'eau est utilisée autant de manière directe comme support pour des activités touristiques spécifiques (canyoning, patinage, pêche...), comme paysage naturel et culturel, et comme aménité touristique (fontaines, centres aquatiques), que de manière indirecte pour l'irrigation des espaces publics, des jardins et des golfs, pour l'enneigement artificiel et pour le lavage et le transport. L'approvisionnement en eau potable des communes touristiques est caractérisé par une très forte saisonnalité qui a un impact sur le dimensionnement des infrastructures. La demande en eau actuelle pour le tourisme est variable selon les régions et le type de tourisme ; on distingue le tourisme urbain, lacustre, de rivière, spéléologique, thermal, glaciaire et hivernal en stations de montagne. Ces dernières sont fortement concernées par l'enneigement artificiel dont l'impact sur la gestion de l'eau dépend de l'échelle d'analyse et de la source d'eau prélevée. Les principaux impacts du changement climatique sur le secteur touristique dans le futur sont la réduction de l'enneigement, l'impact de la dégradation du permafrost sur les infrastructures de haute montagne, les modifications paysagères, notamment en haute montagne avec la fonte des glaciers, les dangers naturels et leurs conséquences sur les infrastructures et les activités touristiques. Le changement climatique présente également des opportunités pour le tourisme suisse, notamment un avantage concurrentiel à long terme pour le tourisme de ski, en raison de la haute altitude des domaines skiables grisons et valaisans et la valorisation du tourisme estival de montagne (recherche de fraîcheur). Les effets du réchauffement climatique sur la ressource en eau et ses usages par le secteur touristique sont donc multiples et divergents ; ils se combinent avec les changements socio-économiques. Une meilleure anticipation de ces impacts passe par une amélioration des connaissances, notamment l'élaboration de statistiques et la réalisation d'études sur les impacts de l'enneigement artificiel sur la gestion de l'eau à l'échelle régionale et sur l'attractivité des régions touristiques dans un contexte de changement climatique.

## Zusammenfassung

Der Tourismus ist ein wichtiger Wirtschaftszweig der Schweizer Wirtschaft, jedoch gibt es kaum Statistiken über die Wassernutzung durch den Tourismussektor. Dieser Bericht befasst sich mit dem Wasserbedarf für den Tourismus in der Schweiz. Es bietet eine konzeptionelle Darstellung der Beziehung zwischen Wasser und Tourismus und zeigt, dass Wasser sowohl direkt als Ressource für spezifische touristische Aktivitäten (Canyoning, Schlittschuhlaufen, Angeln usw.) dient, aber auch als Natur- und Kulturlandschaft und als touristisches Angebot (Brunnen, Wasserzentren) genutzt wird. Zudem wird Wasser auch indirekt für die künstliche Beschneigung von Skipisten, der Bewässerung von öffentlichen Räumen (Gärten, Golfplätzen usw.) und für die Reinigung genutzt. Die Trinkwasserversorgung von Tourismusgemeinden ist durch eine sehr hohe Saisonalität gekennzeichnet, die sich auf die Dimensionierung der Infrastrukturen auswirkt. Der aktuelle Bedarf an Wasser für den Tourismus variiert je nach Region und Art des Tourismus. Man kann zwischen Stadt-, See-, Fluss-, Speläologie-, Thermal-, Gletscher- und Wintertourismus in Berggebieten unterscheiden. Skitourismus ist stark von der künstlichen Beschneigung betroffen, deren Auswirkungen auf das Wassermanagement von den erhobenen Datenanalyse und der entnommenen Wasserquelle abhängen. Die wichtigsten Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismussektor in der Zukunft sind die Verringerung der Schneedecke, der Rückgang des Permafrosts und die Gletscherschmelze, welche Landschaftsveränderungen provozieren. Touristische Aktivitäten könnten in Zukunft durch eine erhöhte Anzahl an Naturereignissen und gefährdeter Infrastruktur speziell im Hochgebirge tangiert werden. Der Klimawandel bietet aber auch Chancen für den Schweizer Tourismus, der sich aufgrund der grossen Höhe der Skigebiete in den Kantonen Wallis und Graubünden, einen langfristigen Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Ländern verschaffen kann. Zudem kann in der Zukunft auch der sommerliche Bergtourismus lukrativ sein, weil die Menschen womöglich vermehrt frische und kühle Luft in den Bergen suchen werden. Die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Wasserressourcen und deren Nutzung durch den Sektor Tourismus sind also vielfältig und unterschiedlich. Sie lassen sich mit sozio-ökonomischen Veränderungen verbinden. Eine bessere Antizipation dieser klimatischen Ereignisse erfordert eine Verbesserung der Kenntnisse. Insbesondere durch Erhebungen von Statistiken und Studien zum Wasserverbrauch und den Auswirkungen von künstlichen Beschneigungsanlagen auf die Wasserverwaltungen in den umliegenden Regionen und die touristische Attraktivität, können diese Kenntnisse verbessert werden.

## Introduction

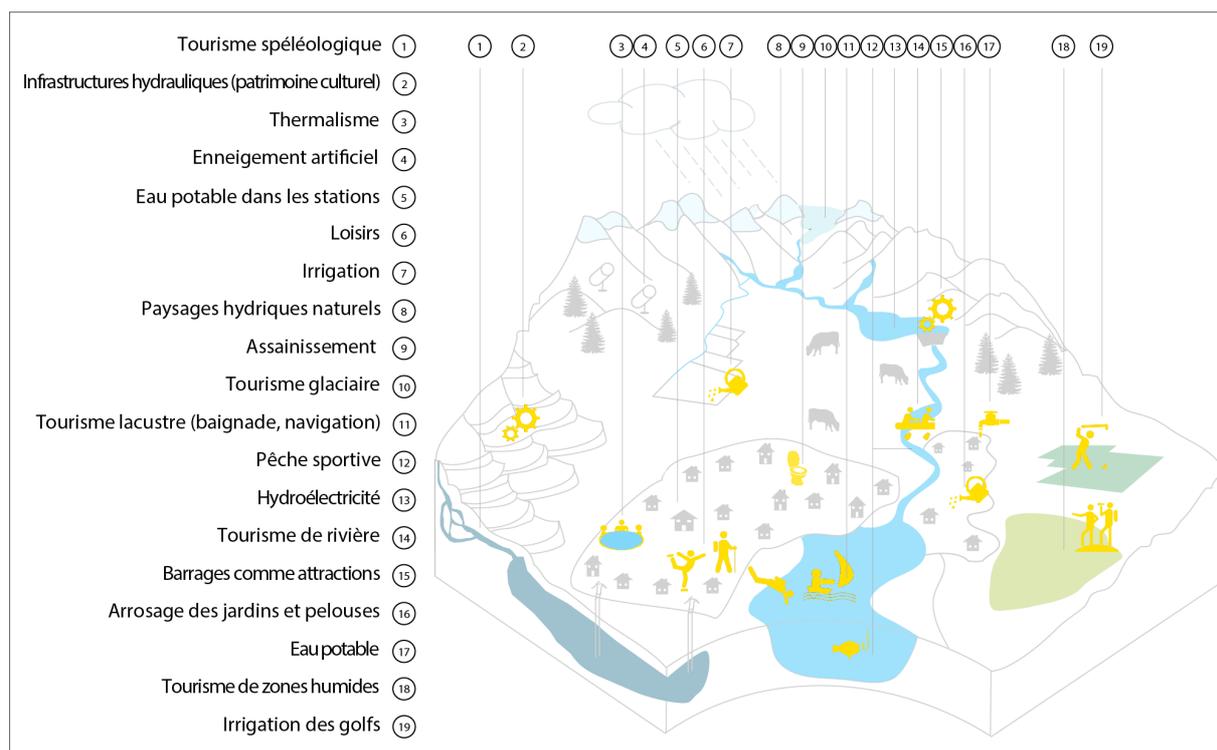
Le tourisme est une branche économique importante en Suisse, représentant 2.4% du PIB, 4.4% des revenus d'exportation et 18.7 milliards de valeur ajoutée brute ; il génère 53.3 millions de nuitées par année et emploie 165 675 équivalents plein-temps (FST, 2018; OFS 2019).

Contrairement à d'autres secteurs économiques, il n'existe généralement pas de statistiques nationales sur les usages de l'eau par le secteur touristique et la question des besoins en eau pour celui-ci est insuffisamment explorée (Gössling et al., 2012). C'est le cas en Suisse également. Ce rapport porte sur les besoins en eau pour le tourisme en Suisse. Il se base essentiellement sur des travaux menés au niveau international, sur des rapports généraux sur la Suisse (par ex. pour l'enneigement artificiel) et sur quelques études de cas spécifiques.

## 1. Demandes en eau pour le tourisme

### Différentes demandes en eau

La demande en eau pour le tourisme se situe à deux niveaux (Fig. 1). L'eau est à la fois un atout pour les activités touristiques nécessitant la présence d'eau sous ses diverses formes (neige pour le tourisme hivernal, glaciers pour le tourisme glaciaire, plans d'eau pour le tourisme ornithologique par exemple) et une ressource pour les touristes (besoins quotidiens) et certains usages spécifiques (production de neige artificielle, irrigation des golfs, par exemple) (Gössling et al., 2012).



**Fig. 1. Principales relations entre eau et tourisme.**

A cela, il faut ajouter l'eau virtuelle utilisée pour la production de biens touristiques, principalement l'eau pour la production de carburants (18 litres d'eau par litre de carburant) et de nourriture (Gössling et al., 2012). L'eau virtuelle consommée pour le transport touristique et pour la consommation de nourriture – estimée entre 2000 et 7500 litres par jour et par touriste (Gössling et al., 2012) – n'est pas traitée dans ce rapport.

L'eau est utilisée comme ressource pour les activités touristiques, soit de manière directe, soit de manière indirecte. L'eau est utilisée de manière **directe** pour les usages touristique suivants :

- l'eau comme support pour des activités touristiques spécifiques : eau sous forme de neige pour le ski et autres sports de neige ; eau sous forme de glace pour le patinage et autres activités de glace ; eau liquide pour la baignade, les sports nautiques, le canyoning, le rafting et la pêche ; eau thermale pour le tourisme de bien-être et médical ;
- l'eau comme paysage naturel : l'eau est un élément marquant du paysage, base de l'activité touristique dans de nombreuses régions. C'est le cas des destinations touristiques lacustres (Lucerne, Zurich, Genève, Léman, Bodensee, lacs tessinois ou de l'Engadine, lacs de montagne) ou de bords de rivières (Bâle, Berne, Schaffhouse, St-Ursanne), des cascades (Lauterbrunnen) et chutes d'eau (chutes du Rhin, Saut du Doubs), de gorges (Aareschlucht), de glaciers (Aletsch, Rhône, Titlis, Alpes valaisannes, glaciers de la Bernina), et de sites paysagers souterrains (grottes de Vallorbe, lac souterrain de St-Léonard) ;
- l'eau comme élément du paysage culturel : en Valais, les bisses (canaux d'irrigation) sont des infrastructures agricoles incluses dans l'offre touristique depuis le milieu des années 1980 (Reynard, 1998) ; d'autres infrastructures hydrauliques font l'objet d'une valorisation touristique, que ce soit d'anciens moulins (moulins souterrains du Col-des-Roches au Locle), des infrastructures hydroélectriques (les barrages de la Grande-Dixence, Mauvoisin, Emosson ou Grimsel) ou encore des infrastructures de drainage telles que celles de la plaine de l'Orbe (Vaud) et de la correction des eaux du Jura ; l'eau constitue le pilier de certains musées, comme le musée du Léman à Nyon ; elle participe également à l'image paysagère de certaines destinations (les chutes du Rhin à Schaffhouse ou le jet d'eau de Genève) ;
- l'eau comme aménité touristique : l'eau est utilisée comme aménité dans les lieux touristiques, sous forme de fontaines, de plans d'eau ou de canaux, de centres aquatiques.

L'eau est utilisée de manière **indirecte** afin de développer des activités ou des services touristiques. C'est le cas :

- de l'eau utilisée pour l'irrigation des espaces publics, des jardins des hôtels ou des campings, des jardins des résidences secondaires, des golfs ;
- de l'eau utilisée pour l'enneigement artificiel des pistes de ski ;
- de l'eau utilisée pour le lavage et le transport.

Finalement, la ressource en eau sert à l'approvisionnement en eau potable des communes, qui sont aussi responsables de l'épuration des eaux usées. Ces deux tâches communales, et les infrastructures qui leur sont liées, sont fortement impactées par la saisonnalité de l'occupation touristique (Calianno, 2018, 2020). Elles dépendent également du comportement des touristes (tendance au gaspillage de l'eau ; Martin, 2006) et de pratiques spécifiques à l'activité touristique, notamment le changement quotidien du linge de maison dans les hôtels. Il en résulte une demande quotidienne supérieure à la moyenne domestique (Gössling et al., 2012), estimée à 300 litres par jour et par personne (alors que pour la Suisse, la demande des ménages est en moyenne de 142 litres par jour et par personne ; [www.trinkwasser.ch](http://www.trinkwasser.ch), consulté le 15.01.2021).

