

Les impacts hydrologiques de la production de neige dans un domaine de moyenne montagne

Le cas du domaine transfrontalier des Portes du soleil (France et Suisse)

Élodie Magnier

Volume 16, Number 1, May 2016

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1037582ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Magnier, É. (2016). Les impacts hydrologiques de la production de neige dans un domaine de moyenne montagne : le cas du domaine transfrontalier des Portes du soleil (France et Suisse). *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*, 16(1).

Article abstract

Artificial snowmaking is a relatively recent practice in Europe and in North America. This activity is necessary for the ski resorts to maintain and develop economic activities. However snowmaking requires large quantities of water, which are pumped from rivers, groundwater, drinking water reserves, artificial hydropower reservoirs and hill water reservoirs. It is estimated that 4000 m³ of water can cover one hectare. Moreover, snowmaking does not represent the only use of water in winter sport resorts (drinking water, activities...). The problem raised here is availability of water for these various activities during the winter season. The aim of this study is to measure the impact of water extraction for artificial snowmaking on the variations in the available resource at the local scale in a three French and Swiss ski resorts (Avoriaz, Champéry, Les Gets), and to identify two risk situations for the resorts: risks of resources used conflicts and risks of water shortages. In these resorts, the mobilization of a large volume of water over a very short period makes water management an issue that can create risk situations. Intensity of use for the snow production can have impacts on other uses. This study showed also that the sharing of the resource it's a risky situation, particularly when a unique lake or hillside reservoir permits the water supply for production of snow and drinking water. Situations of water shortage can exist punctually and the situation needs to be monitored.

Tous droits réservés © Université du Québec à Montréal et Éditions en environnement VertigO, 2016



This document is protected by copyright law. Use of the services of Érudit (including reproduction) is subject to its terms and conditions, which can be viewed online.

<https://apropos.erudit.org/en/users/policy-on-use/>

érudit

This article is disseminated and preserved by Érudit.

Érudit is a non-profit inter-university consortium of the Université de Montréal, Université Laval, and the Université du Québec à Montréal. Its mission is to promote and disseminate research.

<https://www.erudit.org/en/>

Élodie Magnier

Les impacts hydrologiques de la production de neige dans un domaine de moyenne montagne

Le cas du domaine transfrontalier des Portes du soleil (France et Suisse)

Introduction

- 1 La technique de fabrication de la neige est apparue très tôt aux États-Unis, dès les années 1950. C'est seulement à partir de 1963 que les premiers canons apparaissent en France dans les Vosges et dès 1980, les installations se multiplient en Europe, mais aussi au Canada. Cette technique, utilisée au départ pour pallier au manque de neige certaines années et sur certains secteurs, devient très rapidement un outil économique dans la course vers l'or blanc à laquelle se livrent les stations. Aujourd'hui, la pratique de l'enneigement permet d'étendre spatialement le domaine, de réapprovisionner le manteau neigeux dans les secteurs très fréquentés où l'usure est favorisée par la rotation des skieurs, et de prolonger la saison de ski en commençant la production très tôt (dès le mois de novembre) et en réalimentant la couche neigeuse jusqu'au printemps (Figure 1).

Figure 1. La piste du Stade (domaine Morzine-Les Gets, France) enneigée artificiellement, Fin mars 2011 / The Stade slopes (Morzine-Les Gets ski area, France) with artificial snow, End of March 2011.



Crédit : E. Magnier.

- 2 Très vite, cette technologie¹ se développe et les stations s'équipent (progression de plus de 20 % en 30 ans). En France, l'enneigement représente aujourd'hui 5333 hectares de pistes, soit 23 % de la surface totale des pistes que comptent les 333 stations françaises (Bardé et al., 2009). En Suisse, l'enneigement mécanique est de l'ordre des 20 % de la surface totale (Probst, 2006). Même si l'on demeure encore bien loin des 85 % des surfaces enneigées aux États-Unis, 70 % en Italie, 63 % au Québec (CIPRA, 2004), et 60 % en Autriche (Probst, 2006), les conséquences n'en sont pas moindres. En effet, l'enneigement artificiel² des pistes de ski alpin utilise de grands volumes d'eau; on estime dans les conditions actuelles que 1 m³ d'eau donne 2 m³ de neige, soit 4000 m³ d'eau pour enneiger 1 hectare. À cela il faut préciser que 3 canons sont nécessaires pour enneiger 1 hectare. Les stations possèdent un nombre considérable de canons (environ 36 canons sur Avoriaz en France) et procèdent à plusieurs campagnes d'enneigement au cours de la saison. La consommation d'eau est proportionnelle au développement des installations puisque pour la saison 1999-2000, 10 millions de m³ d'eau ont été consommés et près de 13 millions de m³ en 2004-2005 (Biau et al., 2006); aujourd'hui ces prélèvements atteignent près de 19 millions de m³ (Bardé et al., 2009). Beaucoup de petites stations ne prélèvent que quelques dizaines de milliers de m³ alors que les grands complexes alpins exploitent des installations prélevant plusieurs centaines de milliers de m³, atteignant bientôt le million de m³. En effet, les stations des Alpes sont les premières à s'équiper et à investir dans de vastes installations. La consommation d'eau associée est donc particulièrement importante, soit 9000 milliers de m³ pour la saison 2006-2007 (Direction départementale de l'équipement et de l'Agriculture de la Savoie, 2009) et 10 millions de m³ pour le canton du Valais (Baillat-Ballabriga, 2007). À l'échelle de petites stations, les volumes sont considérables avec près de 400 000 m³ prélevés en quelques mois dès que la superficie de la station enneigée mécaniquement dépasse les 80 % du domaine. C'est par exemple le cas en France pour la station des Arcs (Direction départementale des territoires de la Savoie, 2011), ou bien encore du Mont-Orford au Québec (Demers, 2006). Il faut rappeler que ces prélèvements ne sont effectués que sur quelques mois de l'année, souvent en période d'étiage des cours d'eau. Les choix d'approvisionnement des canons varient d'un pays à l'autre. La France préfère l'usage de retenues collinaires construites pour alimenter la production de neige (50 % des prélèvements globaux contre 30 % par pompages ou prélèvements directs dans les cours d'eau, les réserves naturelles souterraines ou les lacs et 20 % par prélèvement dans les réserves artificielles existantes (réserves d'eau potable par exemple)) (Campion, 2002). Dans le Valais Suisse, les retenues collinaires n'existent pas et les prélèvements se font exclusivement dans les lacs naturels et cours d'eau (Magnier, 2013). Il en est de même au Québec, où l'eau est prélevée dans les réserves naturelles (Sauvé, 2004). En Savoie et Haute-Savoie, en 2009, 3 667 764 m³ d'eau ont été stockés dans les réserves collinaires (Direction départementale de l'Équipement et de l'Agriculture de la Savoie, 2009). Cette eau stockée dans les retenues n'est en théorie pas prélevée en hiver, mais dans la plupart des stations ces retenues sont remplies au moins deux fois durant l'hiver, ce qui signifie qu'une partie des prélèvements est donc bien réalisée en période d'étiage. Ainsi, les prélèvements pour l'enneigement représentent près de 39 % des prélèvements totaux en Savoie et 19 % en Haute-Savoie (Campion, 2002). Ces choix en termes de prélèvement semblent fortement impacter la gestion de la production de neige (Magnier, 2013). Ils jouent donc un rôle considérable sur les risques de pénuries et de conflits autour de la ressource d'une station de ski. Or l'enneigement n'est pas le seul usage de l'eau dans les stations de sports d'hiver; l'alimentation en eau potable de la station reste l'usage principal, puis diverses activités viennent puiser dans cette ressource (c.-à-d. piscine, spa, patinoire...). De manière générale, tous ces prélèvements se font en saison hivernale lorsque la ressource disponible est au plus bas. Pour évaluer les impacts sur la ressource, un indicateur prélèvement/ressource a été récemment défini (Dugleux, 2002). Cet indicateur montre que la situation des stations de ski n'est aujourd'hui pas alarmante, car 61 % des stations ne prélèvent que 10 % du volume d'eau s'écoulant à l'étiage. Pour les stations n'ayant pas de retenues d'altitude, la situation est beaucoup plus préoccupante, car les prélèvements peuvent atteindre 50 à 90 % des écoulements (Dugleux, 2002). L'auteur insiste également sur la nécessité de

suivre attentivement l'évolution de la situation au regard de l'expansion de l'activité de neige de culture annoncée. Il faut noter que cette étude a été réalisée en 2002; or c'est au cours des hivers suivants peu enneigés que des problèmes sont apparus dans certaines stations du fait d'une forte production de neige. Le changement climatique annoncé devrait, d'ici 2020, fortement impacter les quantités de neige précipitées et les volumes d'eau disponibles (Damm et al., 2014), mais également les possibilités de production de neige de culture (Marke et al., 2014). Une bonne gestion des ressources semble donc essentielle, alors que seulement 39 % des communes de montagne françaises possèdent une gestion des eaux de consommation et de neige de culture en accord avec la ressource (Association Nationale des Maires des Stations de Montagne; ANMSN). L'ANMSN insiste sur la nécessité de développer des dialogues entre les divers organismes de gestion de l'eau et engage les communes signataires³ d'une charte nationale en faveur du développement durable dans les stations de montagne à toujours donner la priorité à la consommation d'eau potable avant toute utilisation pour la production de neige (ANMSN, 2007). La problématique centrale est bien ici la superposition dans le temps et dans l'espace des besoins inhérents à une même ressource qui, par définition, n'est pas illimitée. Cette situation ainsi définie est à l'origine des conflits d'usages (Paccard et Marnezy, 2007).

- 3 Le problème soulevé est donc celui de la constante disponibilité en eau pour les différentes activités en stations de ski de moyenne montagne française. L'absence de réglementation spécifique à l'enneigement et la multifonctionnalité de la ressource en eau ne semblent pas favorables à une gestion efficace de la ressource. Il est donc particulièrement intéressant d'observer les différentes situations de production de neige et de gestion des ressources existantes au sein de plusieurs stations françaises et suisses et de se poser la question suivante :
- 4 Quels sont les impacts de l'enneigement artificiel sur la gestion des ressources en eau dans un domaine skiable de moyenne montagne?
- 5 Pour répondre à cette question, une hypothèse de départ a été posée. Au regard des fortes consommations d'eau pour la production de neige et de la multifonctionnalité de la ressource, des conflits d'usage voire même des pénuries sont possibles. L'intérêt de l'étude est d'observer comment pèse la production de neige sur la ressource en eau dans une station de moyenne montagne particulièrement sensible aux variations de l'enneigement. En effet ces dernières années, le manque de neige a été fortement ressenti par ces stations de moyenne montagne qui, de ce fait, se sont équipées en installations de production de neige.

