



La méthode des analogues : reproduire le caractère saisonnier de la distribution d'eau potable dans les stations touristiques de montagne

Martin Caliano



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/rga/6704>
DOI : [10.4000/rga.6704](https://doi.org/10.4000/rga.6704)
ISSN : 1760-7426

Éditeur :

Association pour la diffusion de la recherche alpine, UGA Éditions/Université Grenoble Alpes

Référence électronique

Martin Caliano, « La méthode des analogues : reproduire le caractère saisonnier de la distribution d'eau potable dans les stations touristiques de montagne », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 108-1 | 2020, mis en ligne le 03 avril 2020, consulté le 27 mai 2020. URL : <http://journals.openedition.org/rga/6704> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rga.6704>

Ce document a été généré automatiquement le 27 mai 2020.



La Revue de Géographie Alpine est mise à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

La méthode des analogues : reproduire le caractère saisonnier de la distribution d'eau potable dans les stations touristiques de montagne

Martin Calianno

Remerciements

Je voudrais remercier Emmanuel Reynard pour ses commentaires et recommandations. Mes remerciements vont également à l'équipe de la Régie des eaux de Megève (Emmanuel Gannaz, Sylvie Debiève, Carole Talotti, Julien Branchereau et Julien Beline) pour leur précieuse collaboration et leur enthousiasme lors des visites sur le terrain. Enfin, je remercie Marianne Milano, Georges-Marie Saulnier, André Musy et Aude Soureillat pour leurs contributions à cette recherche.

Introduction

- 1 La gestion de l'eau est un enjeu crucial pour les stations touristiques afin d'assurer leur attrait en tant que ressource touristique, pour les offres d'hydrothérapie, de paysage, de sports nautiques et de neige (Reynard, 2001), ainsi que pour l'approvisionnement en eau potable des populations temporaires et résidentielles (Gössling, 2002).
- 2 Les pressions sur les ressources en eau dans les zones touristiques sont généralement concentrées pendant les périodes de faibles débits, à savoir l'hiver dans les Alpes (Marnezy, 2008). Le décalage temporel entre l'offre et la demande en eau dans les stations touristiques peut être à l'origine de pénuries d'eau, qui pourraient être plus fréquentes avec les niveaux prévus de croissance urbaine et démographique (Buytaert et de Bièvre, 2012) et avec l'impact des changements climatiques sur la disponibilité des

ressources en eau (Milano *et al.*, 2013) et sur les régimes hydrologiques (Saulnier *et al.*, 2011 ; Beniston et Stoffel, 2013).

- 3 Pour évaluer les effets des changements anthropiques et climatiques sur le bilan hydrique, des modèles associant l'estimation des ressources et des demandes en eau aident à identifier les conditions conduisant à la pénurie d'eau dans des régions telles que les Alpes (Vanham *et al.*, 2009 ; Reynard *et al.*, 2014 ; Milano *et al.*, 2015). Le premier problème rencontré par ces approches est la faible disponibilité des données d'usage de l'eau à l'échelle locale et avec une résolution temporelle suffisante. La saisonnalité interannuelle des usages est rarement connue, ce qui appelle le développement d'approches axées sur la demande (Grouillet *et al.*, 2015), capables d'alimenter ces modèles avec des comportements d'utilisation de l'eau réalistes. Le besoin de données pour évaluer la variabilité de la demande en eau potable est encore plus grand en station touristique, pour aider les gestionnaires à garantir la distribution d'eau pendant les hautes saisons touristiques (Leroy, 2015).

Dans ce travail, la station touristique de montagne est choisie comme étude de cas pour sa saisonnalité particulière de la distribution d'eau potable. Ces stations ont une forte proportion de logements secondaires et d'hébergements touristiques, ce qui entraîne de fortes variations saisonnières : la demande peut doubler en quelques semaines, voire quelques jours (Nahrath et Bréthaut, 2016). En outre, la demande dépend des types d'utilisateurs et de leurs pratiques, qui doivent être identifiées pour des territoires spécifiques (Calianno *et al.*, 2018).