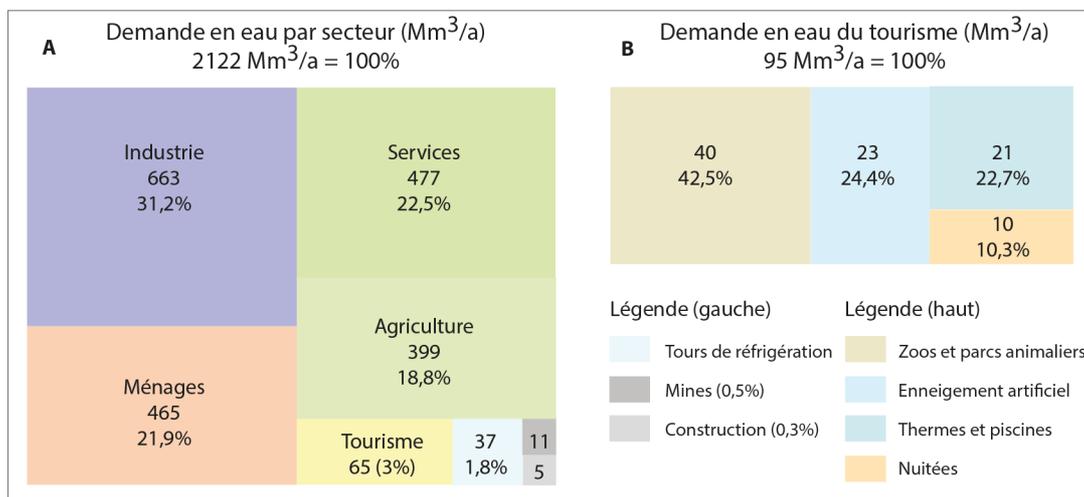
Différents facteurs influencent l'utilisation de l'eau par les touristes (Gössling, 2006 ; Gössling et al., 2012), notamment la catégorie des hôtels (plus le nombre d'étoiles est élevé, plus la demande est importante), le contexte climatique régional (pour l'arrosage des jardins), la présence de piscines ou spas, la présence de restaurants (eau utilisée pour la cuisine), ainsi que la saison. La présence de résidences secondaires hauts de gamme, équipées de piscines, joue également un rôle sur la quantité d'eau utilisée par les touristes (Calianno, 2018).

Dans les communes à forte composante touristique, la part de la distribution d'eau potable dédiée spécifiquement aux touristes (hôtels, résidences secondaires) peut être autant importante que l'eau distribuée aux habitants. Par exemple, à Celerina, les hôtels utilisent la même quantité d'eau que les habitants (respectivement 198 000 et 196 000 m<sup>3</sup> par année ; Lanz, 2016, p. 16). A Zermatt, la demande des résidents reste assez stable, entre 60 000 et 70 000 m<sup>3</sup> par mois ; celle des touristes varie entre 15 000 m<sup>3</sup> (durant les mois creux de mai et novembre) et 80 000 m<sup>3</sup> par mois durant la haute saison hivernale (60 000 m<sup>3</sup> par mois en été ; Bonriposi, 2013, p. 130).

## Demande en eau pour le tourisme et saisonnalité

A l'échelle mondiale, la demande en eau pour le tourisme international (utilisation directe par les touristes) est généralement inférieure à 1% de la demande totale en eau (Gössling et al., 2012). Selon ces auteurs, en Suisse, elle se monte à 0.34%. Rapportée à la demande en eau domestique, la demande pour le tourisme international et domestique est évaluée respectivement à 8.78 et 17.06 millions de m<sup>3</sup>, ce qui équivaut respectivement à 3.18 et 6.18% de la demande domestique totale, pour un total de 9.36% de la demande en eau domestique totale, ce qui place la Suisse au septième rang mondial, après l'Espagne et la France, et avant la Grèce (Gössling et al., 2012, p. 3). Toutefois, ce taux élevé est peu problématique dans la mesure où la Suisse utilise une faible part des ressources disponibles, ce qui n'est pas le cas de certains pays touristiques tels que Malte, les Emirats Arabes Unis ou la Barbade, qui utilisent plus de 100% de leurs ressources renouvelables, en faisant appel à des ressources en eau non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer, notamment). En d'autres termes, la part d'usage de l'eau par les touristes est importante par rapport à la demande domestique mais reste faible par rapport à la ressource en eau totale.

Une autre évaluation a été effectuée dans le cadre du PNR 61 (Björnsen Gurung et Stähli, 2014). La demande en eau pour le tourisme y est estimée à 65 millions de m<sup>3</sup>, soit 3% de la demande totale d'eau (2 122 millions de m<sup>3</sup>), incluant l'agriculture, mais pas l'hydroélectricité (**Fig. 2a**). 10 millions de m<sup>3</sup> proviennent des nuitées, le reste étant utilisé pour les piscines et les thermes, l'enneigement artificiel et les zoos et parcs animaliers (**Fig. 2b**).



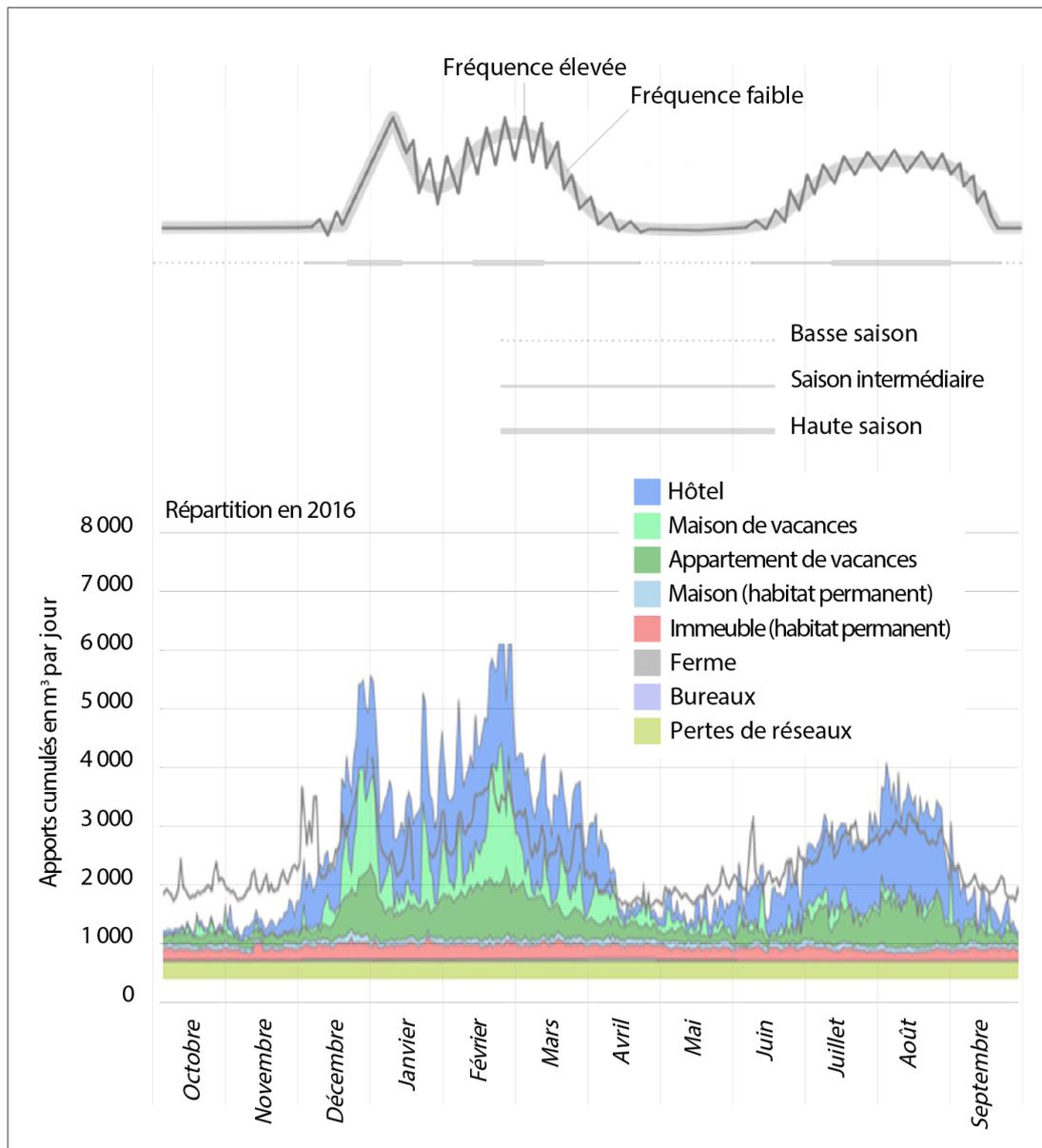
**Fig. 2. A. Demande en eau par secteurs d'activités. B. Demande en eau du secteur touristique**  
(selon Björnsen Gurung et Stähli, 2014, p. 22 et 30).

La sécurité de l'approvisionnement en eau au niveau communal est limitée par de nombreux facteurs, parmi lesquels la **saisonnalité** de l'occupation de la commune. L'Office fédéral de l'environnement a classé les communes suisses en cinq niveaux de vulnérabilité de l'approvisionnement : les régions touristiques sont classées dans le profil 4 présentant une vulnérabilité élevée en raison notamment des fluctuations saisonnières causées par le tourisme (BAFU, 2014). Des exemples de communes classées dans cette catégorie sont Davos, Gstaad, St. Moritz ou Lenzerheide.

La saisonnalité de l'occupation touristique varie selon plusieurs facteurs : le profil touristique de la station (station de sports d'hiver, station littorale, station 4-saisons), le profil démographique de la station (ville avec activité touristique ; ville touristique ; station à mono-activité touristique). Parmi ces dernières, la saisonnalité est la plus forte dans les stations de sports d'hiver intégrées, consacrées exclusivement à la pratique du ski (stations dites de la troisième génération), pour lesquelles le taux d'occupation peut varier d'un facteur de 1 à 10 au moins. Dans les stations de première ou deuxième génération, le tourisme est l'activité principale mais pas unique ; la variation est plutôt d'un facteur 1 à 5. Les stations lacustres peuvent également présenter une certaine saisonnalité, mais en Suisse, elles sont souvent intégrées dans le tissu urbain local (stations littorales des lacs du Plateau et du Tessin). Le tourisme urbain (Genève, Zurich, Berne) ne présente pas de réelle

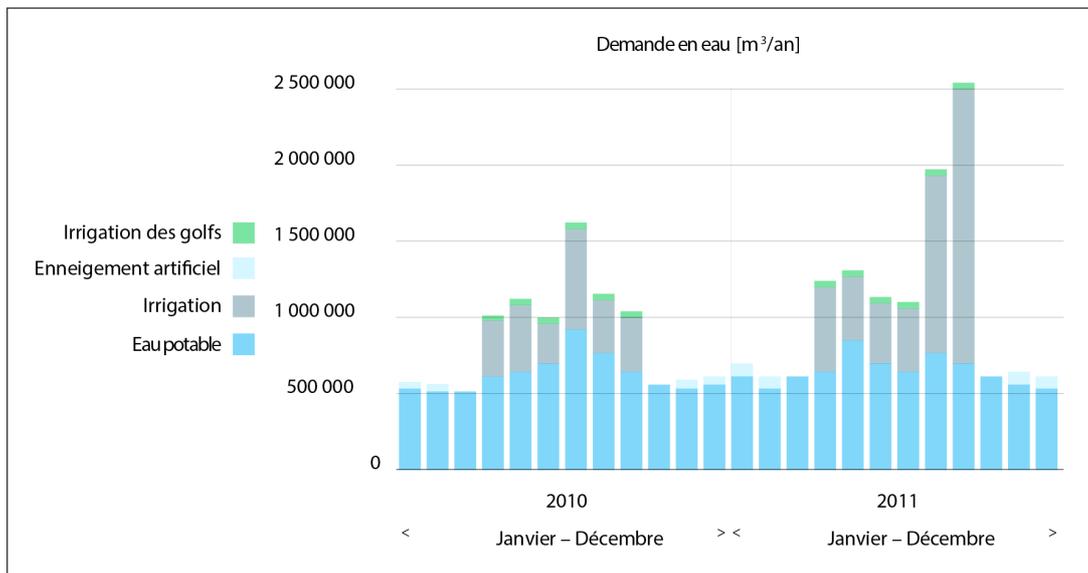
saisonnalité car les visites sont réparties sur l'ensemble de l'année et la part de la population touristique par rapport à la population totale est faible.

Dans les **stations de montagne**, la variabilité de la demande en eau se présente à un triple pas de temps : saisonnier, hebdomadaire et journalier (Calianno, 2018 ; **Fig. 3**). Il y a d'abord une variation saisonnière liée à la variabilité de l'activité touristique. L'occupation des stations est maximale durant la période des fêtes de fin d'année et en février-mars, avec parfois une troisième période durant les fêtes de Pâques, ce dernier pic dépendant de la date Pâques. La variabilité hebdomadaire est surtout visible en janvier ou en mars lorsque l'occupation des stations est plus faible à l'exception du samedi et dimanche (résidents secondaires et skieurs journaliers). Finalement, au cours de la journée, un pic de demande a lieu en fin de journée, au retour des activités extérieures.



**Fig. 3. Saisonnalité de la demande en eau en région touristique de montagne. Haut : représentation schématisée de la variabilité saisonnière et hebdomadaire de l'occupation touristique en station de montagne. Bas : Distribution journalière d'eau potable par la régie des eaux de Megève (Haute-Savoie, France) en 2016 (ligne noire) et répartition selon les types de bâtiments en suivant la méthode des analogues (modifié selon Caliano, 2018, 2020).**

Dans les régions touristiques sèches comme l'Engadine et certaines régions du Valais, bien que l'occupation touristique soit maximale en hiver, le pic d'utilisation d'eau a parfois lieu en été en raison des grandes quantités d'eau utilisées pour l'irrigation. C'est le cas par exemple à Crans-Montana (Reynard et Bonriposi, 2012 ; Bonriposi, 2013 ; Weingartner et al., 2014 ; PNR61, 2015, p. 110 ; Calianno, 2018 ; **Fig. 4**).