L'approche méthodologique

- 6 Quelques études ont été menées sur les impacts de la production de neige sur la ressource en eau, mais celles-ci restent encore trop peu nombreuses. En France, récemment une thèse a été réalisée sur « la gestion durable de l'eau en montagne, le cas de la production de neige en stations de sports d'hiver » (Paccard, 2010). Cette thèse a montré qu'à l'échelle des trois stations d'études choisies, il n'existe pas de conflits d'usage à ce jour. Mais la conclusion insiste aussi sur la nécessité de réaliser une étude à l'échelle de petits cours d'eau en tête de bassin versant et de s'appuyer sur des mesures précises. Une autre étude peut également être mentionnée; celle-ci porte cette fois sur la gestion intégrée des ressources en eau sur un territoire de montagne, le cas du bassin versant du Giffre en France (Charnay, 2010). À l'échelle de ce bassin, ces recherches précisent que « 80 % des consommations pour la production de neige sont limitées par un autre usage ou techniquement, soit un taux de satisfaction de l'ordre de 20 % ». Le risque de conflit semble donc bien présent dans ce cas. Notre recherche a pour objectif de répondre dans la mesure du possible à ces diverses attentes en définissant un cadre spatial restreint (celui d'un petit cours d'eau en amont de bassin versant) et en apportant des mesures quantitatives (sondes hydrologiques sur la station d'Avoriaz en France). De plus, afin d'évaluer la présence ou le risque de pénuries et de conflits autour de la ressource, il semblait donc intéressant de mener un travail de comparaison sur trois stations à la gestion très différente.
- 7 La complexité de ce sujet et la polémique qu'il suscite depuis quelques années nous amènent à aborder cette analyse sous la forme d'une approche systémique. Dans le but d'avoir une vision globale et objective pour répondre au mieux à la problématique, il était important de prendre en

compte tous les éléments ayant un lien plus ou moins évident avec la production de neige. En effet, le sujet traité ne peut être déconnecté de son environnement géographique, hydrologique, économique ou sociologique. Dans le cadre de notre étude, les éléments principaux qui constituent le système sont : la neige de culture, le climat, la ressource en eau, les divers usages et la station de ski. L'élément « neige artificielle » est le point central de l'étude, il peut être défini à partir de trois sous paramètres (besoins, volumes produits, périodes de production). C'est à partir de ce point central que l'on a cherché à définir les liens. Afin de répondre au mieux à la problématique posée au départ, nous avons fait le choix de mener cette étude à l'échelle de la station et de son bassin versant. Ces limites sont bien évidemment plus ou moins perméables avec le système extérieur.

- 8 L'étude a débuté par un travail bibliographique à l'échelle nationale, régionale et locale en lien avec l'espace considéré. Le corpus de documents variés (articles de journaux, magazines, revues scientifiques, ouvrages, thèses...) a permis d'étayer les hypothèses de départ et de faire le point sur les connaissances dans ce domaine. Cela a également permis de mettre en lumière l'importance de la couverture médiatique et la teneur des débats autour de ce sujet défini comme « sensible ». L'étude de terrain, menée dans un second temps, a pour objectif de confronter les hypothèses de départ aux réalités observées. Cette recherche s'appuie sur une double approche : des enquêtes auprès des différents acteurs et des relevés quantitatifs.
- 9 L'étude sur le terrain a débuté par une série d'entretiens semi-directifs auprès de personnes ressources : des gestionnaires des stations de ski, des services de production d'eau potable et des sociétés de remontées mécaniques. Le caractère sensible de ce sujet a nécessité la mise en confiance des acteurs passant par la présentation rigoureuse et scientifique de nos objectifs. Ces entretiens se sont également poursuivis auprès de différents acteurs territoriaux (maire de Morzine, Direction départementale des territoires de Haute-Savoie, Association pour l'indépendance d'Avoriaz), population locale (commerçants et résidents) et touristique (tourisme de ski)). Au total, 30 entretiens à usage exploratoire ont été réalisés. L'objectif était dans un premier temps d'obtenir des informations et des points de vue sur la production de neige afin d'explorer le terrain et de construire le guide de l'étude. Les questions posées concernaient quatre points importants qui ont défini notre grille d'entretien : l'historique de l'enneigement et l'évolution des installations; le rôle de l'enneigement au sein de la station et son importance sociale, culturelle et économique; l'impact éventuel de l'enneigement sur la ressource en eau ou plus globalement sur la station; l'avenir et sa perception à court et à long terme. Ces entretiens auprès de personnes ressources ont été reconduits une seconde fois dans un objectif de complémentarité afin de recueillir des données qualitatives et quantitatives (volumes prélevés, périodes de production, secteurs enneigés).
- 10 Une nouvelle analyse documentaire a permis de collecter des informations quantitatives sur la production de neige, les prélèvements d'eau pour l'enneigement et l'eau potable, et les niveaux mesurés du « lac 1730 »⁴. Cette collecte a été possible grâce à la mise à disposition de rapports, d'études préalables à de nouveaux aménagements, de relevés statistiques et à l'accès aux données informatisées des gestionnaires de remontées mécaniques, de production d'eau potable et de l'Agence de l'eau. Afin de mieux appréhender les interactions de la pratique de l'enneigement avec son milieu et les différents usages, des données météorologiques (températures minimales et maximales, températures moyennes journalières, vent, ensoleillement, volume des précipitations totales, hauteurs de neige fraîche) ont été collectées à partir de la base d'information de MétéoFrance (Climathèque et centre de climatologie MétéoFrance de Chamonix). Ces données ont ensuite été traitées à l'échelle du bassin versant. Afin de répondre au manque de données sur ces questions d'enneigement, les données hydrologiques (hauteur d'eau, débit, température de l'eau) ont été mesurées dans les cours d'eau à l'aval des zones de prélèvements (d'octobre 2008 à septembre 2012) grâce à l'installation de sondes (type Hymadd). En complément, 20 jaugeages au sel (appareil EasyFlow) ont été réalisés afin de réduire les risques d'erreurs.
- 11 En comparant les périodes de pompage et les volumes pompés, mais également les modes de gestion des différents organismes, il est possible de déterminer si la situation actuelle est une situation à risques, risques de conflits d'usage et risques de pénurie. Le premier risque

que l'on a cherché à définir est celui du conflit. Il correspond à une situation de superposition spatiale et temporelle des usages entraînant des désaccords de gestion et des choix en termes d'alimentation. Le second risque, celui de pénurie, est défini comme la situation de non alimentation d'un ou plusieurs usages dans un cadre spatial et temporel établi. C'est le résultat d'une surexploitation de la ressource par une ou plusieurs activités.

12 Afin d'observer au mieux les risques éventuels, l'étude a été menée à l'échelle d'un domaine skiable transfrontalier (le domaine des Portes du Soleil) et à l'échelle de trois stations au sein de ce domaine :

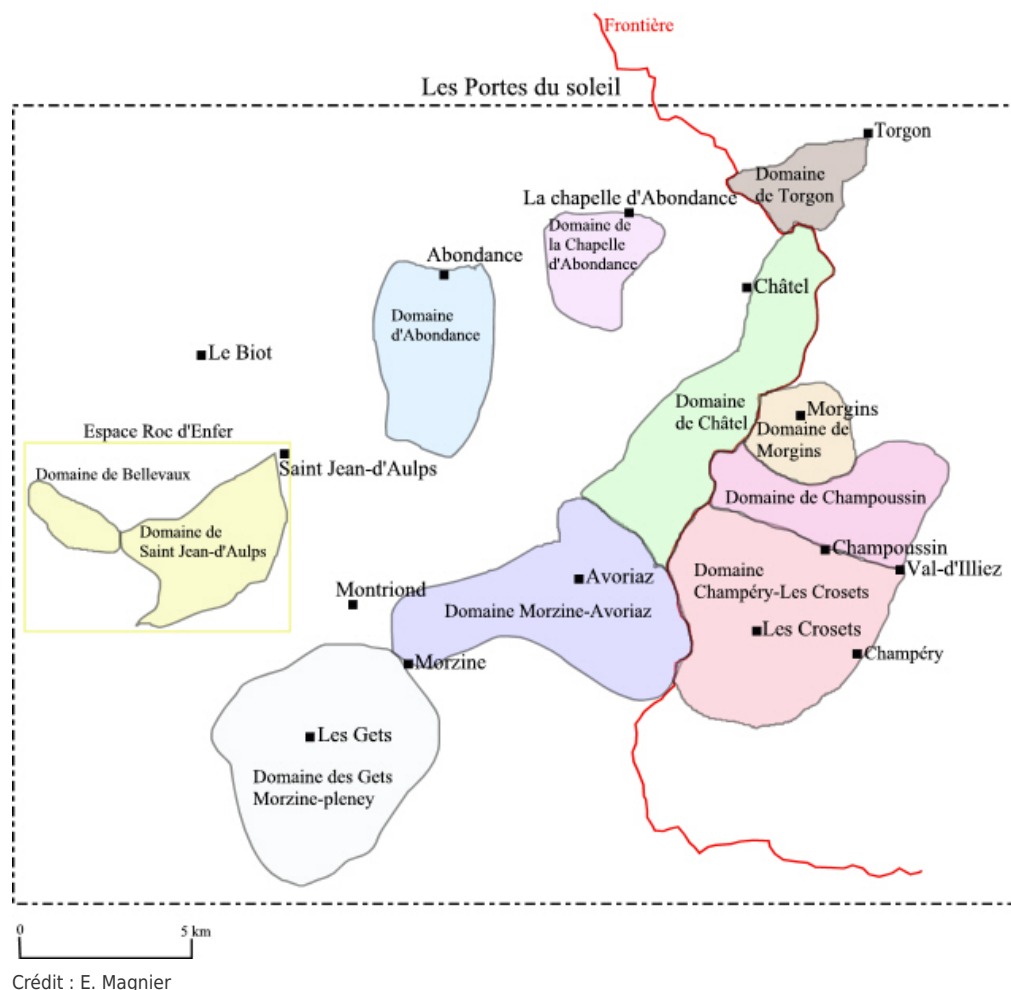
- pour la France : Avoriaz où la production de neige dépend fortement de la consommation d'eau potable dans le cadre du partage d'un même réservoir; Les Gets, où des situations de pénurie et de conflits se sont déjà produites;
- pour la Suisse : Champéry où la gestion de la ressource est très différente de celle réalisée en France.