**Fig. 4. Saisonnalité de la demande en eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Reynard et al., 2014).**

Cette forte saisonnalité se traduit par des pics de demandes et par la nécessité de dimensionner les **infrastructures** (réservoirs, conduites, stations de potabilisation) pour faire face à ces pics. Elle a également un impact sur l'épuration des eaux usées. Non seulement, les infrastructures doivent être dimensionnées par rapport aux taux d'occupation maximale, mais en plus, le choix technique doit permettre de faire face à de brusques variations, notamment au passage entre la très basse saison (novembre à mi-décembre) et la très haute saison (mi- à fin décembre). Finalement, la haute altitude rend parfois difficile l'épuration biologique, l'activité bactérienne étant réduite en raison du froid. C'est pourquoi les systèmes physico-chimiques sont privilégiés par rapport aux systèmes biologiques (Reynard, 1997, 2000) et certaines stations épurent leurs eaux usées en plaine dans de grosses installations urbaines, ce qui permet de réduire les effets de la saisonnalité. C'est notamment le cas de Crans-Montana, dont les eaux usées sont épurées par la STEP de Sierre.

### Demandes en eau actuelles pour le tourisme dans différentes régions de Suisse et pour divers types de tourisme

La demande en eau pour les activités touristiques varie selon les régions de Suisse et le type de tourisme. Le **tourisme urbain** modifie peu la demande en eau urbaine. L'occupation a lieu souvent durant le week-end, compensant la demande en eau plus faible des bureaux et industries. Il s'agit en partie de tourisme d'affaires qui n'a pas de besoins en eau spécifique. L'occupation touristique présente une saisonnalité relativement faible et le nombre de visiteurs est proportionnellement assez faible par rapport à la population résidente (à Zurich moins de 15 000 lits hôteliers pour une population de 400 000 habitants (3.75%), à Genève environ 10 000 lits pour 200 000 habitants (5%), à Lucerne 6000 lits pour 80 000 habitants (7.5%)). Finalement, les infrastructures touristiques nécessitant de l'eau pour leur fonctionnement – piscines, patinoires, etc. –, sont en premier lieu utilisées par la population résidente.

Le **tourisme lacustre**, qui constitue une part importante du tourisme estival en Suisse, notamment au Tessin et autour des grands lacs du Plateau, est d'abord demandeur en paysages aquatiques de qualité. Ces paysages ont souvent été aménagés pour l'accueil des touristes (plages, campings, chemins de berge, etc.). Le tourisme lacustre nécessite une eau de bonne qualité microbiologique pour la baignade. Actuellement, une grande partie des plages des lacs suisses sont de bonne qualité (EEA, 2019 ; OFEV, 2020). Il n'en a pas toujours été le cas. A

titre d'exemple, la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL) publie chaque année une carte de la qualité des plages. En 2020, 92% des 118 plages classées présentent une qualité excellente à bonne (CIPEL, 2020). Une seule plage a une eau pouvant être momentanément polluée et aucune plage n'est impropre à la baignade (<http://www.cipel.org>, consulté le 15.01.2021). De 1992 à 2016, la proportion de plages propices à la baignade est passée de 52% à 86% (CIPEL, 2017a). La proportion de plages de qualité moyenne reste autour de 13% depuis une dizaine d'années.

Depuis les années 1970, une tendance à l'augmentation des températures hivernales et estivales des lacs est observée à l'échelle européenne (Arvola et al., 2010). Par exemple, dans le lac Léman, les températures moyennes de surface sont passées de 11.7°C en 1974 à 12.5°C en 2016, soit une augmentation d'environ 0.8°C en 42 ans (CIPEL, 2017a, b). Cette hausse des températures de l'eau des lacs a des effets bénéfiques pour l'attrait touristique dans la mesure où elle augmente les possibilités de baignade. Néanmoins, elle favorise une augmentation de l'abondance de phytoplancton en surface, saturant les milieux aquatiques d'algues, et devenant de la sorte défavorable au tourisme. La réduction du brassage hivernal augmente aussi les risques de prolifération de phytoplancton.

Le tourisme lacustre génère une grosse activité de **navigation**, tant privée que par des compagnies publiques. A titre d'exemple, les rives du lac de Zurich peuvent accueillir 6000 bateaux (Kanton Zürich, 2013, p. 39) et le trafic nautique provoque des impacts importants sur l'hydromorphologie des rivages des lacs. La navigation nécessite par ailleurs une profondeur suffisante de l'eau. En 2003, la navigation sur le lac de Constance et sur le Haut-Rhin a été perturbée (<http://www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/554.pdf>, p. 168, consulté le 15.01.2021). Durant la sécheresse de l'été et de l'automne 2018, la réduction de plus de 10 mètres du niveau du lac des Brenets, sur le Doubs, a empêché la navigation pendant un certain temps (OFEV et al., 2019).

Certains lacs permettent des activités touristiques liées au gel hivernal. C'est le cas notamment des lacs du Jura (lac de Joux, lac des Taillères à la Brévine) et de l'Engadine. Le patinage n'est toutefois possible que durant les périodes les plus froides de l'hiver. Avec la réduction du nombre de jours de gel en Suisse (<https://www.meteosuisse.admin.ch>, consulté le 15.01.2021) d'environ 20% entre 1961 et 2016, le potentiel pour cette activité est en régression.

Le **tourisme de rivière** est également bien développé en Suisse et permet des activités diversifiées. En plus de la randonnée, de la visite de villes ou villages historiques (Bâle, Fribourg, Berne, St-Ursanne sur le Doubs, Stein am Rhein, Schaffhouse), de la pêche, certains cours d'eau sont navigables sur certains secteurs ou près de leur embouchure dans un lac. D'autres se prêtent au rafting (Vorderrhein, Lütschine, Sarine, Rhône, Vispa, Reuss, Ticino) et au canyoning (notamment les rivières du Tessin, de l'Oberland bernois et du Valais). Certaines rivières sont également fortement utilisées pour la baignade. C'est le cas de l'Aar à Berne, de la Limmat à Zurich, du Rhône à Genève, ou encore de la Verzasca, « envahie » de touristes suite à une vidéo postée sur Facebook en 2017, vantant son caractère de « Maldives de la Suisse » (Fig. 5).

Le tourisme de rivière est dépendant du climat à deux niveaux : les variations de débits liées aux précipitations, notamment les orages estivaux, et les étiages. La crue éclair du Saxetenbach (Oberland bernois) survenue le 27 juillet 1999 et faisant 21 morts dans un groupe de personnes pratiquant le canyoning est l'événement le plus meurtrier, mais d'autres accidents ont eu lieu en Suisse, y compris suite à des crues subites liées à des purges d'aménagements hydroélectriques. Quant aux étiages prolongés, suite à des sécheresses, ils réduisent les possibilités de navigation et, comme sur les lacs, modifient le régime thermique des rivières, ce qui peut avoir des impacts sur l'activité touristique (baignade, pêche). Le Rhin a récemment fait l'objet d'une étude fine sur les étiages (IKSR-CIPR-ICBR, 2018). L'étiage est défini comme la plus faible moyenne arithmétique de débit sur 7 jours consécutifs pendant une période de référence, telle que l'année (NM7Q). Les auteurs ont relevé que les étiages étaient plus nombreux durant la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle qu'au cours des 50 dernières années. Dans un horizon proche (2021-2050), aucune tendance nette n'est à relever, alors que dans la deuxième moitié du XXI<sup>e</sup> siècle, il faut s'attendre à des étiages plus nombreux et plus longs. La principale conséquence des étiages est une hausse des températures de l'eau, de l'ordre de 1.5°C au milieu du XXI<sup>e</sup> siècle et de 3°C à la fin du siècle pour le Rhin. Durant la canicule 2003, une mortalité importante d'anguilles et d'ombres a été constatée sur le Rhin suisse (IKSR-CIPR-ICBR, 2018, p. 23), ce qui a pu avoir des effets sur la pêche récréative et sportive. Par contre aucun effet pérenne et à long terme des étiages n'a été constaté pour le moment. Comme dans les lacs, la qualité des eaux peut être altérées par des concentrations élevées de bactéries et la formation de cyanobactéries (IKSR-CIPR-ICBR, 2018). Les étiages provoquent également une diminution de la hauteur d'eau et de la largeur des chenaux, susceptible d'impacter certaines activités touristiques (rafting, navigation).



**Fig. 5. Forte fréquentation touristique pour la baignade dans la Verzasca (Tessin) en août 2017**  
(photo : E. Reynard).

L'un des enjeux de l'activité touristique dans les lacs et rivières est la question des accidents. Entre 2009 et 2018, 45 noyades par année ont eu lieu en moyenne en Suisse (BPA, 2019) ; elles ont été dues surtout à la baignade en eaux libres (42%), à d'autres activités sportives (23%) et à la navigation (9%). Lors des étés caniculaires, le nombre de noyades lors de sports aquatiques a été nettement plus important que durant les étés frais et humides (43 noyades durant l'été chaud 2015 contre 12 durant l'été frais et humide de 2014).

Le **tourisme spéléologique** est dépendant du contexte géologique ; il est développé principalement, dans le Jura et les Préalpes (<http://swisskarst.ch/>, consulté le 15.01.2021) ; il est en partie lié à la ressource en eau. Certaines attractions souterraines sont des rivières (sources de l'Orbe à Vallorbe) ou des lacs (lac souterrain de St-Léonard), voire des infrastructures hydrauliques souterraines (moulins souterrains du Col-des-Roches au Locle). Le principal impact du climat sur le tourisme souterrain est la brusque montée des eaux suite à des événements météorologiques en surface, mais les accidents sont rares.

Le **tourisme thermal** est également une forme spécifique de tourisme liée aux conditions hydrogéologiques. Les destinations du tourisme thermal sont essentiellement situées en Valais (Leukerbad, Ovronnaz, Saillon), dans les Grisons (Vals) et en Suisse orientale (Bad Ragaz) (OVT, 2013, p. 2). La fréquentation est actuellement en baisse, notamment pour le thermalisme médical.

Le **tourisme glaciaire** représente une activité importante dans certaines régions (Aletsch, Zermatt, Saas Fee, val d'Anniviers, massif de la Bernina, Oberland, Titlis). Les glaciers constituent une attraction pour le tourisme estival, avec souvent des infrastructures spécifiques permettant la visite (grottes glaciaires du Titlis ou du glacier du Rhône ; Fig. 6). Le nombre de glaciers permettant le ski d'été est passé de 9 domaines (Zermatt, Saas Fee, Corvatsch, Diavolezza, Laax, Engelberg, Crans-Montana, Les Diablerets, Verbier) au milieu des années 1990 (Abegg et al., 1994) à deux domaines skiables en 2020 (Zermatt et Saas Fee).

Actuellement, les glaciers alpins perdent annuellement entre 2 et 3% de leur volume et la perte de volume des glaciers suisses entre 2008 et 2018 est estimée à 20% (GLAMOS, 2018). Les paysages glaciaires se sont ainsi fortement modifiés en raison du retrait des glaciers, qui libère de grandes surfaces recouvertes de moraines et d'éboulis, et de l'augmentation de la couverture sédimentaire de certains glaciers les rendant plus gris. Il est difficile d'évaluer si ces changements ont un impact sur l'attractivité des sites glaciaires (FIF, 2011). L'un des effets de cette fonte glaciaire est la formation de nouveaux lacs, dont les plus récents sont les lacs des glaciers de Grindelwald, Trift, Palü et Rhône (Haeberli et al., 2013). Ces nouveaux lacs apportent une contribution significative à la qualité du paysage et peuvent constituer une nouvelle attraction touristique (Fig. 6).



*Fig. 6. Couverture artificielle partielle de la langue du glacier du Rhône pour protéger l'attraction touristique de la grotte glaciaire (en blanc sur la droite) ; à gauche : lac glaciaire formé en raison du retrait progressif du front du glacier (photo : E. Reynard, août 2017).*

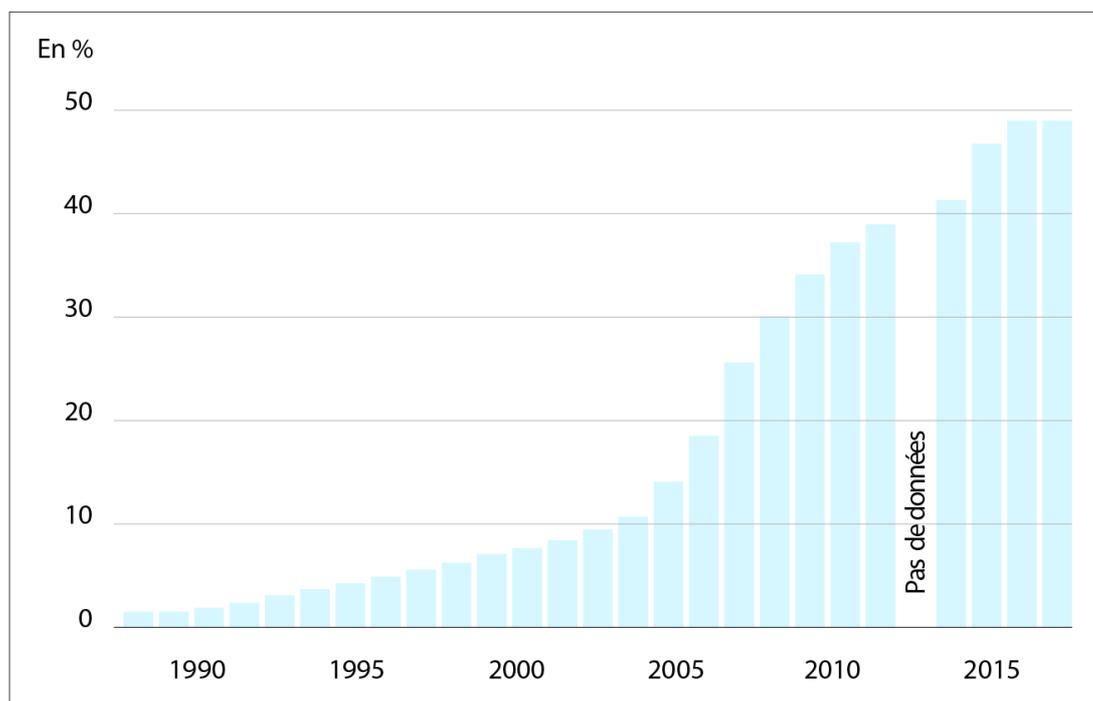
Le **tourisme hivernal en stations de montagne** est sans conteste le type de tourisme qui a les plus gros impacts sur la ressource en eau en raison de la forte saisonnalité de l'occupation et du développement, depuis la fin des années 1980, de l'enneigement artificiel (voir ci-dessous). La demande en eau est généralement maximale en hiver, avec un deuxième pic de demande en été (**Fig. 3**). Dans certains cas, lorsque la part de l'irrigation dans la station est importante, le pic de demande en eau potable peut avoir lieu en été. C'est notamment le cas à Crans-Montana (**Fig. 4**), station dans laquelle 1/8 de la distribution d'eau potable sert à l'irrigation (Reynard et Bonriposi, 2012). Les stations de montagne ont une **activité touristique estivale** plus ou moins importante. Les mêmes problèmes de saisonnalité se posent, mais avec une intensité moindre qu'en hiver.