Résultats

La production de neige à l'échelle du domaine des Portes du Soleil

13 Le domaine skiable des Portes du Soleil est un des plus grands domaines d'Europe avec 12 stations reliées par 650 km de pistes (Figure 2). Il est situé dans les Alpes du Nord, dans le massif du Chablais. Il est soumis à un climat montagnard favorisant la production de neige, avec des températures hivernales inférieures à 2 °C⁵. Des conditions favorables à la production de neige sont importantes au regard des altitudes moyennes des domaines, entre 930 et 2466 m d'altitude. L'enneigement artificiel au sein du domaine des Portes du Soleil tient une place très importante tant du point de vue de la production de neige que du rôle de l'enneigement mécanique pour les stations.

Figure 2. Le domaine skiable des Portes du Soleil / Portes du Soleil ski area.



- 14 Le domaine compte aujourd'hui 632 canons qui permettent d'enneiger 367 hectares de pistes pour une consommation estimée à 1 468 000 m³ d'eau⁶. On a observé de manière plus détaillée la production de neige au sein des 3 stations qui à elles seules comptent 152.5 hectares de pistes enneigées soit près de 41.5 % du domaine enneigé artificiellement.
- 15 La première station est Avoriaz. C'est la station la plus élevée du domaine (1180 à 2466 m), c'est aussi une station dite « skis aux pieds ». La production de neige y est indispensable pour faciliter la circulation des skieurs au centre de la station. Il s'agit également du centre de toutes liaisons entre les diverses stations du domaine skiable. De ce fait, la production de neige a démarré très rapidement, dès les années 1990. Aujourd'hui, on estime que 20 % du domaine est enneigé mécaniquement soit 57.5 hectares (132 enneigeurs pour 100 km de pistes). Les canons à neige sont répartis sur l'ensemble du domaine en des points stratégiques : secteurs très fréquentés et chemins de liaisons, en particulier certaines pistes traversant la station et permettant de relier le domaine. Le lac 1730 d'Avoriaz, lac d'origine glaciaire et artificialisé pour les besoins de la production d'eau potable, est également utilisé pour la production de neige. Ce lac d'un volume de 140 000 m³ est géré par une société privée, la Lyonnaise des Eaux. La particularité de cette station réside dans le partage de la ressource en accord avec la Lyonnaise des Eaux et la SERMA (Société d'exploitation des remontées mécaniques d'Avoriaz).
- 16 La seconde station d'études est celle des Gets, à une altitude légèrement plus basse qu'Avoriaz (1172 à 2019 m). L'enneigement mécanique a débuté quelques années après Avoriaz en 1995. La station compte quant à elle 120 km de pistes et met en avant l'enneigement du domaine skiable qui est aujourd'hui de près de 32 % soit 52 hectares de pistes (130 enneigeurs). L'alimentation des enneigeurs se fait soit par dérivation du trop-plein des réservoirs d'enneigeurs, soit à partir de retenues d'altitude qui servent également pour l'alimentation en eau potable en hiver. C'est une station qui a déjà connu à plusieurs reprises des coupures d'eau potable et des ruptures d'alimentation des enneigeurs.
- 17 Enfin, la station de Champéry, 3e station étudiée, est située sur le versant suisse du domaine et s'étend de 1050 à 2250 m d'altitude. La production de neige est alimentée par captages directs dans les cours d'eau et les lacs naturels en amont de la station de Champéry. Aujourd'hui l'installation compte 90 enneigeurs pour plus de 43 hectares de pistes enneigées.
- 18 Les pratiques liées à la production de neige ont considérablement évolué ces dernières années au sein de ces 3 stations. Elles privilégient toutes la production en début de saison (novembre/décembre) afin de créer une sous-couche plus favorable au maintien de la neige fraîche et ainsi limiter la production en cours de saison. Quelle que soit la station étudiée, les périodes de production de neige (pompages dans la ressource), de prélèvement pour l'eau potable et les diverses activités d'une station de montagne sont les mêmes. On observe une forte augmentation des prélèvements en hiver (de novembre à mars) durant la période d'étiage hivernale (Tableau 1). La ressource disponible doit donc être suffisamment abondante pour satisfaire l'ensemble des usages. C'est durant cette période que les risques liés à la ressource en eau sont les plus importants.

Tableau 1. Une ressource multifonctionnelle et les périodes de pompage / Multifunctionality of the water resource and pumping periods.

	Neige artificielle	Eau potable	Golf	Tourisme (patinoire, piscine, spa...)
Janvier				
Février				
Mars				
Avril				
Mai				
Juin				
Juillet				
Août				
Septembre				
Octobre				
Novembre				
Décembre				

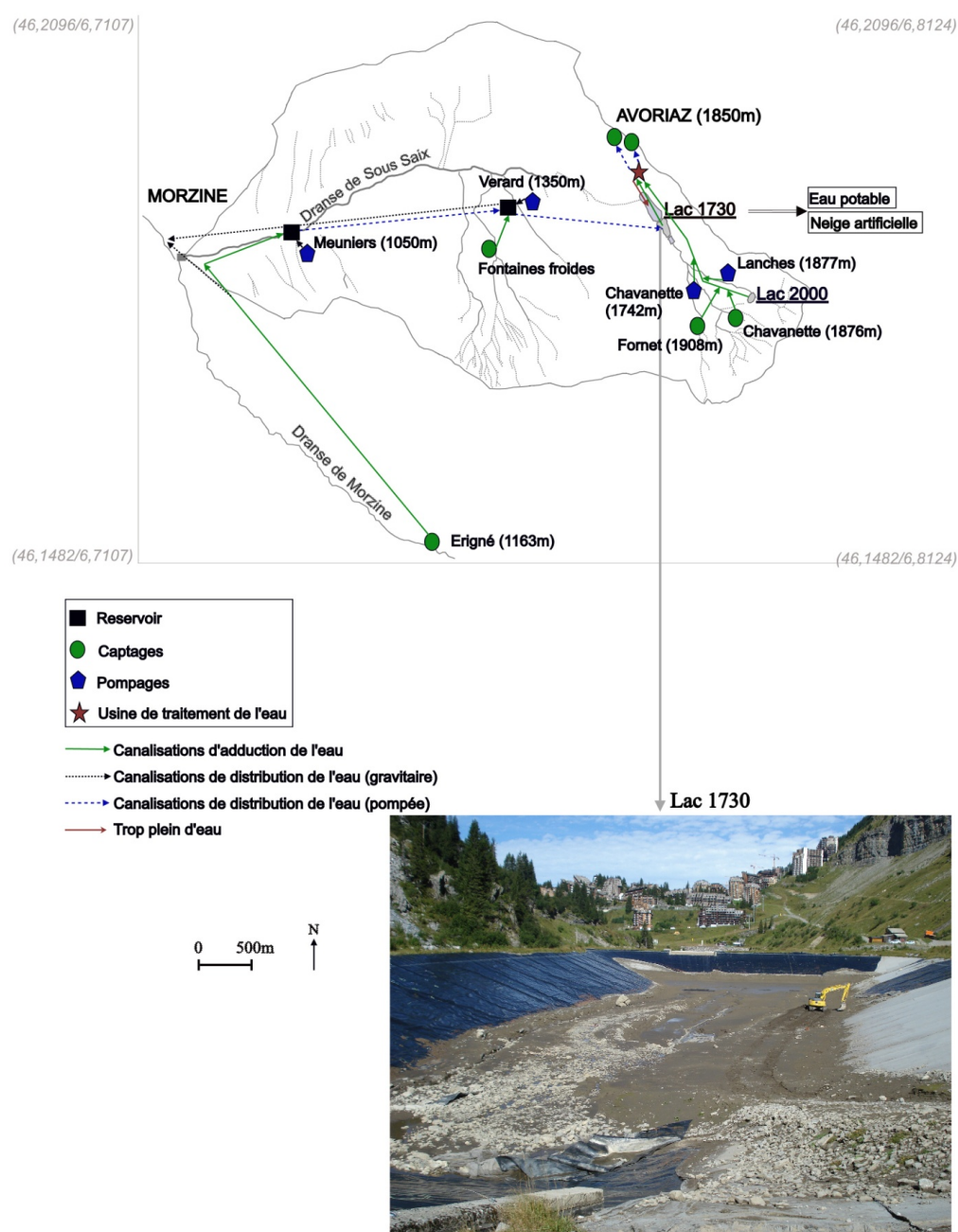
Légende : Les cases noires représentent les périodes de fort pompage et les cases grises les périodes à pompage modéré / Black squares represent periods of high pumping and the gray boxes represent periods of moderate pumping.

19 Pour les stations françaises, le principal défi est donc de concilier l'alimentation en eau potable de la station, mais aussi la production de neige et les diverses activités prélevant dans la ressource. Progressivement, des retenues collinaires sont construites pour gérer individuellement la production de neige. En Suisse, la gestion est rendue plus difficile par la non automatisation des systèmes, les heures de production et les volumes d'eau utilisés ne sont pas répertoriés. C'est à une échelle plus fine que l'on peut véritablement observer les impacts.

La station d'Avoriaz : le cas du partage d'une même ressource

20 Pour la station d'Avoriaz, la zone d'étude choisie est celle du bassin versant de la Dranse de Sous-Saix. La Dranse de Sous Saix draine une surface de 33.5 km². Il s'agit d'un sous-bassin du bassin versant de la Dranse de Morzine qui conflue vers le lac Léman. La Dranse de Sous Saix est alimentée par une multitude de petits cours d'eau dont la plupart sont des écoulements intermittents. La particularité de ce bassin versant est la partie amont du bassin (du col du Fornet à la pointe de Chavanette) qui transite par le lac d'Avoriaz avant de rejoindre en aval la Dranse de Sous Saix. Tout un système de réseaux d'alimentation en eau de la station est venu modifier les écoulements naturels (Figure 3). L'étude porte sur les années 2000 à aujourd'hui et plus particulièrement sur la saison hivernale 2010-2011 qui, en raison des conditions d'enneigement peu favorables, a connu de forts pompages pour l'enneigement artificiel et l'alimentation en eau potable.

Figure 3. Le bassin versant de la Dranse de Sous Saix et son artificialisation / The Dranse de Sous Saix catchment area and its artificialization.