Parmi les demandes en eau indirectes, on peut mentionner l'eau pour l'**arrosage des golfs**. La Suisse compte 95 parcours de golf (<https://fr.leadingcourses.com/europe+suisse/clubs.html>, consulté le 15.01.2021) et le nombre de pratiquants est passé de 6796 en 1975 à 94 073 en 2019 (<https://www.swissgolf.ch/>, consulté le 15.01.2021), auxquels il faut ajouter les pratiquants étrangers durant leurs vacances en Suisse. Les quantités d'eau nécessaires pour l'irrigation des golfs dépendent du climat, des sols et de la taille du golf (Gössling et al., 2012). Elles varient typiquement entre 80 000 à 100 000 m<sup>3</sup> par an et 150 000 à 200 000 m<sup>3</sup> par an entre le Nord et le Sud de la France. Sur le Plateau suisse, les besoins sont estimés à 35 000 m<sup>3</sup> par an ou 500 m<sup>3</sup> par jour durant la saison d'été (Lanz et al., 2014, p. 31). A Crans-Montana, les trois golfs utilisent entre 85 000 et 90 000 m<sup>3</sup> par an, ce qui est négligeable (0.66 %) par rapport à la demande totale en année sèche (excepté l'hydroélectricité) qui est de 13.6 millions de m<sup>3</sup> (Bonriposi, 2013 ; Reynard et al., 2014 ; Weingartner et al., 2014). Des conflits locaux peuvent survenir, notamment lorsque les prélèvements sont faits dans les réseaux d'eau potable ou dans les nappes ou rivières. Cela a été le cas en 2017 sur l'Allondon (Genève), où les huit golfs situés sur la partie française du bassin versant ont été accusés de prélever trop d'eau au détriment de la pêche et de l'agriculture (<https://www.20min.ch/fr/story/les-golfs-accuses-d-assecher-l-allondon-827648289094>, consulté le 15.01.2021). Les fertilisants chimiques pour l'entretien des golfs peuvent aussi polluer les eaux souterraines ou de surface. Des conflits d'usage entre exploitation du golf et protection des eaux sont par exemple signalés à Crans (lac) et Samedan (eaux souterraines) (Lanz, 2016, p. 58).

### Un usage spécifique : l'enneigement artificiel

La neige est le critère principal de choix d'une destination pour les vacances hivernales en montagne (Scott, 2006). L'enneigement artificiel s'est développé en Suisse comme une conséquence des trois hivers pauvres en neige de la fin des années 1980 (1987/1988-1989/1990) (Elsasser et Bürki, 2002). On considère qu'un site est favorable à la pratique du ski quand en moyenne durant sept hivers sur dix, une couche de neige d'au moins 30 cm est présente durant au moins 100 jours entre le 1<sup>er</sup> décembre et le 15 avril (concept de *snow reliability*) (Abegg, 1996 ; König et Abegg, 1997). Au début des années 2000, la limite inférieure pour la pratique du ski en Suisse était située à 1200 m (Elsasser et Bürki, 2002, p. 254) ; 85% des 230 stations de ski suisses satisfaisaient aux critères pour une pratique optimale du ski.

La Suisse compte environ 22 500 km de pistes de ski (Remontées mécaniques suisses, 2017). Les surfaces enneigées artificiellement ont fortement augmenté depuis les années 1990. Entre 2000 et 2010, la part des surfaces enneigées artificiellement en Suisse est passée de 10 à 33% (Pütz et al., 2011, p. 358). Cette proportion est actuellement d'environ 49% (Remontées mécaniques suisses, 2017 ; **Fig. 7**) et elle stagne depuis 2014. A titre de comparaison, dans les Alpes italiennes et en Autriche, elle est respectivement de 87% et 70%, contre 32% pour la France. Le pourcentage de pistes enneigées artificiellement est très variables d'une station à l'autre : plus de 70% du domaine skiable de Zermatt est enneigé (Lanz et al., 2014, p. 30), alors que de nombreuses petites stations n'ont aucune installation d'enneigement, souvent par manque de moyens financiers. L'enneigement artificiel est aussi pratiqué sur certaines pistes de ski de fond, notamment en Engadine (Lanz, 2016).



**Fig. 7. Evolution de la part des pistes de ski enneigées artificiellement sur le total des pistes en Suisse**

(Source : Remontées mécaniques suisses, 2017).

Les impacts de l'enneigement artificiel sur la ressource en eau sont multiples.

Du **point de vue quantitatif**, selon les conditions météorologiques, un mètre cube d'eau permet de produire entre 2 et 2.5 m<sup>3</sup> de neige et pour enneiger un hectare de piste (30 cm de couche de base), il faut entre 600 et 1500 m<sup>3</sup> d'eau (Steiger et Mayer, 2008), pour une moyenne de 1000 m<sup>3</sup> par hectare (Hahn, 2004), ce qui représente environ 11 millions de m<sup>3</sup> pour enneiger une fois l'ensemble des 11 000 ha de pistes enneigées artificiellement en Suisse. A l'échelle des Alpes, une estimation réalisée en 2004 considérait qu'il fallait compter environ 95 millions de m<sup>3</sup>, soit l'équivalent de la demande en eau d'une ville de 1.5 millions d'habitants (Hahn, 2004). Pour la Suisse, les estimations sont comprises entre 8.4 et 17 millions de m<sup>3</sup> par an (Freiburghaus, 2009 ; Björnson Gurung et Stähli, 2014, p. 29), voire 23 millions de m<sup>3</sup> par an (Freiburghaus, 2009 ; Björnson Gurung et

Stähli, 2014, p.30). Ces volumes représentent 0.45% de la demande en totale en Suisse (<https://sciencesnaturelles.ch/water-explained/water-exploitation/water-quantities-in-switzerland>, consulté le 15.01.2021).

Les études à une échelle fine sont peu nombreuses. Rixen et al. (2011) ont calculé la demande en eau pour l'enneigement artificiel des stations de Davos et Scuol (GR) durant l'hiver 2006/07 (**Tab. 1**). Elle représente respectivement 21.5 et 36.2% de la distribution d'eau potable des communes ; à Crans-Montana (Bonriposi, 2013), le rapport tombe à 11%. Cela est dû à la part importante d'eau potable utilisée pour l'irrigation des jardins et pelouses dans cette station au climat estival sec (Reynard et Bonriposi, 2012). Vanham et al. (2009) ont calculé la demande en eau pour l'enneigement artificiel total du domaine skiable de Kitzbühel, en Autriche, situé à des altitudes comprises entre 800 et 2000 m, sous climat actuel (1961-1990 ; demande de 5.55 millions de m<sup>3</sup> par an) et pour un scénario de réchauffement de 2°C à l'horizon 2050 (demande de 9.03 millions de m<sup>3</sup> par an). Ils constatent que la ressource disponible, évaluée au moyen du modèle PREVAH, est suffisante pour satisfaire tous les besoins à l'échelle régionale et saisonnière. Par contre, lors des hivers secs, les ressources sont insuffisantes en décembre, qui correspond à la période de création de la couche de base.

**Tab. 1. Demande en eau pour l'enneigement artificiel des stations de Davos et Scuol durant l'hiver 2006/07 (Rixen et al., 2011) et Crans-Montana en 2010/11 (Bonriposi, 2013 ; Reynard et al., 2014).**

Caractéristiques	Parsenn – Davos	Scuol	Crans-Montana
Surfaces de pistes avec enneigement artificiel (ha)	150	144	49.5
Demande en eau pour l'enneigement artificiel (m <sup>3</sup> )	300 000	200 000	450 000
Part de la distribution communale d'eau potable (%)	21.5	36.2	11.0*

\* Par rapport à la distribution d'eau potable des six communes touchant à la station en 2011.

Paradoxalement, la demande en eau pour l'enneigement artificiel est importante aussi durant les années riches en neige. La raison est qu'une large proportion de la neige artificielle est produite en novembre et au début décembre, avant le début de la saison de ski afin d'assurer la couche de base, qui correspond à une période où l'on ne connaît pas quelles seront les conditions de neige durant l'hiver à venir (Rixen et al., 2011).

La mesure de l'impact quantitatif de la demande en eau pour l'enneigement artificiel pose la question de l'**échelle d'analyse**, tant temporelle que spatiale. A l'échelle suisse, l'eau potable utilisée pour l'enneigement est très faible (0.2% de l'utilisation totale d'eau potable ; Freiburghaus, 2009). Par contre, les impacts à l'échelle régionale ou locale peuvent être importants. Pour la station de Crans-Montana, la demande en eau pour l'enneigement artificiel est approximativement de 300 000 m<sup>3</sup> durant les hivers normaux et 450 000 m<sup>3</sup> durant les hivers secs (Bonriposi, 2013), ce qui représente une demande maximale de 11% de la distribution d'eau potable annuelle dans les communes concernées par la station (**Tab. 1**). Ramenée à l'ensemble des communes du bassin versant, cette proportion est de 5.5% (Reynard et al., 2014). La part de l'enneigement artificiel par rapport à tous les usages de l'eau dans le bassin versant tombe à 0.6% si l'on prend en compte l'hydroélectricité (**Tab. 2**) et 3.3% des usages hors hydroélectricité (Reynard et al., 2014). Elle équivaut à 0.3% de la ressource disponible (140 millions de m<sup>3</sup> par an) à l'échelle régionale. Sur le plan temporel, l'impact est élevé en raison des étiages hivernaux. Durant les hivers secs, il faut compter environ 100 000 m<sup>3</sup> d'eau par mois entre novembre et février, ce qui correspond au tiers de la demande en eau potable des communes durant la haute saison hivernale (env. 300 000 m<sup>3</sup> par mois) et 1/10 de la ressource disponible à l'échelle régionale (estimations selon les calculs de Bonriposi, 2013). Ce cas détaillé démontre qu'il n'est pas pertinent d'appréhender l'impact de l'enneigement artificiel sur la ressource en eau de manière générale (par ex. à l'échelle de la Suisse). Chaque situation doit être étudiée de manière spécifique. En général, la demande en eau pour l'enneigement artificiel reste limitée par rapport à la ressource annuelle disponible à l'échelle régionale et par rapport à d'autres usages, notamment l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation (Bonriposi, 2013 ; Weingartner et al., 2014 ; PNR61, 2015, p. 111). A l'échelle mensuelle et localement, l'impact peut être important et nécessite une bonne gestion du

stockage de l'eau et de la répartition des ressources durant la haute saison hivernale afin d'éviter des conflits d'usage (Vanham et al., 2009 ; Reynard et al., 2014).

**Tab. 2. Différentes demandes en eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (11 communes) durant l'année sèche 2011 (Bonriposi, 2013 ; Reynard et al., 2014).**

Caractéristiques	Volume [Mm <sup>3</sup> ]	Proportion de la demande en eau totale [%]
Hydroélectricité	61.2	81.9
Distribution d'eau potable	8.2	11
Irrigation	4.8	6.4
Irrigation des golfs	0.09	0.1
Enneigement artificiel	0.45	0.6
Total	74.74	100

Un autre enjeu de la demande en eau pour la production de neige artificielle concerne la **source de l'eau prélevée**. Dans les années 1990, les installations d'enneigement artificiel prélevaient autant des eaux de surface (directement dans des ruisseaux et rivières ou des lacs d'altitude) que des eaux souterraines, des eaux des réseaux d'approvisionnement en eau potable, et parfois même des eaux stockées dans les lacs de barrages hydroélectriques. Les prélèvements directs dans le milieu (qui coïncidaient avec les étiages hivernaux) ont souvent été remplacés par le stockage estival de l'eau de fonte des neiges dans des retenues artificielles, soit dans des barrages hydroélectriques existants, soit dans de nouvelles retenues. A Zermatt, la majorité de l'eau pour l'enneigement provient des prises d'eau et des bassins d'accumulation hydroélectrique (Lanz et al., 2014, p. 17), tout comme à Crans-Montana (Bonriposi, 2013). Le prélèvement dans les lacs de barrage induit des coûts énergétiques importants pour pomper l'eau vers les domaines skiables souvent situés plus haut que les barrages, sans compter que l'eau a un coût, correspondant à la perte de production hydroélectrique. Les grandes stations de l'Engadine (St. Moritz, Pontresina, Scuol, Samnaun) ont construit des réservoirs d'altitude, qui doivent souvent être remplis par des eaux provenant d'altitudes plus basses (Lanz, 2016, p. 10). La plus grande retenue de Suisse (400 000 m<sup>3</sup>) a été construite à Corviglia (St. Moritz) en 2015 (Lanz, 2016, p. 40). En Engadine, une part non négligeable de l'eau pour l'enneigement artificiel provient de sources, avec parfois des servitudes spécifiques en faveur de l'enneigement (Silvaplana) (Lanz, 2016, p. 38). Actuellement déjà, dans de nombreuses communes d'Engadine, la disponibilité de l'eau est un facteur limitant pour l'extension de l'enneigement artificiel (Lanz, 2016, p. 40).