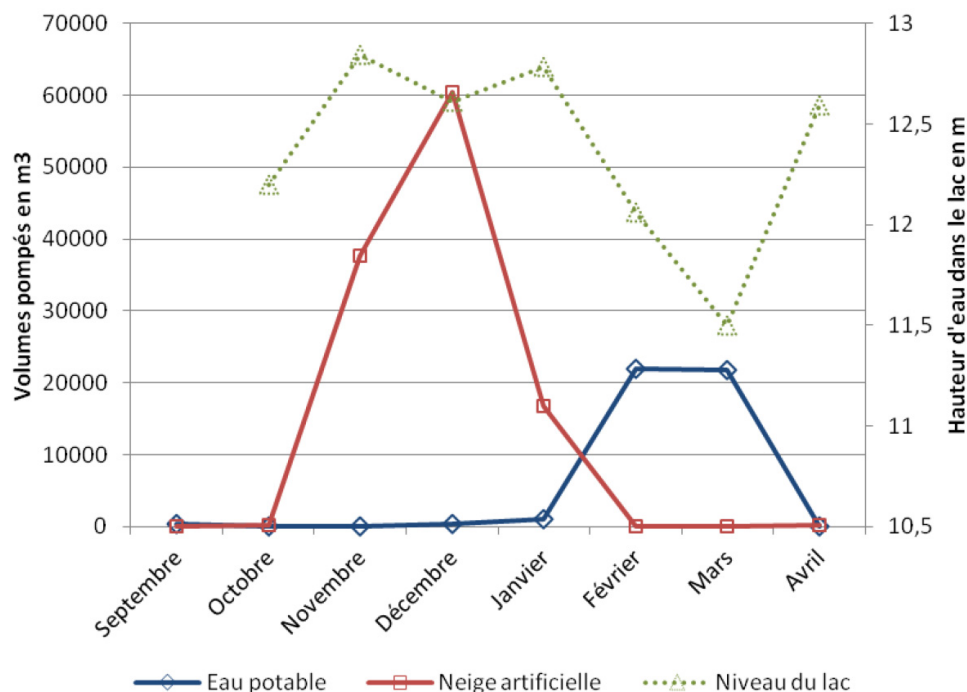
Légende : Carte topographique de Morzine à l'échelle 1/25 000

Source : D'après les données de la Lyonnaise des eaux. Crédit : E. Magnier.

- 21 À l'échelle de la saison d'hiver (5 mois, de novembre à mars), on observe un décalage des périodes de pompages d'eau potable et de neige artificielle (Figure 4). L'eau est d'abord pompée dans le lac pour l'enneigement artificiel puis pour la production d'eau potable, ce qui réduit considérablement les risques de conflits d'usage. Cependant, les volumes pompés à l'échelle de la saison sont élevés : 45 674 m³ pour l'eau potable et 115 215 m³ pour l'enneigement. Ces pompages entraînent une baisse du niveau du lac à la fin de l'hiver et au début du printemps. Une fois les pompages arrêtés, le niveau du lac augmente à nouveau lors de la fonte du manteau neigeux. Ce décalage des usages complique la gestion de la ressource, car il faut prévoir les besoins pour l'enneigement et ceux pour la production d'eau potable. La surveillance du niveau du lac est essentielle ici, car en dépend l'alimentation en eau potable. Si le niveau observé par les techniciens de la Lyonnaise des eaux est trop bas, la production

de neige est stoppée, ce qui s'est déjà produit plusieurs fois les années passées. Mais il n'y a pas de règle établie de niveau imposé; il s'agit d'un accord informel entre les 2 parties. Si les prévisions sont fausses ou que des erreurs sont commises lors de l'observation des niveaux, il peut y avoir un risque de pénurie d'eau pour les mois suivants, ce qui mettrait en péril l'alimentation en eau potable de la station et créerait ainsi un conflit des usages. Plus encore, si les précipitations sont insuffisantes pour recharger le lac, cette situation de pénurie pourrait se prolonger jusqu'en été.

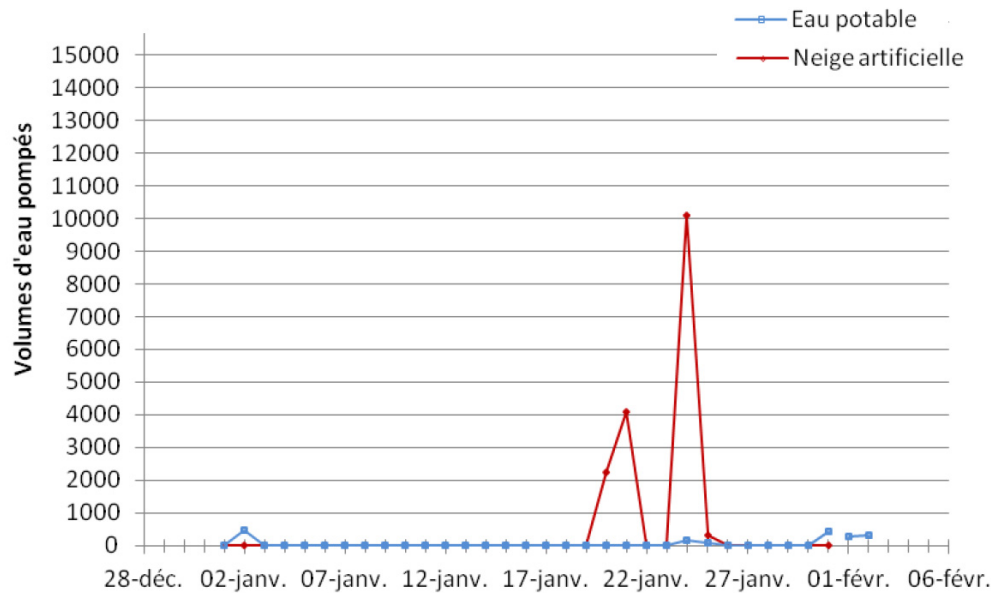
Figure 4. Les pompages dans le lac 1730 durant la saison hivernale 2010-2011 / Pumping from Lake 1730 in the winter season 2010-2011.



Source: D'après les données de la Lyonnaise des eaux et de la SERMA. Crédit : E. Magnier.

- 22 La situation est à surveiller, car, s'il n'existe pas à ce jour de conflit et de risque de conflit, cela peut changer dans les années à venir. La station d'Avoriaz devra faire face à des productions de neige de plus en plus importantes (augmentation de près de 70 % depuis 2005 (Magnier, 2013). Cette augmentation devrait se poursuivre dans les années à venir (Télé Champéry-Crosets Portes du Soleil SA, 2006) associée à un accroissement de la population touristique à Avoriaz (nouvelles constructions livrables en 2013).
- 23 À une échelle plus fine, celle de la journée pour le mois de janvier 2011, l'usage de l'enneigement artificiel apparaît intense par rapport aux autres usages et notamment la production d'eau potable (Figure 5). Des volumes considérables sont prélevés en quelques heures (ex. : 10 114 m³ le 24 janvier). Ces pompages se font au jour le jour, car ils dépendent des besoins de réapprovisionnement du manteau neigeux (usure par le passage des skieurs, températures entraînant une fonte rapide de la couche de neige) et des conditions climatiques favorables à la production (températures négatives, faible hygrométrie de l'air, vent faible). Ces besoins importants sur une période très courte (parfois quelques heures) rendent difficile la prévision des pompages pour la production de neige et par conséquent la gestion de la ressource du lac pourtant nécessaire à la production d'eau potable qui s'en suit.

Figure 5. Les pompages dans le lac 1730 pour le mois de janvier 2011 / Pumping from Lake 1730 for the month of January 2011.



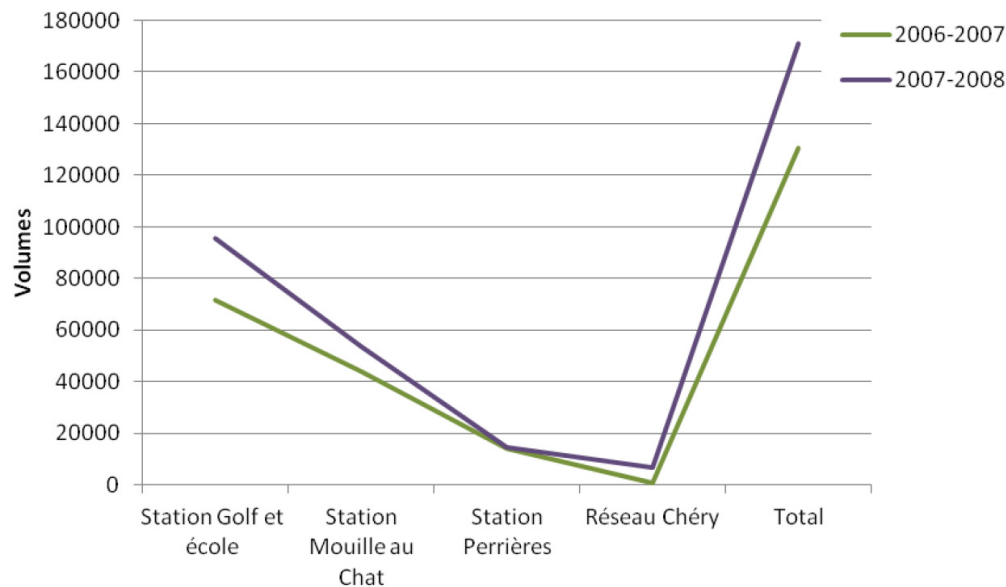
Source : D'après les données de la Lyonnaise des eaux et de la SERMA

Les Gets : la complexité de la gestion

24

La période d'étude est celle des saisons 2006-2007 et 2007-2008 qui ont connu des problèmes de conflits entre les divers utilisateurs de la ressource. Le système de production d'eau potable et de neige y est particulièrement complexe. Le fonctionnement des réseaux d'alimentation des enneigements est spécifique aux Gets. En effet de nombreuses installations d'enneigement sont reliées aux systèmes de production d'eau potable. Les prélèvements d'eau pour la production de neige dépendent donc presque toujours des besoins en eau potable. Il existe cependant 3 types d'installations. La station du Chéry utilise le trop-plein du réservoir d'eau potable avec une consommation de l'ordre de 862 m³ pour la saison 2006-2007, la station des Perrières effectue des prélèvements sur le réseau d'eau potable complété par des forages (la consommation totale est de 14 200 m³) et enfin la station des écoles est une retenue collinaire destinée à l'alimentation des canons à neige; cependant, en hiver, des prélèvements sont possibles pour la production d'eau potable (Figure 6). Ces installations sont complétées par des retenues collinaires à vocation unique d'alimentation des enneigements. La consommation totale pour la saison a été de 130 637 m³ sur l'ensemble du domaine des Gets.