Un dernier problème important pour l'enneigement artificiel est la forte **intensité** de cet usage. Dans les domaines skiables bien équipés, la couche de base de 30 cm avant le début de la saison est créée en 5 jours environ (Vanham et al., 2009) et la consommation horaire par enneigeur peut atteindre 40 m<sup>3</sup>. C'est pourquoi les grandes stations sont équipées de véritables usines à neige, indépendantes des réseaux d'eau potable. Le réservoir de Corviglia (Grisons) a une capacité de production de 1900 m<sup>3</sup>/h, ce qui est plus que le besoin horaire de la ville de Berne (1600 m<sup>3</sup>/h) (Lanz, 2016, p. 40). A l'échelle journalière, en haute saison, les besoins pour l'enneigement à Celerina sont de 1600 m<sup>3</sup>/jour, trois fois supérieurs à la demande journalière des résidents (537 m<sup>3</sup>/jour) (Lanz, 2016, p. 41).

## 2. Impacts du tourisme sur les ressources en eau

Si l'on reprend les trois grandes catégories de tourisme en Suisse – tourisme urbain, tourisme lacustre, tourisme de montagne –, les constats suivants peuvent être tirés :

- Le tourisme urbain ne génère pas d'impacts supplémentaires sur la ressource autres que les impacts des villes elles-mêmes.
- Le tourisme lacustre est très dépendant de la qualité de la ressource (paysage, qualité de l'eau pour la baignade) ; il génère des impacts sur le paysage lacustre (urbanisation des rives, ports de plaisance) et peut péjorer la qualité des eaux, ainsi que l'hydromorphologie des rives lacustres. Mais comme pour le tourisme urbain, les stations littorales suisses n'étant généralement pas des stations à mono-activité touristique, les impacts du tourisme lacustre sur les quantités d'eau prélevées et sur la qualité des eaux peuvent être considérés comme faisant partie des impacts généraux de régions urbaines.
- Le **tourisme de montagne** est celui qui a le plus d'impacts sur la ressource. Bien qu'elles soient peu nombreuses, les études détaillées (par ex. à Crans-Montana) démontrent que la saisonnalité de la demande en eau potable est forte (d'un rapport de 1 à 3 à Crans-Montana) et qu'elle suit trois pas de temps (saisonnier, hebdomadaire, journalier ; Calianno, 2018). Les périodes de haute saison coïncidant avec les étiages hivernaux et estivaux (pour les bassins versants à régime nival), cela implique des capacités de stockage suffisante et une bonne interconnexion des réseaux.

Concernant les différents usages indirects de l'eau, les constats suivants peuvent être faits :

- L'**enneigement artificiel** a un impact important sur la ressource, surtout en raison de sa forte intensité (demande importante durant des laps de temps courts, de quelques heures à quelques jours). Les quelques études détaillées disponibles montrent que les volumes prélevés sont proportionnellement faibles par rapport au bilan hydrique annuel (moins de 1% des écoulements). Par contre, l'impact à échelle courte (journalière, hebdomadaire, voire mensuelle) peut être important, surtout si les eaux sont prélevées directement dans le milieu au moment de l'étiage hivernal. C'est la raison pour laquelle les grandes stations se sont dotées au cours des dernières années d'installations autonomes et d'ouvrages de stockage (ou d'accords pour le prélèvement dans des lacs de barrages hydroélectriques). Deux autres impacts de l'enneigement artificiel sur le milieu doivent être relevés : l'augmentation des débits de fonte au printemps, qui peuvent doubler par rapport à la neige naturelle, (SLF, 2002), et l'évaporation des réservoirs, qui peut atteindre 10 à 30% (Bjørnsen Gurung et Stähli, 2014).
- Les études sur l'impact des **golfs** sont peu nombreuses. A Crans-Montana, les besoins sont négligeables à l'échelle du bassin versant (Reynard et al., 2014). Par contre, la demande peut être importante durant les périodes de sécheresse et impacter fortement la ressource, si les prélèvements sont faits directement dans le milieu (par ex. Allondon).

Enfin, différents impacts sur le milieu peuvent être relevés :

- Les impacts sur la **qualité des eaux** ne sont pas spécifiques au tourisme. L'épuration des eaux usées a suivi la même tendance que dans les régions non touristiques. Par le passé (années 1960-1980), la forte concentration durant la haute saison touristique hivernale a pu jouer un rôle accélérateur dans le développement de stations d'épuration par rapport à d'autres régions rurales. La grave épidémie de fièvre typhoïde de Zermatt en 1963, qui a provoqué trois décès et l'hospitalisation de plus de 450 personnes, a très certainement contribué au développement de l'épuration des eaux usées au moment de la grande vague de construction des stations de montagne.
- Finalement, il faut mentionner les impacts des infrastructures touristiques sur les **milieux aquatiques et humides** (voir Davenport et Davenport, 2006 pour une revue). Il s'agit essentiellement des infrastructures de navigation (ports, marinas), de baignade (plages aménagées) et de prélèvements spécifiques au tourisme (irrigation des golfs, enneigement artificiel).

### 3. Le futur

Le tourisme est un secteur économique particulièrement impacté par le réchauffement climatique (Müller et Weber, 2008 ; FIF, 2011). Les principaux **impacts** du réchauffement climatique sur le secteur touristique sont la réduction de l'enneigement (remontée de la limite inférieure de la neige, diminution du nombre de jours de neige par hiver, augmentation de la part des précipitations sous forme liquide en hiver), l'impact de la dégradation du permafrost sur les infrastructures de haute montagne, les modifications paysagères, notamment en haute montagne avec la fonte des glaciers, les dangers naturels et leurs conséquences sur les infrastructures et les activités touristiques. Le réchauffement climatique présente également des **opportunités** pour le tourisme suisse, notamment un avantage concurrentiel à long terme pour le tourisme de ski, les stations grisonnes et valaisannes étant comparativement à plus haute altitude que celles des pays voisins (Abegg et al., 2007, p. 35), la valorisation du tourisme estival de montagne (recherche de fraîcheur par rapport aux destinations méditerranéennes) ou l'augmentation de l'attractivité des villes jouissant d'un meilleur climat (OFEV, 2012a, p. 61). Les effets du réchauffement climatique sur la ressource en eau et ses usages par le secteur touristique sont donc multiples et divergents. Ils se combinent avec les changements socio-économiques.

#### Effets des changements climatiques et socio-économiques sur la saisonnalité touristique

Le développement du tourisme 4-saisons est un objectif défini par plusieurs cantons et affiché par de nombreuses stations dépendant fortement de la saison hivernale. Si un tel développement devait se réaliser, on peut s'attendre à une diminution de la saisonnalité de la demande en eau résultant plus d'une augmentation de la demande des autres saisons que d'une réduction de la demande hivernale. Bonriposi (2013, p. 142) a mis en évidence une corrélation positive entre température de l'air et demande en eau potable. Dans certaines stations des Alpes (Valais central, Engadine), particulièrement sèches, ce double effet d'un renforcement de l'occupation touristique estivale et de l'augmentation de la demande en eau par habitant durant les périodes chaudes pourrait augmenter le risque de stress hydrique en été et en automne, d'autant plus que le régime hydrologique des rivières de montagne pourrait être modifié à l'avenir avec une réduction des écoulements en deuxième partie d'été et début d'automne (OFEV, 2012b). A Crans-Montana, une augmentation future du stress hydrique en deuxième moitié d'été a été clairement établie sous différents scénarios socio-économiques (Weingartner et al., 2014). Cela impliquera le recours accru à des infrastructures de stockage et pourrait impacter sur les capacités de remplissage estival des réservoirs pour l'enneigement artificiel.

#### Effets des changements climatiques et socio-économiques sur différents types de tourisme

Le réchauffement climatique va accentuer l'effet d'îlot de chaleur urbain (Sachindra et al., 2015). Il est difficile de savoir si cela aura une conséquence à l'avenir sur le **tourisme urbain**. Tout au plus peut-on faire l'hypothèse que les infrastructures d'eau (fontaines, points d'eau) devront être développées dans les villes afin de faire face aux épisodes de canicule et de vagues de chaleur et que sous un climat nettement plus chaud, la fréquentation touristique estivale des villes – notamment, celles ne bénéficiant pas de lacs ou rivières – diminuera et sera déplacée vers le printemps et l'automne. Le tourisme urbain ne présentant pas une très forte saisonnalité, on ne doit pas s'attendre à des impacts significatifs sur la gestion future de l'eau.

Les études empiriques sur les effets du changement climatique sur le tourisme de nature sont peu nombreuses (Scott, 2006). Il est donc difficile de faire des prédictions précises sur les impacts du développement futur du **tourisme de rivières et de lacs** sur la ressource en eau. Du point de vue de l'attractivité, les tendances climatiques observées dans le passé (réduction du nombre de jours de gel, augmentation des températures de l'eau et des étiages, réduction du brassage hivernal des lacs) devraient perdurer, ce qui pourrait modifier l'offre touristique de certains sites à long terme (sports de glace, baignade). La tendance à l'augmentation des sécheresses devrait également avoir un impact sur l'utilisation touristique des rivières en raison de l'assèchement temporaire des lits (PNR61, 2015, p. 47). Le réchauffement devrait au contraire renforcer l'attractivité des lacs, notamment en altitude.

Le **tourisme glaciaire** devrait quant à lui être fortement impacté. La diminution des possibilités pour ski d'été, qui s'est réduit à deux domaines skiables en Suisse (Zermatt, Saas Fee) ces dernières années, devrait continuer. La réduction des surfaces glaciaires, leur progressive couverture par des blocs et sédiments et la disparition de nombreux glaciers dans le courant du XXI<sup>e</sup> siècle devraient vraisemblablement modifier le paysage de certaines

régions. Il est toutefois difficile de prédire l'impact que cela aura sur l'attractivité touristique, celle-ci dépendant également d'autres facteurs, notamment le marché global du tourisme et les pratiques des touristes. Il n'est donc pas possible, actuellement, d'évaluer un possible impact sur la demande en eau.

Le potentiel de création de nouveaux **lacs glaciaires** suite au retrait des glaciers est important. La fonte totale des glaciers suisses devrait libérer 500 à 600 dépressions qui pourraient former des lacs, dont un tiers auraient un volume supérieur à 1 million de m<sup>3</sup> et certaines dépressions aux glaciers d'Aletsch, Gorner, Otemma, Corbassière et Gauli ont un potentiel de plus de 50 millions de m<sup>3</sup> (Haeberli et al., 2013). Elles constituent une nouvelle ressource pour l'hydroélectricité et peuvent également devenir de nouveaux paysages lacustres de montagne, attractifs pour le tourisme d'été (PNR61, 2015, p. 21).

La demande en eau des **golfs** devrait évoluer de manière diversifiée dans le futur. A Crans-Montana (région sèche dans laquelle les golfs sont irrigués), une augmentation de maximum 15% (soit 15 000 m<sup>3</sup> par an) a été calculée sous changement climatique à l'horizon 2050 (Bonriposi, 2013 ; Reynard et al., 2014). Par contre, dans les régions relativement humides actuellement (Nord des Alpes), où les golfs sont peu irrigués, on peut s'attendre à une augmentation importante de la demande en eau pour l'irrigation dans le futur, en particulier si les périodes de sécheresse s'accroissent.

L'augmentation des périodes de sécheresse estivale devrait provoquer une diminution des possibilités de **navigation** sur certains lacs peu profonds et rivières. La sécheresse prolongée de l'été et de l'automne 2018 a été un signe avant-coureur des effets du changement climatique. La navigation sur les lacs de Constance, Zoug, Hallwil et sur le Greifensee a été entravée, notamment en raison du manque de tirant d'eau aux débarcadères, et certains passages fluviaux critiques ont également été touchés (**Tab. 3**).

**Tab. 3 Restriction de la navigation sur divers lacs et rivières suisses en été et en automne 2018 (K. Lanz).**

Lacs, rivières	Impacts, restrictions
Bodensee	Débarcadères de Bad Schachen et de Langenargen respectivement hors service à partir du 23 juillet et du 24 septembre. Pas d'accès aux fauteuils roulants à plusieurs arrêts depuis juillet
Bodensee (Untersee)	Pas de bateaux réguliers entre Diessenhofen et Stein am Rhein du 23 juillet au mois d'octobre
Bodensee (Altenrhein)	A partir du 30 juillet, aucun bateau régulier entre Rorschach et Rheineck, jusqu'à fin septembre
Walensee	Déplacement de l'embarcadère de Quinten, rampes plus raides à tous les embarcadères
Zugersee, Ägerisee	Malgré des niveaux très bas, toutes les stations sont accessibles mais les rampes sont très raides
Greifensee	Débarcadère du Mönchaltorf hors service à partir du 16 juillet car le niveau du lac est inférieur d'un mètre à la normale
Hallwilersee	Niveau du lac > 60 cm en dessous de la normale ; gros problèmes d'accès (rampe nécessaire) mais toutes les stations sont accessibles
Laggo Maggiore	Débarcadère de l'Isola Madre (Italie) inaccessible à partir du mois d'août en raison du niveau d'eau très bas
Zürichsee	Aucune restriction malgré un niveau d'eau record en été
Limmat	Suspension temporaire de la navigation en raison des températures élevées à bord (bateaux vitrés)
Vierwaldstättersee	Aucune restriction malgré un niveau d'eau record en été

De telles situations pourraient devenir plus fréquentes à l'avenir. Par contre, de longues périodes sans pluies et l'allongement de la saison estivale sont favorables aux activités touristiques extérieures et permettraient de mieux rentabiliser l'entre-saison (Rebetez et Lehmann Friedli, 2016, p. 117 et 119). Quant à l'augmentation des épisodes de **crues intenses**, elle pourrait d'une part provoquer des pertes économiques dans les régions touristiques touchées, comme cela a été le cas notamment durant l'été 2005, d'autre part, elle pourrait avoir des effets indirects en termes de dégâts d'image si des événements récurrents venaient à provoquer un sentiment d'insécurité auprès de certains touristes (Rebetez et Lehmann Friedli, 2016, p. 119).

## Effets des changements climatiques et socio-économiques sur le tourisme hivernal de montagne

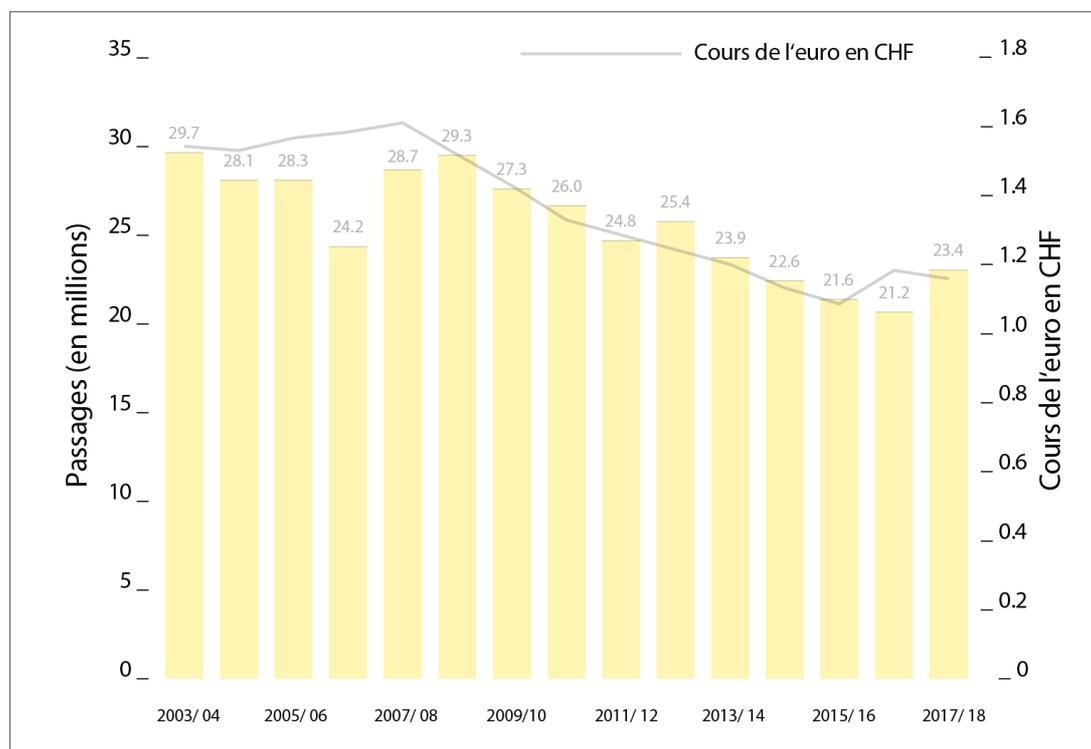
Le tourisme de ski continuera de présenter une double dépendance au climat et aux conditions du marché (Steiger et al., 2017). Le réchauffement climatique et la remontée de la limite inférieure de la neige devraient influencer fortement la viabilité des domaines skiables. Avec une remontée de la limite de la neige de 1200 à 1500 m, seules 63% des stations existant au milieu des années 1990 seraient encore favorables à la pratique du ski (*snow reliable*) (Abegg, 1996 ; König et Abegg, 1997) ; avec une limite à 1800 m, qui correspond à un réchauffement de 4°C, le taux descendrait à 44% (Elsasser et Bürki, 2002, p. 254 ; Abegg et al., 2007). Ces changements concerneront surtout le Jura, la Suisse orientale et centrale, les cantons de Vaud, Fribourg et du Tessin ; les cantons du Valais et des Grisons devraient être relativement préservés, l'altitude moyenne des stations sommitales des remontées mécaniques étant située à 2500 m (Abegg, 1996). Cette sensibilité à la neige naturelle peut toutefois être très sensiblement modifiée par le recours à l'enneigement artificiel (Scott et al., 2012 ; Gonseth, 2013 ; Steiger et al., 2017). Une augmentation de 50 à 100% de l'enneigement artificiel sera nécessaire afin de garantir la viabilité des domaines skiables européens à l'horizon 2050 (Steiger et al., 2017), ce qui se traduira par une augmentation générale de la demande en eau pour l'enneigement artificiel dans le prolongement de l'évolution constatée au cours des trois dernières décennies (Rixen et al., 2011). La Confédération (OFEV, 2012a, p. 61) considère d'ailleurs que l'enneigement artificiel est une mesure d'adaptation au changement climatique à moyen terme, notamment dans les Préalpes. On peut s'attendre à une tendance à l'enneigement total de certains domaines skiables, comme cela est déjà constaté dans certains domaines skiables en Autriche ou en Italie et comme cela est envisagé à Zermatt. A Crans-Montana, cela représenterait une augmentation de 77% de la demande en eau pour l'enneigement artificiel, pour un total de 0.8 million de m<sup>3</sup> par année.

A l'avenir, les **fenêtres d'enneigement artificiel** potentiel devraient diminuer en raison du réchauffement (Rixen et al., 2011 ; Bonriposi, 2013). Cela pourrait avoir une triple conséquence sur les demandes en eau pour l'enneigement artificiel. A basse altitude, l'enneigement artificiel pourrait être rendu impossible, sauf si de nouvelles techniques d'enneigement à plus haute température sont développées ; les besoins en eau pour l'enneigement artificiel dans ces régions pourraient ainsi disparaître. La conséquence serait une concentration du ski dans les domaines de haute altitude, où la demande en eau devrait dès lors augmenter. Finalement, la réduction des fenêtres de production aurait pour conséquence une augmentation de l'intensité d'usage, ce qui aurait pour conséquence des demandes en eau très concentrées dans le temps.

Dans les régions de moyenne et haute altitude, favorables à l'enneigement artificiel, il faut s'attendre à une augmentation du nombre et de la taille des infrastructures de **stockage d'eau** pour répondre à la forte intensité de l'enneigement artificiel. Très certainement que, dans la suite des recommandations du PNR61, ces réservoirs deviendront de plus en plus des ouvrages multifonctionnels, permettant de stocker de l'eau pour des usages divers, évoluant au cours de l'année (par ex. enneigement artificiel en hiver, irrigation en été ; Tuth et al., 2016). On doit s'attendre également à un usage plus important des réservoirs hydroélectriques afin de stocker l'eau pour l'enneigement artificiel, même si ces derniers sont souvent situés en dessous de l'altitude des domaines skiables, ce qui renchérit le coût énergétique de l'enneigement.

Les effets des **changements socio-économiques** sur la demande en eau pour l'enneigement artificiel sont assez difficiles à estimer. Ils dépendront de plusieurs facteurs parmi lesquels l'attractivité future du ski qui est mesurée au moyen du nombre de journées-skieurs (nombre de premiers passages aux installations de remontées mécaniques) : 21.2 millions de premiers passages ont été mesurés en 2016/17 (Remontées mécaniques suisses, 2017), s'inscrivant dans une forte tendance à la baisse depuis les années 2010 (Remontées mécaniques suisses, 2017 ; Vanat, 2018 ; **Fig. 8**), avant une légère remontée en 2017/18 (Remontées mécaniques suisses, 2018). La Suisse a perdu ainsi 25% de journées-skieurs depuis le milieu des années 2000, alors que la fréquentation des domaines skiables français, autrichiens et italiens est restée plus ou moins stable, une situation qui s'explique

partiellement par le taux de change entre le franc suisse et l'euro. Par ailleurs, lors d'hivers particulièrement pauvres en neige, par ex. en 2006/07, le nombre de skieurs chute (Remontées mécaniques suisses, 2017, p. 13-14). Le nombre de journées-skieurs a une influence sur le chiffre d'affaires et par conséquent sur la capacité d'investissement des exploitants de domaines skiables.



**Fig. 7. Evolution du nombre de journées-skieurs en Suisse (premiers passages aux remontées mécaniques) (Source : Remontées mécaniques suisses, 2018).**

Les **coûts d'exploitation** des domaines skiables ont fortement augmenté au cours des dernières années, forçant certains petits domaines skiables à fermer (Steiger et al., 2017). Les coûts d'exploitation d'un grand domaine skiable sont estimés à CHF 250 000.- par jour, se répartissant plus ou moins de manière égale entre les coûts de la montée (remontées mécaniques ; CHF 120 000.- par jour) et de la descente (préparation et sécurité des pistes, enneigement artificiel) (Remontées mécaniques suisses, 2017, p. 11). Le coût journalier de l'enneigement artificiel est estimé à CHF 43 000.-, soit l'équivalent de la préparation des pistes et 17% de l'ensemble des coûts d'exploitation journaliers. La part des coûts de l'enneigement dans les dépenses des sociétés exploitantes des domaines skiables jouera certainement un rôle dans le développement de l'enneigement mécanique dans le futur. Pour l'instant, l'eau prélevée est souvent gratuite ; dans un contexte de diminution des ressources, elle pourrait être facturée aux exploitants des domaines skiables.

Un autre effet du climat sur la pratique du ski est le processus de **substitution spatiale** : quand la neige manque, les skieurs ont tendance à se déplacer vers les stations où la neige est présente, plutôt que de modifier leurs pratiques touristiques (Scott et al., 2008 ; Gonseth, 2013 ; Steiger et al., 2017). On peut faire l'hypothèse que dans le futur, la demande en eau des grands domaines skiables de haute altitude, en Valais et dans les Grisons, va continuer d'augmenter, alors que dans d'autres régions (Jura, Préalpes), en dessous de 1500-1600 m (Steiger et Meyer, 2008), elle va augmenter dans un premier temps (horizon moyen), avant de disparaître dans la deuxième moitié du XXI<sup>e</sup> siècle.

## 4. Conflits d'intérêt

Le principal impact des usages touristiques de l'eau sur les autres usages est lié à la **saisonnalité** de l'occupation touristique. Il n'est pas possible de tirer un constat général car les situations varient fortement selon les conditions spécifiques de chaque station (taille de la station, structure touristique, zone climatique) mais les conflits d'usage existent et sont souvent localisés et ponctuels. Le profil touristique des communes concernées nécessite généralement un surdimensionnement des infrastructures pour faire face à la demande maximale, qui est souvent concentrées sur quelques semaines, voire quelques jours. Il s'ensuit des coûts importants de construction et d'entretien, dont l'enjeu principal est d'en définir le financement. Dans les stations où a été privilégiée la construction de résidences secondaires individuelles, se pose la question du coût des infrastructures de transport (réseau d'eau potable et d'égouts), de leur financement et de leur entretien. Les récentes modifications de règlements communaux dans différentes communes touristiques valaisannes tendent à montrer une volonté de faire participer plus fortement les propriétaires de résidences secondaires à ces coûts. Cette question du coût des infrastructures (traitement, transport, épuration) constituera un enjeu pour les prochaines décennies dans la mesure où les infrastructures de réseau ont une durée de vie d'environ 50 ans (Blanc et Schädler, 2014). Comme les stations de montagne se sont surtout développées dans les années 1960-1980, le renouvellement des infrastructures devra se faire au cours des prochaines décennies. Finalement, dans les régions à climat sec (Valais, Engadine), l'utilisation d'eau potable pour l'arrosage des jardins et pelouses a pour conséquence d'accentuer les effets de la saisonnalité touristique (Reynard et Bonriposi, 2012 ; Reynard et al., 2014 ; Weingartner et al., 2014).

L'**enneigement artificiel** présente des conflits potentiels avec la protection des eaux (débits résiduels), l'agriculture et l'approvisionnement en eau potable (Lanz et al., 2014, p. 34). Lorsque les installations d'enneigement sont greffées sur le réseau d'approvisionnement en eau potable, il peut y avoir conflit avec la distribution d'eau potable. C'est ce qu'a vécu la station des Gets (Haute-Savoie) durant l'hiver 2006/2007 (Magnier, 2016) ; des conflits temporaires sont également signalés à Scuol et Pontresina (Lanz, 2016, p. 40). En Engadine, Lanz (2016) constate une tendance à la reconversion de sources, utilisées jusque-là pour l'approvisionnement en eau potable, en faveur de l'enneigement artificiel. A Samnaun, la municipalité a ainsi proposé en 2015 la réalisation d'un nouveau pompage d'eau souterraine pour l'approvisionnement en eau potable afin de remplacer l'eau d'une source dédiée maintenant exclusivement à l'enneigement artificiel (Lanz, 2016, p. 37). Une telle rivalité d'usage existe aussi à Silvaplana (Lanz, 2016). Les prélèvements pour l'enneigement artificiel posent également la question du respect des débits résiduels minimaux, surtout si les eaux sont prélevées directement dans le milieu, en période d'étiage. Une tendance, observée dans les Grisons (Lanz, 2016), est à avancer le début de l'enneigement artificiel en octobre.