Figure 6. La répartition des pompages par secteur aux Gets durant la période hivernale / The distribution of pumping by sectors in Les Gets, during winter time Winter

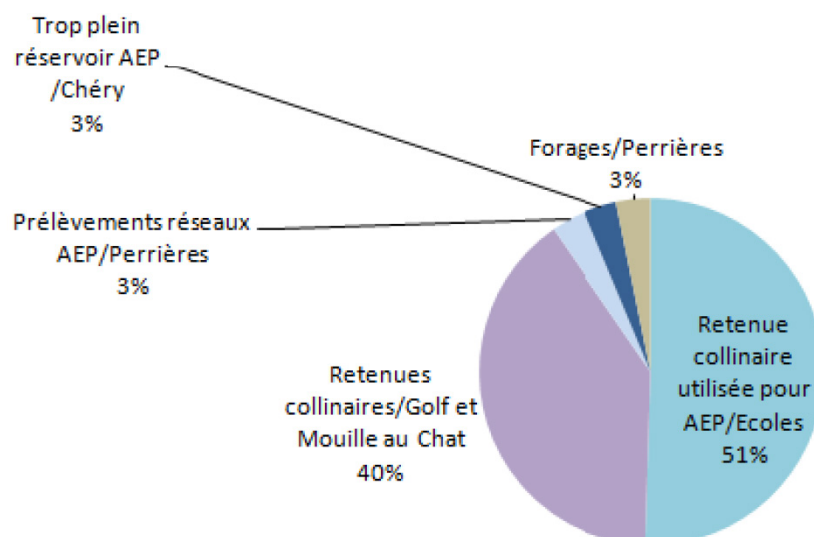


Source: D'après les données de la mairie des Gets. /

25

Si on observe la répartition des modes de prélèvement sur l'ensemble du domaine, on constate l'importance des volumes prélevés dans des retenues ou des réseaux reliés aux réservoirs AEP (approvisionnement en eau potable) : 57 % des prélèvements (3 % sur le réseau d'AEP, 3 % sur le trop-plein des réservoirs et 51 % sur des retenues collinaires qui alimentent le réseau AEP en hiver) (Figure 7). Les conséquences peuvent être significatives sur le fonctionnement global du système et sur le partage de la ressource. Dans le contexte d'un automne particulièrement sec, comme ce fut le cas pour l'automne 2007 les réserves sont basses à l'approche de l'hiver et la production de neige limitée. En pleine saison 2006-2007, le maire refuse la mise en fonctionnement des canons pour protéger les réserves d'eau potable et éviter tout risque de pénurie. Le directeur de la société d'exploitation des remontées mécaniques, opposé à cette décision pour le bon fonctionnement du domaine skiable, démissionne au cours de l'hiver (Le messager du Chablais, 1^{er} février 2007). Mais la ressource en eau potable était déjà limitée et le maire avertit la population d'un risque de manque d'eau (Acquiert, 2006). Il y a donc bien eu ici une situation de conflit entre deux usages, l'usage pour l'alimentation en eau potable de la station et l'usage pour la production de neige.

Figure 7. Pourcentages par mode de prélèvement sur les prélèvements totaux durant l'hiver 2007-2008 pour les différents secteurs / Percentage by types of pumping on total pumping, during winter 2007-2008 for the different sectors.



Source: D'après les données de la mairie des Gets.

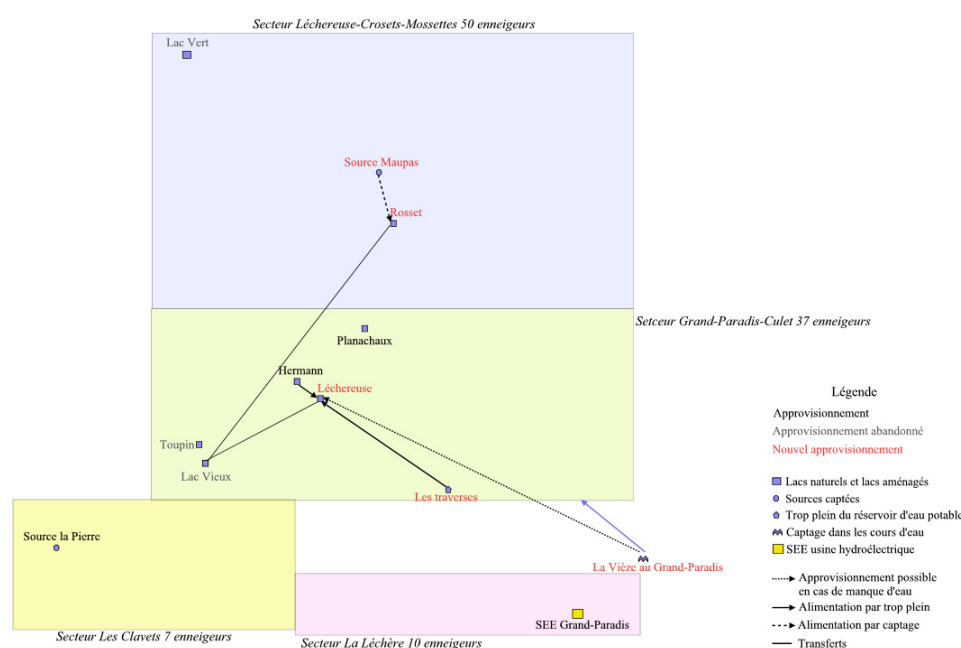
- 26 Cette situation aurait pu alerter les gestionnaires de l'eau potable (la commune des Gets) et ceux de l'enneigement mécanique (la société de remontée mécanique). La commune avait pour projet de mieux gérer la ressource dans les années à venir. Cependant l'hiver suivant, 2007-2008, les prélèvements n'ont pas été réduits; au contraire la consommation totale pour la production de neige a augmenté, puisqu'elle a été de 170 783 m³. Les prélèvements ont augmenté dans tous les secteurs d'approvisionnement, y compris les secteurs que l'on pourrait qualifier de sensibles (ceux étant reliés au réseau d'AEP). Cependant on observe que les augmentations les plus fortes ont concerné les prélèvements dans les retenues collinaires (Station Golf et école et station Mouille au chat) et le trop-plein d'eau potable (réseau Chéry).
- 27 De plus, de nombreux transferts d'eau sont réalisés au sein du domaine; ainsi pour la saison 2007-2008, la consommation totale d'eau pour les secteurs Golf et Écoles a été de 145 473 m³ avec près de 49 820 m³ d'eau transférée. Ces importants transferts d'eau renforcent la complexité du système et compliquent la gestion globale de la ressource ainsi que le partage de celle-ci. Les risques sont aujourd'hui toujours présents et les débats sur l'enneigement artificiel animés aux Gets, malgré un plan de gestion de l'enneigement mis en place en 2008 sur des secteurs précis (4 zones prioritaires : les secteurs de liaisons et les retours station). Le lac des Chavannes, d'une capacité de 10 000 m³, a très rapidement été utilisé, mais là encore il s'agit de prélèvements sur le trop-plein du réservoir d'eau potable. Fin 2009, la question de l'amélioration de la gestion de la ressource en eau et de l'équipement en neige de culture était encore à l'ordre du jour des conseils municipaux. Les projets sont de 3 ordres. Tout d'abord une meilleure connaissance des quantités de production nécessaires pour chaque lieu. Il s'agit ensuite pour la commune d'acquérir des géoradars embarqués sur les engins de damage pour connaître précisément la hauteur de neige et adapter la production (cette technique est déjà utilisée sur Avoriaz). Enfin, réduire l'approvisionnement des canons par les réseaux d'eau potable en développant les forages et les retenues d'altitude (2 nouvelles retenues sont en projets d'un volume total de 100 000 m³).
- 28 Dans cet exemple comme dans celui d'Avoriaz, on constate que c'est le partage d'une même ressource entre l'approvisionnement en eau potable de la station et l'alimentation des enneigeurs qui génère une situation à risque de conflits d'usage et de pénurie d'eau. Ce sont la gestion et les accords entre les différents utilisateurs qui déterminent le degré de risque. Même si la station d'Avoriaz ne présentait pas de cas concret de conflits, ces situations existent, comme nous le montre l'exemple des Gets.

Champéry : une évolution rapide des systèmes de production

La période d'étude s'étend cette fois-ci sur les saisons de 2005 à aujourd'hui. La station de Champéry a connu beaucoup d'évolutions au cours de ces dernières années. Les prélèvements pour la production de neige ont considérablement augmenté et les réglementations concernant cette production ont parallèlement été renforcées.

L'approvisionnement des enneigeurs sur la station de Champéry se fait, depuis le début de l'enneigement de la station, par prélèvement direct dans les cours d'eau et les lacs naturels ou aménagés situés en amont de la station (Figure 8). Une partie de l'eau provient de la station hydroélectrique du Grand-Paradis, l'eau y est prélevée après turbinage. Les prélèvements se font quotidiennement en fonction des besoins de production. Il n'existe à ce jour aucun relevé des dates de production, des volumes produits ainsi que des volumes d'eau prélevés dans le milieu. Cette absence d'information associée aux prélèvements directs constitue un risque non négligeable quant à la gestion de la ressource, qui ne peut s'appuyer sur des valeurs concrètes. Comme on a pu le voir dans les exemples précédents, la connaissance des volumes prélevés ainsi que le partage des réservoirs constitue certes un risque de conflit, mais permet de mieux gérer la ressource globale et ainsi d'éviter les risques de pénurie.

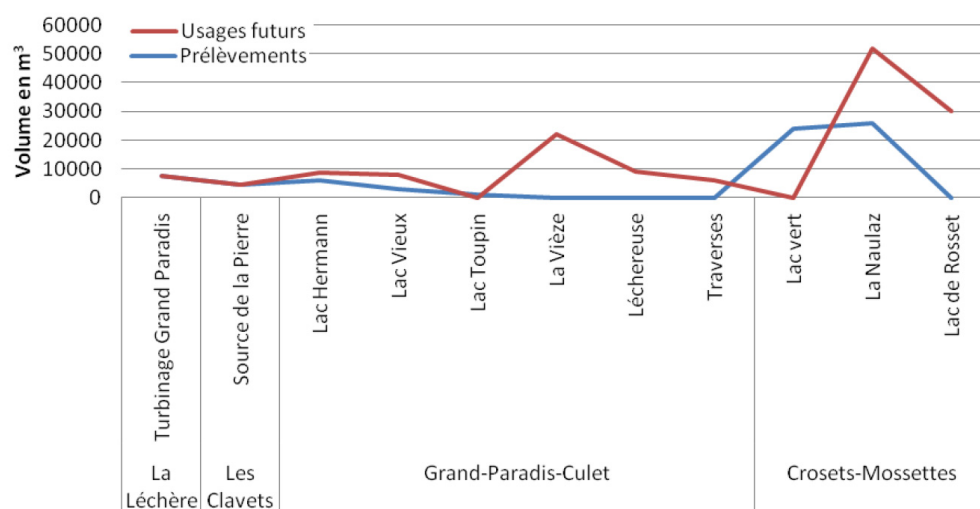
Figure 8. Carte du domaine de Champéry et des prélèvements d'eau pour l'enneigement artificiel / Map of Champéry Skiing area and pumping for snow production.