Des rivalités d'usage existent également **entre les activités de loisirs et de tourisme et la protection de la nature et du paysage** dans certaines zones de pratique de sports nautiques (canyoning, canoë, rafting) qui sont également des zones protégées (zones alluviales d'importance nationale) (Mönnecke et Wasem, 2004). Ces activités touristiques peuvent aussi avoir un impact sur la pêche. Un exemple est le conflit apparu dans les années 1980 au moment du développement du rafting sur le Rhin antérieur, notamment dans la zone d'Ilanz. La solution trouvée a été de modifier la loi grisonne sur la navigation, qui a introduit de nombreuses restrictions à la pratique du rafting dans le canton et a conduit à une interdiction dans certains secteurs sensibles (Mönnecke et al., 2005, p. 52 ss.). La relation entre revitalisation des cours d'eau et activités de loisirs est assez ambivalente : d'une part, la fonction de loisirs des rivières est souvent un argument pour motiver une revitalisation de cours d'eau ; d'autre part, l'exploitation touristique d'un cours d'eau revitalisé peut entrer en conflit avec les objectifs écologiques (Paccaud et Roulier, 2013), notamment en ce qui concerne les aménagements. Si des aménagements légers (sentiers) peuvent être tolérés, des infrastructures lourdes sont au contraire à proscrire. Les revitalisations en milieu urbain présentent par contre un potentiel touristique certain car elles augmentent l'attractivité de rives jusque-là souvent artificialisées.

Il existe peu de rivalités d'usage entre **utilisation de l'eau pour le tourisme et pour l'agriculture**. Les conflits entre irrigation des golfs et irrigation agricole sont limités. Ils pourraient augmenter à l'avenir sur le Plateau et dans les Préalpes en raison de l'augmentation des périodes de sécheresse estivale. En Valais, l'utilisation touristique des bisses se heurte parfois à leur vocation agricole, le comportement des touristes pouvant perturber l'utilisation agricole. Des problèmes de responsabilité peuvent survenir en cas de débordement, notamment dans les zones où de nombreuses résidences secondaires sont venues occuper les anciennes prairies. Toutefois, la cohabitation entre l'usage touristique et agricole des bisses est généralement bonne et les conflits apparaissent plutôt entre différents usagers touristiques (randonneurs *versus* cyclistes). Un point non résolu est

la faible contribution financière du secteur touristique à l'entretien du réseau des bisses ; au vu de la pression économique sur le secteur agricole, de nouvelles formes de co-financement ou d'entretien partiel par le secteur touristique pourraient être développées.

L'**hydroélectricité** est un secteur d'activité qui entretient une relation ambivalente avec le tourisme. D'une part, l'exploitation hydroélectrique entre en conflit avec l'utilisation touristique des cours d'eau, notamment en raison du risque d'accidents lors des purges automatiques. Depuis des décennies, des panneaux informent les visiteurs des risques liés aux activités dans le lit des rivières à débits résiduels. Depuis 2008, la société HYDRO Exploitation, qui exploite 46 ouvrages hydroélectriques en Suisse occidentale, emploie chaque été des hydro-guides qui ont pour mission de sensibiliser les passants aux risques dans les rivières situées à l'aval des aménagements hydroélectriques (<https://www.hydro-exploitation.ch/fr/hydro-guides-269.html>, consulté le 15.01.2021). D'autre part, les barrages et les aménagements hydroélectriques constituent une attraction touristique (Rodriguez et Hirtz, 2014 ; Loloum, 2016). La Grande Dixence attire 100 000 visiteurs par année, dont 1/10 participent aux visites guidées à l'intérieur du barrage. Ailleurs, comme à Mauvoisin par exemple, les barrages sont utilisés comme supports pour des performances artistiques qui ont un intérêt pour le développement du tourisme culturel. A Emosson, les anciennes infrastructures de transport pour la construction du barrage ont été reconverties en moyens de transport touristique.

## 5. Solutions et/ou synergies potentielles

L'eau pour le tourisme pose quatre questions générales : (i) la valorisation de l'importance de l'eau comme facteur d'attractivité touristique ; (ii) la saisonnalité de l'usage ; (iii) l'eau utilisée pour l'enneigement artificiel ; (iv) la gestion des demandes de pointe.

L'eau est un important **facteur d'attractivité touristique**, tant naturelle (lacs, rivières, glaciers) que culturelle (infrastructures hydrauliques). L'attractivité des rivières a diminué au cours des années 1960-2000, surtout en raison des endiguements, drainages et aménagements hydroélectriques ; elle augmente à nouveau avec la revitalisation des cours d'eau. En milieu urbain, un potentiel de synergie important entre revitalisation et exploitation touristique existe. Les milieux de haute montagne glaciaire devront quant à eux faire l'objet d'une surveillance concernant leur utilisation touristique : l'attractivité de certaines régions pourrait diminuer en raison de la disparition des glaciers ; ailleurs, elle pourrait augmenter grâce à l'apparition de nouveaux lacs.

La **saisonnalité** de l'utilisation de l'eau en région touristique constitue une contrainte de gestion importante. Les quelques études détaillées à l'échelle régionale en Valais (Crans-Montana) ou dans les Grisons (Engadine) montrent que les gestionnaires locaux et cantonaux n'ont généralement pas une vision globale de la situation et qu'au cours du temps, des solutions souples et ad-hoc ont été trouvées afin de faire face aux pénuries temporaires et localisées (Weingartner et al., 2014). Avec l'augmentation de la pression sur la ressource liée au réchauffement climatique, il faudra à l'avenir davantage formaliser la répartition entre les différents usages de l'eau afin d'anticiper les conflits lors des périodes de pénurie qui iront en augmentant, notamment en été. De ce fait, les questions juridiques (droits d'eau anciens, statut juridique des nouveaux paysages déglacés) devront être discutées.

Les besoins en eau pour l'**enneigement artificiel** soulèvent plusieurs enjeux. Avec un taux d'équipement de 49% des domaines skiables suisses, il reste un potentiel important d'équipement, notamment dans le contexte de compétition entre destinations à l'échelle alpine. Or, le développement passé s'est fait sans véritable planification en termes d'impacts sur la ressource en eau et sur les autres usagers de l'eau. Une telle approche globale et intégrée n'existe ni dans les Grisons (Lanz, 2016), ni en Valais. Or, elle serait nécessaire, ne serait-ce que pour désamorcer le débat, souvent idéologique, entre promoteurs et détracteurs de l'enneigement mécanique. L'enneigement artificiel est reconnu comme une technique efficace d'adaptation au réchauffement climatique (Steiger et al., 2017). Ses impacts à l'échelle régionale et annuelle sont relativement faibles ; par contre, les impacts à l'échelle locale et mensuelle peuvent être très importants. Il s'agit ainsi, à l'avenir, d'évaluer l'empreinte potentielle, sur la ressource et sur les autres usages, de futurs projets d'équipement. Une telle planification, à l'échelle supra-communale, est nécessaire en raison de l'importance économique des sports d'hiver pour l'économie régionale et des effets hydrologiques et écologiques non négligeables de l'enneigement (Lanz, 2016).

La pénurie d'eau en Suisse est une problématique de **demande de pointe** coïncidant avec des étiages importants ou sécheresses prolongées. Cette problématique est particulièrement sensible dans les régions touristiques de

montagne. Au moins depuis les années 1960, la demande en eau est proche de la ressource disponible durant les pointes d'occupation hivernale (Reynard, 2000). Depuis les années 1990-2000, le développement de l'enneigement artificiel a accentué le phénomène. En été, les demandes journalières de pointe peuvent constituer plus du double de la moyenne annuelle ; cela a été particulièrement observé durant les années sèches de 1976 et 2003. De ce fait, le développement et la planification d'ouvrages de stockage à buts multiples (Tuth et al., 2016) est une solution à envisager afin d'éviter la multiplication de réservoirs d'eau potable pour faire face aux pointes.

## 6. Lacunes de connaissances

Les principales lacunes de connaissances concernent les **statistiques**. Contrairement à d'autres secteurs du tourisme, aucune statistique sur l'eau et le tourisme n'existe au niveau fédéral. Comme pour la majorité des autres secteurs d'usage de l'eau, les statistiques sur les demandes en eau pour le tourisme sont lacunaires et parfois contradictoires. En raison du fédéralisme, elles sont, de plus, très éclatées auprès de multiples acteurs et en partie difficiles à obtenir pour des raisons économiques (statistiques de l'eau pour l'enneigement artificiel). De plus, la saisonnalité, qui constitue une caractéristique centrale de l'utilisation de l'eau dans les stations touristiques, est difficile à appréhender, notamment par manque de données fiables sur l'occupation touristique (nuitées parahôtelières). Les études entreprises récemment à l'échelle locale et régionale (Bonriposi, 2013 ; Lanz, 2016 ; Calianno, 2018) doivent être poursuivies.

A part quelques études à l'échelle régionale (Engadine, Crans-Montana), les études sur l'**enneigement artificiel** et ses impacts sur la ressource en eau sont peu nombreuses. Il en résulte que les cantons manquent de bases pour planifier le développement des installations d'enneigement à l'aune de leur impact sur la gestion de l'eau à l'échelle locale ou régionale. Cet usage de l'eau ayant des impacts importants sur l'hydrosystème et sur les autres usages de l'eau à l'échelle locale, il s'agit de renforcer les études détaillées.

La question de l'impact de l'eau, sous toutes ses formes, sur l'**attractivité des régions touristiques** dans un contexte de changements climatiques (recherche du frais, attrait des lacs, nouveaux lacs glaciaires, modifications des conditions d'enneigement, importance de l'eau en milieu urbain) reste encore très peu investiguée.

## Références

- Abegg B. (1996). Klimaänderung und Tourismus – Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. Schlussbericht NFP 31. Zurich, vdf Hochschulverlag.
- Abegg B., König U., Maisch M. (1994). Klimaänderung und Gletscherskitourismus. Geogr. Helv., 3, 103-114.
- Abegg B., Agrawala S., Crick F., de Montfalcon A. (2007). Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In Agrawala S. (ed.). Climate change in the European Alps. Adapting winter tourism and natural hazards management. Paris, OECD, 25-60.
- Arvola L., George G., Livingstone D.M., Järvinen M., Blenckner T., Dokulil M.T., Jennings E., Aonghusa C.N., Noges T., Weyenmeyer G.A. (2010). The impact of the changing climate on the thermal characteristics of lakes. In George D.G. (ed.). The impact of Climate Change on European Lakes. Berlin, Springer, Aquatic Ecology Series 4, 85-102, doi: 10.1007/978-90-481-2945-4\_6
- BAFU (2014). Grundlagen für die Wasserversorgung 2025. Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen. Bern, Bundesamt für Umwelt ([https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/ud-umwelt-diverses/sichere\\_wasserversorgung2025.pdf.download.pdf/sichere\\_wasserversorgung2025.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/ud-umwelt-diverses/sichere_wasserversorgung2025.pdf.download.pdf/sichere_wasserversorgung2025.pdf))
- Björnson Gurung A., Stähli M. (2014). Ressources en eau de la Suisse : Ressources disponibles et utilisation – aujourd’hui et demain. Synthèse thématique 1 dans le cadre du Programme national de recherche PNR 61 « Gestion durable de l’eau ». Berne, FNS (<http://www.nfp61.ch/de/news-medien/publikationen>).
- Blanc P., Schädler B. (2014). L’eau en Suisse – Un aperçu. Berne, Commission suisse d’hydrologie, ([https://scnat.ch/fr/uuid/i/799f9bdf-fd9c-577f-be24-998b926ff223-L%27eau en Suisse - un aperçu](https://scnat.ch/fr/uuid/i/799f9bdf-fd9c-577f-be24-998b926ff223-L%27eau%20en%20Suisse%20-%20un%20aper%C3%A7u))
- Bonriposi M. (2013). Analyse systémique et prospective des usages de l’eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Suisse). Thèse de doctorat, Université de Lausanne (<https://www.unil.ch/igd/home/menuinst/recherche/publications/geovisions/geovisions-43.html>)
- BPA (2019). STATUS 2019. Status 2019 – Statistique des accidents non professionnels et du niveau de sécurité en Suisse. Berne, BPA (<https://www.bfu.ch/fr/recherche-et-statistique/statistique>)
- Caliano M. (2018). Quantifier les usages de l’eau en territoire touristique de montagne. Thèse de doctorat, Université de Lausanne ([https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB\\_A5DD20D574BE.P001/REF.pdf](https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_A5DD20D574BE.P001/REF.pdf))
- Caliano M. (2020). La méthode des analogues : reproduire le caractère saisonnier de la distribution d’eau potable dans les stations touristiques de montagne. Revue de géographie alpine [En ligne], 108-1 (<http://journals.openedition.org/rga/6704>)
- CIPEL (2017a). Plan d’action 2011-2020 en faveur du Léman, du Rhône et de leurs affluents. Tableau de bord technique. Lausanne, CIPEL (<http://www.cipel.org/le-leman/tableau-bord/>)
- CIPEL (2017b). Rapports de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution. Campagne 2016. Lausanne, CIPEL (<http://www.cipel.org/le-leman/rapport-scientifique/>)
- CIPEL (2020). Carte des plages du Léman 2019. Genève, CIPEL (<https://www.cipel.org/publications/carte-des-plages/>)
- Davenport J., Davenport J. L. (2006). The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments: A review. Estuarine Coastal and Shelf Science, 67, 280-292, doi:10.1016/j.ecss.2005.11.026
- EEA (2018). Swiss water bathing quality in 2017. Luxembourg, European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/themes/water/europes-seas-and-coasts/assessments/state-of-bathing-water/country-reports-2017-bathing-season/switzerland-2017-bathing-water-report/view>)
- Elsasser H., Bürki R. (2002). Climate change as a threat to tourism in the Alps. Climate Research, 20, 253-257.
- FIF (2011) Der Schweizer Tourismus im Klimawandel Auswirkungen und Anpassungsoptionen. Bern, SECO (<https://www.seco.admin.ch/seco/fr/home/seco/nsb-news/medienmitteilungen-2011.msg-id-41053.html>)
- Freiburghaus M. (2009). Wasserbedarf der Schweizer Wirtschaft. Gas, Wasser, Abwasser, 12(09), 1001-1009.
- FST (2018). Le tourisme suisse en chiffres 2017. Berne, Fédération suisse du tourisme (<https://www.stv-fst.ch/fr/infotheque/nos-publications/le-tourisme-suisse-en-chiffres>)