Depuis quelques années, des lacs ont été aménagés ou créés et de nouveaux pompages dans les cours d'eau ont été réalisés. Ainsi, les volumes prélevés ont doublé en 5 ans (71 675 m³ d'eau consommés en 2005-2006 et près de 150 000 m³ en 2009-2010). Cependant, la question de la gestion de l'eau est ici aussi prise au sérieux, puisqu'une étude sur les besoins en eau pour l'alimentation des installations d'enneigement a été demandée par la société de remontée mécanique Télé Champéry. Ce document s'intègre dans la planification globale 2005-2020, engagée sur les stations suisses du domaine des Portes du Soleil pour concilier les intérêts économiques et écologiques (Mavilia-Woeffray, 2008). Cette planification a été réalisée à la demande des associations de protection de la nature (Fondation suisse pour la protection et l'aménagement du paysage, Ligue suisse pour la protection de la nature, Pro Natura Valais et WWF Suisse et Valais). Les besoins futurs pour l'enneigement ont été estimés et de nouvelles sources d'approvisionnement ont été proposées. Ces nouveaux prélèvements respectent les différentes réglementations comme le maintien d'un débit résiduel dans les cours d'eau⁷ (exemple du captage de la Vièze), ou l'aménagement de lacs (Figure 9). Ces projets pourront être mis en place progressivement. La mise en place d'espaces protégés contraint également

la station à trouver de nouvelles sources d'approvisionnement; en effet, dans les années à venir, les prélèvements dans le lac Vert seront interdits, soit un déficit d'approvisionnement de 23 800 m³ sur une saison (déjà pris en compte dans la planification).

Figure 9. La distribution des prélèvements par secteurs pour la station de Champéry Les Crosets. Hiver 2005-2006 et évolution jusqu'en 2020 dans la Planification globale. / The distribution of pumping by sectors in Champéry-Les Crosets. Winter 2005-2006 and developments until 2020 in the Planification globale.



Source: D'après les données de Télé Champéry les Crosets Portes du Soleil SA

Discussion

- 32 Même si au travers des diverses études réalisées le risque de conflits d'usage et de pénurie d'eau semble faible, ces risques ne sont pas inexistants. À l'échelle du bassin versant, la situation n'est pas alarmante et les impacts de la production de neige sont relativement limités, comme en concluent les quelques rares études réalisées sur ce sujet (Paccard, 2010; Dugleux 2002). Cependant, la situation doit être surveillée, car les risques ne sont pas inexistants à des échelles spatiales et temporelles précises.
- 33 Ces 3 études de cas nous ont permis de définir 2 types de risques liés à l'organisation des usages de la ressource au sein des stations.
- 34 Le 1^{er} risque observé est celui du conflit des usages. Même si ce risque semble relativement rare, il n'est cependant pas inexistant, comme en témoigne l'exemple des Gets. Si l'on définit les conflits d'usages comme « la superposition d'usages autour d'une même ressource, qui implique que certains usages ne sont pas pleinement alimentés » (Direction départementale de l'Équipement et de l'Agriculture de Savoie, 2009), alors la situation de l'hiver 2007-2008 aux Gets est bien une situation de conflits d'usages. Et ce risque semble particulièrement présent dans les stations où s'effectue un partage de la ressource entre diverses activités, notamment avec la production d'eau potable (Les Gets) et plus particulièrement à l'échelle d'un bassin versant de petite taille (La Dranse de Sous Saix, Avoriaz). C'est à l'échelle temporelle de la journée que ces risques sont particulièrement présents, car les prélèvements importants pour la production de neige se font souvent sur quelques heures. Comme le souligne P. Paccard dans une étude réalisée sur l'utilisation et la gestion des ressources en eau, « Des manifestations de conflits d'usage, symptômes de problèmes de gestion et/ou de disponibilité de la ressource, existent donc réellement dans certaines situations. » (Paccard, 2007) Au regard de nos résultats, il apparaît qu'il s'agit surtout de problèmes de gestion et du manque de règles définies au préalable par les différents acteurs qui est source de conflits. Mais l'ensemble des entretiens réalisés au cours de cette étude montre que la priorité sera toujours donnée à l'approvisionnement en eau potable. C'est d'ailleurs le choix qui avait été fait aux Gets durant l'hiver 2007. Le terme de conflits n'est de ce fait pas approprié, et il serait préférable de parler de rivalité ou de concurrence des usages. Le risque de pénurie peut, quant à lui, être évité par les accords trouvés entre les différents utilisateurs et une bonne gestion de la ressource, et ce même

en l'absence de réglementation spécifique à l'enneigement. Pour limiter ces risques, certaines stations prennent des mesures de gestion de la production de neige (plan d'enneigement aux Gets) ou de gestion de la ressource. Ainsi, la Lyonnaise des Eaux sur Avoriaz a mis en place des instruments de mesure du niveau du « lac 1730 » afin d'optimiser cette gestion et le partage entre l'eau potable et la SERMA.

35 Le second risque est celui de la pénurie. Il semble plus présent dans les stations prélevant directement dans les cours d'eau et les lacs naturels (Champéry). L'absence de bassin de stockage et indirectement d'accords entre les différents utilisateurs rend la gestion de la ressource plus compliquée, aggravant ainsi le risque de pénurie d'eau. Ce qui est mis en avant ici, c'est le manque de données et d'informations concernant la production de neige. Ce manque de diffusion de données est également présent côté français. En effet, même si les volumes d'eau consommés et les volumes de neige produits sont connus par les gestionnaires de l'approvisionnement en eau potable (comme la Lyonnaise des Eaux sur Avoriaz) et les sociétés de remontées mécaniques, à l'échelle du Département ou de la Région, les services de l'ÉTAT (collectivités territoriales) ou bien encore l'Agence de l'eau ne connaissent pas le détail des chiffres. Ce manque de données altère la vision globale de la gestion de la ressource à long terme comme le souligne P. Paccard (Paccard, 2010).

36 De plus, la quantification de l'ensemble des besoins des usagers est très difficile pour ne pas dire presque impossible, tout comme la quantification de la ressource disponible pour laquelle des données et des mesures manquent indéniablement. Pourtant ces informations sont indispensables à une bonne gestion de la ressource.

37 Enfin, le changement climatique est un des paramètres à prendre en considération dans la gestion de la ressource. Un grand nombre d'études réalisées sur le changement climatique et les impacts sur l'enneigement naturel prévoient une baisse de l'enneigement et une diminution des périodes de froid (Etchevers et Martin, 2002; Loubier, 2007). D'après une étude de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économique) en 2007, la limite de l'enneigement remonterait de 300 m d'ici 2050. Ces données ont été confirmées par le récent rapport de l'IPCC en 2013, qui prévoit une hausse des températures d'environ 0.5 °C d'ici 2035 et une diminution de la couverture neigeuse de 7 % (scénario optimiste) à 25 % (scénario pessimiste) pour la fin du XXI^e siècle dans l'hémisphère nord. À l'échelle des Alpes, le réchauffement annoncé pourrait atteindre deux degrés supplémentaires d'ici 2030 avec une baisse des précipitations hivernales de 10 mm par jours d'ici 2080 (Auffray, 2008). Dans un premier temps, les stations pourraient connaître une augmentation des besoins en neige pour combler le manque d'apport en neige fraîche, principalement en début et en fin de saison. La pression sur la ressource en eau serait d'autant plus forte que la production augmenterait considérablement et que cette ressource serait, dans cette même configuration, limitée et réduite par rapport aux conditions actuelles. Mais la production a ses limites et, dans un second temps, l'augmentation des températures pourrait à l'inverse limiter les plages de production de neige, comme le montre une étude récente sur le tourisme face au changement climatique (Abegg, 2011). Certaines stations pourraient être tentées d'accroître les productions dans des conditions non idéales (température à -2 °C au lieu de -5 °C) provoquant une perte liée à la fonte et des coûts plus élevés pour les stations (Marke et al., 2014). Au Québec, un rapport prévoit une augmentation de plus de 20 % de la production d'ici 2020 et de près de 40 % d'ici 2050 (Singh et al., 2006). Les connaissances dans ce domaine sont encore bien incertaines, mais ce nouveau paramètre doit impérativement être pris en compte dans la gestion de la ressource dans les années à venir, car, dans le cas d'une augmentation de la température de 2 °C, seuls 49 % des domaines existants en Haute-Savoie seraient encore considérés comme fiables (Direction départementale de l'Équipement et de l'Agriculture de Savoie, 2009)⁸. Un autre point sur lequel les études s'accordent est la sensibilité des domaines de moyenne montagne à ces changements comme ceux des Portes du Soleil (Dubois et Ceron, 2006; Tauxe, 2006; Hamilton et al., 2007). C'est toute l'économie du ski qui pourrait être mise en danger dans les années à venir avec une baisse significative du nombre de skieurs et de stations (Damm et al., 2014).

- 38 À l'avenir, pour éviter tout risque de conflits et de pénurie de la ressource, une meilleure gestion de la ressource est indispensable et ne pourra se faire qu'en améliorant les connaissances des usages, des besoins et de l'évolution de ces besoins. Ces recommandations ont déjà été faites auprès des stations de ski françaises par le ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire : « faire effectivement appliquer les arrêtés du 11 septembre 2003 qui imposent la mesure ou l'évaluation des volumes prélevés dans la ressource en eau et la transmission des résultats au préfet [...] et de mettre en place un dispositif de télé déclaration annuelle des volumes prélevés » (Badré et al., 2009). Il faut aussi mettre en place des réglementations à différentes échelles spatiales (celle de la station par des accords entre les différents acteurs et celle du bassin versant avec les contrats de rivières). Un dossier de contrat de bassin versant des Dranses et de l'est Lémanique a été déposé en 2009 par le SIAC du Chablais et est actuellement en cours d'étude. D'autres solutions peuvent être étudiées pour mieux gérer la ressource. Les retenues d'altitude sont de plus en plus utilisées pour mieux gérer le partage de la ressource et gérer le stock d'eau en hiver. Afin de s'affranchir de cette dépendance vis-à-vis de la production d'eau potable, la station d'Avoriaz a déposé un projet de retenue collinaire en amont du « lac 1730 » pour l'alimentation des canons de la station. Comme le démontre une étude de la direction départementale des territoires de la Savoie en 2009, les retenues d'altitude permettent principalement d'étaler les prélèvements sur l'ensemble de la période hivernale, au lieu de les concentrer pendant les heures de production de neige. Dans le cas de prélèvements directs dans les cours d'eau, la mise en place de retenues d'altitude semble donc être une solution adaptée pour limiter les impacts de la production de neige sur la ressource. Sur la commune de Champéry, une retenue collinaire d'un volume de 80 000 m³ est également en projet. Les stations du canton du Valais sont d'ailleurs fortement incitées ces dernières années à construire des retenues collinaires, celles-ci étant perçues comme la solution d'avenir pour limiter les impacts directs de la production de neige sur la ressource en eau. Mais ces retenues ne limitent que partiellement les prélèvements à l'étiage hivernal. En effet, celles-ci sont souvent remplies plusieurs fois au cours de l'hiver.
- 39 Une meilleure gestion de la ressource peut également être induite par des réglementations spécifiques à l'enneigement artificiel. En Suisse, dans le Valais, la fiche de coordination D10 a été établie pour réglementer les installations d'enneigeurs et la production de neige, avec pour l'un des objectifs de limiter la consommation d'eau. En France, même si les lois sur la gestion et les prélèvements d'eau dans le milieu sont particulièrement complètes, les réglementations spécifiques à l'enneigement n'existent pas. La Fédération française des Associations de Résidents de Stations de Montagne, dans un procès verbal rédigé en 2007, demande une interdiction totale des prélèvements directs sur le réseau d'eau potable. La situation dans les années à venir doit être surveillée, car, comme en conclut l'étude de B. Charnay, certaines stations françaises connaissent aujourd'hui un déficit en eau potable et la situation est critique; c'est le cas notamment pour la station des Gets. Le poids que fait peser la production de neige sur ces ressources devrait augmenter dans les années à venir pour faire face au développement des zones enneigées artificiellement et, parallèlement, la consommation en eau potable devrait s'accroître pour répondre à la demande croissante du nombre d'utilisateurs. Un *monitoring* de l'eau semble donc nécessaire à l'échelle régionale (Reynard et al., 2013) tout comme à l'échelle locale comme en conclut cette étude.

Conclusion

- 40 Les installations de production de neige ont désormais un intérêt particulier qu'il faut prendre en compte. Elles sont nécessaires aux stations pour maintenir et valoriser l'activité économique de « l'or blanc ». Cette activité d'enneigement très récente et fortement consommatrice en eau fait partie intégrante des activités d'une station de moyenne montagne plus sensible que les autres aux variations de l'enneigement naturel. Toutes les utilisations de la ressource par ces divers usages doivent s'accorder pour ne pas créer de situations de pénurie et de conflits d'usage. Même s'il n'existe pas à ce jour de graves situations connues de pénurie d'eau et de conflits autour de la ressource, la mobilisation d'un grand volume d'eau sur une période très courte rend la gestion difficile et peut engendrer des situations à risques. Il apparaît donc

essentiel de bien gérer la ressource en eau dans les années à venir, face à l'accroissement des espaces enneigés et des superficies des stations. Le partage doit s'effectuer en accord entre les divers utilisateurs (production de neige et AEP) et le milieu naturel. Le système de gestion est donc particulièrement complexe.

41 Dans les années à venir et d'après les résultats de cette étude, la gestion des ressources en eau est indispensable en particulier dans un contexte de changement climatique qui devrait, à plus ou moins long terme, réduire le volume des précipitations neigeuses et le volume global de la ressource en eau. De plus, ces trois stations ont déjà engagé d'importants travaux de développement du domaine skiable et de la capacité d'accueil touristique, engendrant indéniablement une augmentation des prélèvements en eau (pour les canons à neige et l'eau potable). En comparaison de résultats d'études portant sur d'autres stations de ski des Alpes (en France, en Suisse, en Italie, en Autriche) et au Québec, il est aujourd'hui nécessaire d'améliorer les connaissances et la diffusion des données sur les volumes prélevés afin de limiter dans les années à venir tout risque de pénurie d'eau. Afin de limiter les risques de conflits d'usage, les réglementations encadrant ces diverses pratiques doivent aussi être étendues. Il apparaît donc essentiel de multiplier les recherches à l'échelle locale de petits bassins versants et des stations de ski, à diverses altitudes et dans divers massifs.

Remerciements

42 L'auteur remercie le laboratoire de géographie de Lausanne et plus particulièrement le Professeur Emmanuel Reynard ainsi que le professeur Jean-Pierre Peulvast (Université de Paris-Sorbonne) pour leur soutien et leur aide matérielle sur le terrain. L'auteur remercie également les responsables de l'enneigement artificiel des sociétés des remontées mécaniques d'Avoriaz (SERMA), des Gets (SAGETS : Société anonyme des Gets) et de Champéry (Télé Champéry- les Crosets), le directeur et les différents techniciens de la Lyonnaise des eaux, les collectivités territoriales (la Direction départementale des territoires de Haute-Savoie et la Direction départementale de l'Équipement et de l'Agriculture de Haute-Savoie) pour la transmission de leurs données.

Bibliographie

- Abegg, B., 2011, Le tourisme face au changement climatique, *Rapport de synthèse de la CIPRA*, n° 1, pp. 1-32.
- Acquiert, H., 2006, De la neige à tout prix, *La vie*, n° 3162, [en ligne] URL : <http://www.lavie.fr/archives/2006/04/06/de-la-neige-a-tout-prix,8003603.php>. Consulté le 13 juillet 2012
- Association nationale des Maires des stations de montagne (ANMSN), 2007. *Charte nationale en faveur du développement durable dans les stations de montagnes*, Nanterre, Ski France ANMSN, 32 p.
- Association nationale des Maires des stations de montagne (ANMSN), s.d., *Une gestion équilibrée des ressources*, [en ligne] URL : <http://www.anmsm.fr/fr/214/pages/d/les-engagements/promouvoir-une-gestion-equilibree-des-ressources/page/0>. Consulté le 9 juillet 2012.
- Auffrey, A., A. Brisson, A. Tamburini, V. Dziak, D. Maloïsel et S. Martinoni-Lapierre, 2008, *Climat de la région Rhône-Alpes*, rapport Météo-France, 47 p.
- Badré, M., J-L. Prime et G. Ribière, 2009, *Neige de culture : État des lieux et impacts environnementaux. Note socio-économique*, La Défense, Conseil général de l'environnement et du développement durable, 152 p.
- Baillat-Ballabriga, A., 2007, *Utilisation et gestion des ressources en eau dans le canton du Valais*, Programme Interreg III : Le Haut-Rhône et son bassin versant montagneux : pour une gestion intégrée de territoires transfrontaliers, 3e volet, 85 p.
- Biau A., A. Ducros et J. Pulou, 2006, Neige artificielle, raisons et déraisons, *la Lettre eau, France Nature Environnement*, n° 37, pp. 14-15.
- Campion, T., 2002, *Impact de la neige de culture*, Lyon, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 67 p.
- Charnay, B., 2010, *Pour une gestion intégrée des ressources en eau sur un territoire de montagne. Le cas du bassin versant du Giffre (Haute-Savoie)*, Thèse de doctorat en géographie, Chambéry, université de Savoie, 88 p.

- CIPRA, 2004, L'enneigement artificiel dans l'arc alpin. Rapport de synthèse, [En ligne] URL : http://www.cipra.org/pdfs/454_fr/at_download/file. Consulté le 18 novembre 2010.
- Damm, A., J. Köberl et F. Prettenhaler, 2014, Does artificial snow production pay under future climate conditions? – A case study for a vulnerable ski area in Austria, *Tourism Management*, volume 43, pp. 8-21.
- Demers, A., 2006, Les impacts engendrés par la modification du régime hydrique découlant de l'enneigement artificiel, thèse de doctorat, Sherbrooke, Centre universitaire de formation en environnement, 74 p.
- Direction départementale de l'équipement et de l'agriculture de la Savoie, 2009, *Gestion durable des territoires de montagne. La neige de culture en Savoie et Haute-Savoie*, Le Bourget du Lac, CNRS. Laboratoire Edytem, 86 p.
- Direction départementale des territoires de la Savoie, 2011, *Eau et neige de culture en Savoie-Observatoire 2010-2011*, Chambéry, 4 p.
- Dubois, G. et J-P. Ceron, 2006, *Adaptation au changement climatique et développement durable du tourisme, Etude exploratoire en vue d'un programme de recherche*, Marseille, Tourisme Transports Territoires Environnement Conseil, 131 p.
- Dugleux, E., 2002, *Impact de la production de neige de culture sur la ressource en eau*, Lyon, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 7 p.
- Etchevers, P. et E., Martin, 2002, *Impact d'un changement climatique sur le manteau neigeux et l'hydrologie des bassins versants de montagne*, Communication au colloque l'eau en montagne, Megève septembre 2002, 8p., [en ligne] URL : <http://www.riob.org/IMG/pdf/Etchevers-2.pdf>. Consulté le 9 juillet 2012
- Fédération Française des Associations de Résidents de Stations de Montagne, 2007, *Procès verbal de l'Assemblée Générale du 9 août 2007*, Bulletin n° 3, octobre 2007, [en ligne] URL : <http://www.docstoc.com/docs/31161422/F%C3%A9d%C3%A9ration-Fran%C3%A7aise-des-Associations-de-R%C3%A9sidents>. Consulté le 14 juillet 2012
- François H., S. Morin, M. Lafaysse et E. George-Marcelpoil, 2014, Crossing numerical simulations of snow conditions with a spatially-resolves socio-economic database of ski resorts : a proof of concept in the French Alps, *Cold regions science and technology*, Volume 108, décembre 2014, pp. 98-112.
- Hamilton, L.C., C. Brown et B.D. Keim, 2007, Ski areas, weather and climate : Time series models for New England case studies, *International Journal of Climatology*, volume 27, pp. 2113-2124.
- Hanzer, F., T. Marke et U. Strasser, 2014, Distributed, explicit modeling of technical snow production for a ski area in the Schladming region (Austrian Alps), *Cold Regions Science and Technology*,
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014, Climate change : impacts, adaptation and vulnerability, rapport complet, 1846 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013, Climate change : the physical science basis, rapport complet, 1552 p.
- Magnier, E., 2013, Neige artificielle et ressource en eau en moyenne montagne : impacts sur l'hydrosystème. Les exemples d'Avoriaz (France) et de Champéry (Suisse), Thèse de doctorat en géographie, Paris et Lausanne, université Paris IV Sorbonne et université de Lausanne, 388 p.
- Mavilia-Woeffray, M., 2008, Pourquoi une planification globale des Portes du Soleil ?, *Le régional*, n°441, du 22 au 29 octobre 2008, [en ligne] URL : http://www.1873.ch/planification/IMG/pdf/REG441planif_page_22.pdf. Consulté le 13 juillet 2012.
- Le messager du Chablais, 2007, Démission du président-directeur de la SAGETS, Le messager du Chablais, 1er février, pp. 1-2.
- Loubier, J-C., 2007, Changement climatique et domaines skiables : simulation en Savoie et Haute-Savoie à l'horizon 2015, *Mappemonde*, 85, 9 p.
- Direction départementale des territoires de la Savoie, 2011, *Eau et neige de culture en Savoie, Observatoire 2010-2011*, Chambéry, 4 p.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), 2007, *Changements climatiques dans les Alpes Européennes : Adapter le tourisme d'hiver et la gestion des risques naturels*, sous la direction de S. Agrawala, Paris, Editions OCDE, 136 p.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), 2007, *Changements climatiques dans les Alpes Européennes : Adapter le tourisme d'hiver et la gestion des risques naturels. Synthèses par pays : France*, [en ligne] URL : <http://www.oecd.org/dataoecd/17/39/37833648.pdf>. Consulté le 5 juillet 2012.