- GLAMOS (2018). Press release CC/SCNAT "Ein Jahr der Extreme für Schweizer Gletscher", 16.10.2018 (<https://www.glamos.ch/en/publications#/C14%2F10>)
- Gonseth C. (2013). Impact of snow variability on the Swiss winter tourism sector: implications in an era of climate change. *Climatic Change*, 119, 307-320, doi: 10.1007/s10584-013-0718-3
- Gössling S. (2006). Tourism and water. In: Gössling S., Hall C. M. (eds.). *Tourism and Global environmental change: Ecological, social, economic and political interrelationships*. Abingdon, Routledge, 180-194.
- Gössling S., Peeters P., Hall C. M., Ceron J.-P., Dubois G., Lehmann L. V., Scott D. (2012). Tourism and water use: Supply, demand, and security. An international review. *Tourism Management*, 33(1), 1-15, doi: 10.1016/j.tourman.2011.03.015
- Haeberli W., Bütler M., Huggel C., Mülle, H., Schleiss, A. (2013) (eds) *Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Formation des nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques*. Forschungsbericht NFP 61. Zürich, vdf Hochschulverlag (<https://vdf.ch/neue-seen-als-folge-des-gletscherschwundes-im-hochgebirge-formation-de-nouveaux-lacs-suite-au-recul-des-glaciers-en-haute-montagne-1965453782.html>)
- Hahn F. (2004). L'enneigement artificiel dans l'arc alpin. Rapport de synthèse. Vaduz, CIPRA International ([www.cipra.org/fr/publications/2709](http://www.cipra.org/fr/publications/2709))
- IKSR-CIPR-ICBR (2018). Inventaire des conditions et des situations d'étiage sur le Rhin. Koblenz, Internationale Kommission zum Schutz des Rheins ([https://www.iksr.org/fileadmin/user\\_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/FR/rp\\_Fr\\_0248.pdf](https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/FR/rp_Fr_0248.pdf))
- Kanton Zürich (2013). Zürichsee 2050. Grundlagenbericht: Analyse, Zielbild, Massnahmen (Beilage zu Leitbild). Kanton Zürich, Baudirektion, Volkswirtschaftsdepartement, 111 p. ([https://awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/wasser/planungen/mpw/\\_jcr\\_content/contentPar/downloadadlist\\_6/downloaditems/1326\\_1432293685776.spooler.download.1432287444018.pdf/Grundlagenbericht\\_Z%C3%BCrichsee\\_2050.pdf](https://awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/wasser/planungen/mpw/_jcr_content/contentPar/downloadadlist_6/downloaditems/1326_1432293685776.spooler.download.1432287444018.pdf/Grundlagenbericht_Z%C3%BCrichsee_2050.pdf))
- König U., Abegg B. (1997). Impacts of climate change on tourism in the Swiss Alps. *Journal of Sustainable Tourism*, 5(1), 46-58.
- Lanz K., Rahn E., Siber R., Stamm C. (2014). La gestion des ressources en eau face à la pression accrue de leur exploitation. Synthèse thématique 2 dans le cadre du Programme national de recherche PNR 61 « Gestion durable de l'eau ». Berne, FNS (<http://www.nfp61.ch/de/news-medien/publikationen>).
- Lanz K. (2016). Wasser im Engadin. Nutzung, Ökologie, Konflikte. Studie im Auftrag des WWF Schweiz Zürich. Evillard, Dr. Klaus Lanz International Water Affairs, 101 p. ([http://unpub.eclipse.homepagetool.ch/var/m\\_e/eb/eb3/24631/7248047-Wasser%20im%20Engadin.pdf](http://unpub.eclipse.homepagetool.ch/var/m_e/eb/eb3/24631/7248047-Wasser%20im%20Engadin.pdf)).
- Loloum T. (2016). La vie touristique des grands barrages hydroélectriques. *Mondes du Tourisme*, 12, en ligne (<http://journals.openedition.org/tourisme/1360>)
- Magnier E. (2016). Les impacts hydrologiques de la production de neige dans un domaine de moyenne montagne. *Vertigo*, 16(1) [en ligne], doi : 10.4000/vertigo.17183
- Martin S. (2006). Influence du tourisme sur la gestion de l'eau en zone aride. Exemple de la vallée du Drâa (Maroc). Mémoire de licence en géographie, Université de Lausanne (<https://core.ac.uk/download/pdf/20639280.pdf>).
- Mönnecke M., Wasem K. (2004). Auswertung des sanu-Expertenworkshops vom 23. Januar 2004: Sport- und Freizeitaktivitäten in Natur und Landschaft. Standortbestimmung und Perspektiven. Rapperswil, Forschungsstelle für Freizeit, Tourismus und Landschaft FTL (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/massnahmen-zur-erhaltung-und-foerderung-der-biodiversitaet/nachhaltige-nutzung-der-biodiversitaet/tourismus--sport-und-freizeit-in-der-natur.html>).
- Mönnecke M., Schubert B., Wasem K., Gyax M., Rupf B. H., Amstutz M. (2005). Sportaktivitäten im Einklang mit Natur und Landschaft Handlungsorientierte Lösungen für die Praxis. Rapperswil, Hochschule für Technik, Institut für Landschaft und Freiraum.

Müller H., Weber F. (2008). 2030 : le tourisme suisse face aux changements climatiques. Berne, Suisse Tourisme ([https://issuu.com/stnet/docs/2030 le tourisme suisse face aux ch](https://issuu.com/stnet/docs/2030_le_tourisme_suisse_face_aux_ch))

OFEV (2012a). Adaptation aux changements climatiques en Suisse : objectifs, défis et champs d'action. Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012. Berne, OFEV (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/publications-etudes/publications/adaptation-changements-climatiques-suisse-2012.html>)

OFEV (2012b) (éd.). Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau. Rapport de synthèse du projet « Changement climatique et hydrologie en Suisse » (CCHydro). Berne, Office fédéral de l'environnement. Connaissance de l'environnement n° 1217, (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/publications/publications-eaux/impacts-changements-climatiques-eau.html>)

OFEV et al. (2019) (éd.). La canicule et la sécheresse de l'été 2018. Impacts sur l'homme et l'environnement. Office fédéral de l'environnement, Berne. Etat de l'environnement n° 1909, (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/publications-etudes/publications/canicule-et-secheresse.html>)

OFEV (2020). Qualité des eaux de baignade, (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/info-specialistes/etat-des-eaux/etat-des-cours-deau/qualite-des-cours-deau/qualite-des-eaux-de-baignade.html>)

OFS (2019). La statistique suisse du tourisme 2017. Neuchâtel, Office fédéral de la statistique (<https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/publications.assetdetail.7066687.html>)

OVT (2013). Thermalisme 2013. Sierre, Observatoire valaisan du tourisme ([https://www.tourobs.ch/media/12140/focus\\_thermalisme\\_fr\\_webv2.pdf](https://www.tourobs.ch/media/12140/focus_thermalisme_fr_webv2.pdf))

Paccaud G., Roulier C. (2013). Espace nécessaire aux grands cours d'eau de Suisse. Yverdon-les-Bains, Service conseil Zones alluviales ([www.zones-alluviales.ch/Documentation/Rapport-Final-Grands-CE.pdf](http://www.zones-alluviales.ch/Documentation/Rapport-Final-Grands-CE.pdf))

PNR61 (2015). Gestion durable de l'eau en Suisse : le PNR 61 montre les voies à suivre pour l'avenir. Synthèse globale dans le cadre du Programme national de recherche « Gestion durable de l'eau » (PNR 61). Berne, FNS (<http://www.nfp61.ch/de/news-medien/publikationen>)

Pütz M., Gallati D., Kytzia S., Elsasser H., Lardelli C., Teich M., Waltert F., Rixen C. (2011). Winter tourism, climate change, and snowmaking in the Swiss Alps: Tourists' attitudes and regional economic impacts. Mountain Research and Development, 31(4), 357-362.

Rebetez M., Lehmann Friedli T. (2016). Tourisme. In Hosi S., Mittler M. (eds). Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives. Berne, Académies suisses des sciences, Swiss Academies Reports 11(5), 117-120.

Remontées mécaniques suisses (2017). Faits et chiffres de la branche des remontées mécaniques suisses. Berne, Remontées mécaniques suisses.

Remontées mécaniques suisses (2018). Faits et chiffres de la branche des remontées mécaniques suisses. Berne, Remontées mécaniques suisses (<https://www.seilbahnen.org/fr/La-branche/Statistiques/Faits-chiffres>)

Reynard E. (1997). L'épuration des eaux usées en zone rurale. In Benninghoff M., Joerchel B., Knoepfel P. (eds). L'écobusiness: enjeux et perspectives pour la politique de l'environnement. Basel/Frankfurt am Main, Helbing & Lichtenhahn, 133-168.

Reynard E. (1998). Réhabilitation de canaux d'irrigation de montagne à des fins touristiques. L'exemple des bisses du Valais. L'eau, l'industrie, les nuisances, 213, 24-30.

Reynard E. (2000). Gestion patrimoniale et intégrée des ressources en eau dans les stations touristiques de montagne. Les cas de Crans-Montana-Aminona et Nendaz (Valais). Thèse de doctorat, Université de Lausanne.

Reynard E., Bonriposi M. (2012). Water use management in dry mountains of Switzerland. The case of Crans-Montana-Sierre area. In Neményi M., Balint H. (eds.). The impact of urbanisation, industrial, agricultural and forest technologies on the natural environment. Sopron, Nyugat-magyarországi Egyetem, 281-301.

Reynard E., Bonriposi M., Graefe O., Homewood C., Huss M., Kauzlaric M., Liniger H., Rey E., Rist S., Schädler B., Schneider F., Weingartner R. (2014). Interdisciplinary assessment of complex regional water systems and their

future evolution: how socioeconomic drivers can matter more than climate. *WIREs Water* 2014, 1, 413-426. doi: 10.1002/wat2.1032

Rixen C., Teich M., Lardelli C., Gallati D., Pohl M., Pütz M., Bebi P. (2011). Winter tourism and climate change in the Alps: An assessment of resource consumption, snow reliability, and future snowmaking potential. *Mountain Research and Development*, 31(3), 229-236.

Rodriguez J.-F., Hirtz S. (2014). Paysages de l'hydroélectricité, tourisme et protection de la nature en haute montagne : le Valais suisse. *Projets de Paysage*, 2014 [en ligne] ([http://www.projetsdepaysage.fr/fr/paysages\\_de\\_l\\_hydroelectricite\\_tourisme\\_et\\_protection\\_de\\_la\\_nature\\_en\\_haute\\_montagne\\_le\\_valais\\_suisse](http://www.projetsdepaysage.fr/fr/paysages_de_l_hydroelectricite_tourisme_et_protection_de_la_nature_en_haute_montagne_le_valais_suisse))

Sachindra D.A., Ng A., Nuthukumaran S., Perera B.J.C. (2015). Impact of Climate Change on urban heat island effect and extreme temperatures: A case study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 142, 172-186, doi: 10.1002/qj.2642

Scott D. (2006). Global environmental change and mountain tourism. In Gössling S., Hall M. C. (eds.). *Tourism and global environmental change*. London, Routledge, 54-75.

Scott D., Dawson J., Jones B. (2008). Climate change vulnerability of the US Northeast winter recreation-tourism sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13, 577-596. doi:10.1007/s11027-007-9136-z

Scott D., Gössling S., Hall M.C. (2012). International tourism and climate change. *WIREs Climate Change*, 3, 213-232, doi: 10.1002/wcc.165

SLF (2002). Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten. Zusammenfassung eines Forschungsprojektes am Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung. Davos, SLF (<https://www.wsl.ch/de/projekte/kunstschnee.html>)

Steiger R., Mayer M. (2008). Snowmaking and climate change: Future options for snow production in Tyrolean ski resorts. *Mountain Research and Development*, 28, 292-298.

Steiger R., Scott D., Abegg B., Pons M., Aall C. (2017). A critical review of climate change risk for ski tourism. *Current Issues in Tourism*, doi: 10.1080/13683500.2017.1410110

Tuth W. K., Weingartner R., Schädler B. (2016). Des réservoirs à but multiples assurent l'alimentation en eau et en énergie. Université de Berne. ([www.hydrologie.unibe.ch/projekte/667.pdf](http://www.hydrologie.unibe.ch/projekte/667.pdf))

Vanat L. (2018). 2018 international report on snow and mountain tourism. Geneva (<http://www.vanat.ch/international-report-on-snow-mountain-tourism.shtml>)

Vanham D., Fleischhacker E., Rauch W. (2009). Impact of snowmaking on alpine water resources management under present and climate change conditions. *Water Science & Technology*, 59(9), 1793-1801, doi: 10.2166/wst.2009.211.

Weingartner R., Schädler B., Reynard E., Bonriposi M., Graefe O., Herweg K., Homewood C., Huss M., Kauzlaric M., Liniger H., Rey E., Rist S., Schneider F. (2014). MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel. Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis. Bern, Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 (<http://www.nfp61.ch/de/news-medien/publikationen>)