- Paccard, P., 2010, *Gestion durable de l'eau en montagne : le cas de la production de neige en stations de sports d'hiver*, Thèse de doctorat en géographie, Chambéry, Université de Savoie, 508 p.
- Paccard P., 2009, Réchauffement climatique et ressource neige en domaines skiables, Neige et glace de montagne : reconstitution, dynamique, pratiques, collection EDYTEM – Cahiers de Géographie, numéro 8, pp. 181-192.
- Paccard, P. et A. Marnezy, 2007, *Utilisation et gestion des ressources en eau, Rapport de synthèse programme Interreg IIIA France-Suisse : Le Haut-Rhône et son bassin versant montagneux : pour une gestion intégrée de territoires transfrontaliers*, thème 3, 152 p.
- Probst, A., 2006, *Compétitivité des domaines skiables en Valais, Suisse et pays environnants*, rapport d'étude, haute école valaisanne, 99 p.
- Reynard, E., M. Bonriposi, O. Graefe, K. Herweg, C. Homewood, M. Huss, M. Kauzlaric, H. Liniger, E. Rey, S. Rist, B. Schädler, F. Schneider et R. Weingartner, 2013, *MontanAqua. Anticiper le stress hydrique dans les Alpes ? Scénarios de gestion de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Valais) : résultats finaux et recommandation*, rapport final, Lausanne, Universités de Berne, 16 p.
- Sauvé M., 2004, Biotech de belles pistes de ski bien blanches tout l'hiver : les montagnes payent peut-être un prix élevé pour réaliser le rêve des skieurs, Québec-science, décembre 2003-janvier 2004, 5p.
- Scott, D. et G. McBoyle, 2007, Climate change adaptation in the ski industry, *Mitigation and Adaptation Strategies to global Environmental Change*, volume 12, n° 8, pp. 1411-1431.
- Scott, D., G. McBoyle et A. Minogue, 2007, The implication of climate change for the Québec ski industry, *Global Environmental Change*, volume. 17, n° 2, pp. 181-190.
- Singh, B., C. Bryant, P. André et J.-P. Thouez, 2006, *Impact et adaptation aux changements climatiques pour les activités de ski et de golf et l'industrie touristique : le cas du Québec*, rapport final, projet Ouranos, pp. 175-201.
- Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Chablais, 2009, *Contrat de bassin versant des Dranses et de l'est Lémanique*, Dossier sommaire de candidature, 129 p.
- Taxe, D., 2006, *Villages de montagne et réchauffement climatique : quel avenir touristique*, Châtelard, Ecole suisse de tourisme, 78 p.
- Télé Champéry-Crosets Portes du Soleil SA, 2006, *Planification globale 2005-2020-Analyse des besoins en eau pour l'alimentation des installations d'enneigement*, Martigny, Bureau d'ingénieurs et géologues Tissières SA, rapport n°5.091-5, 17 p.
- Thomas, M, U. Strasser, F. Hanzer, J. Stötter, R. Anna Irma Wilcke et A. Gobiet, 2015, Scenarios of Future Snow Conditions in Styria (Austrian Alps), *Journal of Hydrometeorology*, volume 16, n° 1, pp. 261-277.

Notes

- 1 La technologie évolue régulièrement afin de limiter la consommation d'eau et d'électricité. À ce jour il existe 2 grandes technologies de canons, les bifluïdes (qui nécessitent un apport d'eau et d'air sous pression) et les monofluïdes (qui nécessitent uniquement un apport d'eau sous pression, l'air étant apporté par un gros ventilateur placé sur le canon).
- 2 La neige artificielle a été définie par l'Association Nationale des Producteurs de Neige de Culture comme étant de la neige fabriquée et produite à partir de la phase liquide de gouttelettes d'eau pulvérisées dans de l'air froid (entraînant congélation).
- 3 L'ANMSM a créé en 2006 une commission « aménagement du territoire et développement durable ». Ces travaux ont abouti en 2007 à l'élaboration de la charte. Elle s'insère dans une démarche globale à moyen et long terme afin d'intégrer dans les politiques locales les principes du développement durable. Morzine-Avoriaz et Les Gets ont signé cette charte en 2007 parmi 48 autres stations de France.
- 4 « Lac 1730 » est le nom donné à la retenue collinaire construite par modification du lac naturel situé à 1730 m d'altitude.
- 5 D'après les relevés de la station MétéoFrance aux Gets située à 1400 m d'altitude.
- 6 Estimation réalisée à partir des données suivantes : 4000 m³ d'eau sont nécessaires pour enneiger 1hectare (Blau et al., 2006).
- 7 Le maintien d'un débit résiduel minimal est imposé d'après la loi fédérale suisse du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (RS 814.20). Ce débit résiduel est estimé à partir du Q₃₄₇. Le Q₃₄₇ est le débit d'un cours d'eau atteint ou dépassé pendant 347 jours par année, dont la moyenne est calculée sur une

période de 10 ans, et qui n'est pas influencé sensiblement par des retenues, des prélèvements ou des apports d'eau.

8 Les résultats de cette projection ont été obtenus en confrontant les altitudes de fiabilité définies par l'OCDE avec les plages d'altitudes des domaines skiables alpins.

Pour citer cet article

Référence électronique

Élodie Magnier, « Les impacts hydrologiques de la production de neige dans un domaine de moyenne montagne », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 16 Numéro 1 | mai 2016, mis en ligne le 09 mai 2016, consulté le 06 juin 2016. URL : <http://vertigo.revues.org/17183> ; DOI : 10.4000/vertigo.17183

À propos de l'auteur

Élodie Magnier

Hydrologue géographe, avenue du Petit-Lancy, 37, 1213 Petit-Lancy, Suisse, courriel : elodie.magnier@wanadoo.fr

Droits d'auteur



Les contenus de *VertigO* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Résumés

L'enneigement artificiel des stations de ski est une pratique relativement récente en Europe et en Amérique du Nord. C'est une activité nécessaire au maintien et au développement des activités économiques d'une station. Or, la production de neige nécessite de grands volumes d'eau pompés dans les rivières, les nappes phréatiques, les réserves d'eau potable, les barrages hydroélectriques et les retenues collinaires. On estime qu'il faut 4000 m³ d'eau pour couvrir un hectare. En outre, la production de neige n'est pas le seul usage de l'eau en station de sports d'hiver. Le problème soulevé est celui de la constante disponibilité de l'eau pour ces diverses activités en particulier durant la saison hivernale. Cette étude a pour but de mesurer l'impact des prélèvements pour la production de neige à l'échelle locale du domaine franco-suisse des Portes du Soleil (trois stations de ski : Avoriaz, Champéry et Les Gets) sur la variation des ressources disponibles, et d'identifier deux situations à risque pour les stations : un risque de conflits d'usage et un risque de pénurie. Dans les stations, la mobilisation d'un grand volume d'eau sur une courte période rend la gestion difficile et peut entraîner des situations à risque. L'intensité de la production de neige peut diminuer les possibilités pour les autres usages. Cette étude montre également que le partage de la ressource provoque une situation à risque, particulièrement lorsqu'un lac ou une retenue collinaire unique doit servir à la fois à la production de neige et à l'alimentation en eau potable. Des situations de pénurie d'eau peuvent exister ponctuellement et la situation doit être surveillée.

Artificial snowmaking is a relatively recent practice in Europe and in North America. This activity is necessary for the ski resorts to maintain and develop economic activities. However snowmaking requires large quantities of water, which are pumped from rivers, groundwater, drinking water reserves, artificial hydropower reservoirs and hill water reservoirs. It is estimated that 4000 m³ of water can cover one hectare. Moreover, snowmaking does not

represent the only use of water in winter sport resorts (drinking water, activities...). The problem raised here is availability of water for these various activities during the winter season. The aim of this study is to measure the impact of water extraction for artificial snowmaking on the variations in the available resource at the local scale in a three French and Swiss ski resorts (Avoriaz, Champéry, Les Gets), and to identify two risk situations for the resorts: risks of resources used conflicts and risks of water shortages. In these resorts, the mobilization of a large volume of water over a very short period makes water management an issue that can create risk situations. Intensity of use for the snow production can have impacts on other uses. This study showed also that the sharing of the resource it's a risky situation, particularly when a unique lake or hillside reservoir permits the water supply for production of snow and drinking water. Situations of water shortage can exist punctually and the situation needs to be monitored.

Entrées d'index

Mots-clés : neige artificielle, ressource en eau, station de sports d'hiver, conflits d'usage, pénuries d'eau, conciliation des usages

Keywords : artificial snow, water resource, ski resorts, use conflict, water shortages, conciliation of water uses