Les travaux antérieurs ont développé des méthodes pour pallier ce manque de données d'usage de l'eau. Marnezy (2008) a décrit conceptuellement la saisonnalité de la demande en station de montagne. Cette saisonnalité peut être évaluée via des données indirectes (proxys) telles que le tonnage de déchets municipaux, permettant d'estimer la population touristique (Reynard, 2001). Charnay (2010) a collecté des données municipales mensuelles pour produire un bilan annuel des prélèvements d'eau dans le bassin versant du Giffre (Haute-Savoie). D'autres études ont simulé la demande en eau dans les stations de montagne en combinant des données hydrologiques et climatiques à des données démographiques et économiques (Soboll et Schmude, 2011 ; Leroy, 2015). Klug *et al.* (2012) ont différencié les taux de demande en eau des résidents et des touristes à l'échelle annuelle pour la région alpine. Dans la plupart des recherches, la demande unitaire (en litres/jour/personne) ne varie pas dans le temps ; la variabilité de la demande n'est régie que par l'évolution de la population (Viviroli *et al.*, 2007 ; Buytaert et de Bièvre, 2012). Vanham *et al.* (2011) distinguent des demandes unitaires suivant l'usage (domestique, municipale, industrielle et agricole) mais également fixes tout au long de l'année. Ces exemples illustrent un deuxième problème : le manque de mesures directes des usages de l'eau et l'usage généralisé du proxy. Il est courant que les petites municipalités de montagne ne disposent pas des moyens techniques pour collecter des données sur la distribution d'eau potable. En Suisse, certaines n'ont d'ailleurs pas de compteurs d'eau et appliquent un tarif forfaitaire (Reynard, 2001). À l'échelle de la distribution municipale, des données existent et sont généralement d'une résolution temporelle suffisante (journalière, horaire). Néanmoins, l'échelle spatiale concernée est grossière car elle englobe la commune entière. Les données à l'échelle de l'utilisateur (compteur d'eau) sont disponibles via les facturations, mais ne sont la plupart du temps collectées qu'annuellement (Bonriposi, 2013).

- 4 L'objectif principal de ce travail est de palier à ces manques de données d'usage en fournissant une évaluation détaillée de la saisonnalité des utilisations de l'eau potable

sur un territoire touristique de montagne (la station de Megève), à l'échelle des utilisateurs et avec une résolution temporelle satisfaisante. Le problème du manque de mesures directes est étudié par un monitoring des compteurs d'eau (les *apports* en eau potable) sur un échantillon de bâtiments et suivi quotidiennement. Le problème de la disponibilité des données est résolu en proposant la *méthode des analogues*, une stratégie qui estime la distribution d'eau potable municipale via les données d'apports provenant du monitoring, et utilise la notion de régimes d'apports pour mettre en avant la saisonnalité des usages de l'eau (Calianno *et al.*, 2018). La particularité de cette méthode est qu'elle distingue les paramètres du bâti pouvant influencer l'usage de l'eau : affectation (par ex. logement, commerce, bureau, hôtel), habitat (maison, appartements) et régime de résidence (permanente, temporaire). Pour favoriser la reproductibilité, le raisonnement se base sur des valeurs d'apport *par unité territoriale* (par unité de logement, lit, place de travail) et non *par personne*. La méthode des analogues est destinée aux décideurs et aux urbanistes, car elle permet de prédire la saisonnalité de la distribution en eau dans les territoires où peu de données sont disponibles.

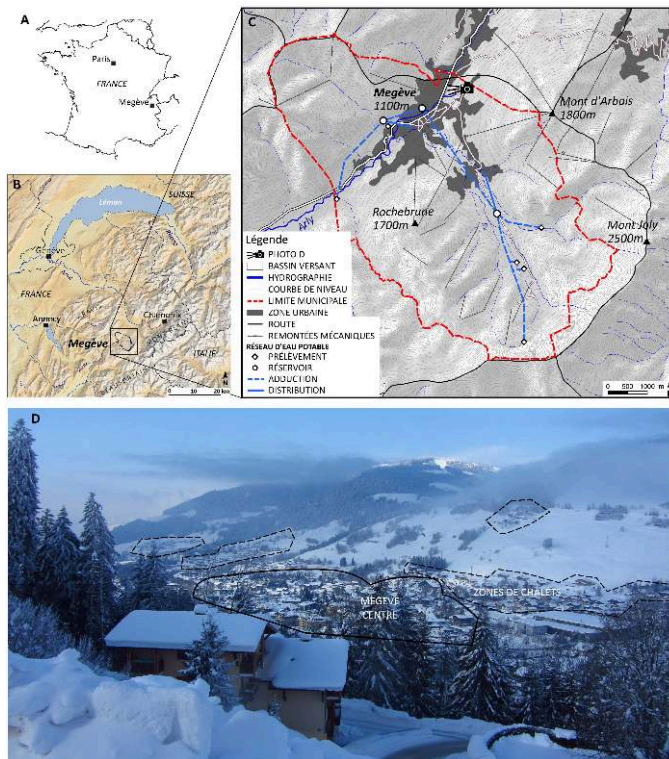
- 5 La première partie de cet article présente le cas d'étude (Megève). La deuxième décrit la méthodologie développée (monitoring, typologie des régimes d'apports et méthode des analogues). La troisième partie présente les résultats et la dernière partie regroupe la discussion et la conclusion.

Cas d'étude : la station touristique alpine de Megève

Contexte géographique

- 6 La commune de Megève est située dans le sud-est de la France, entre les Aravis et le Beaufortin, à une altitude allant de 1 027 à 2 485 m (Fig. 1). La station touristique est active en hiver (445 km de pistes de ski) et en été (randonnée, manifestations sportives et culturelles). Compte tenu de la proximité de l'agglomération genevoise, la station accueille également une part importante de résidents temporaires pour les séjours de week-end.

Figure 1. Localisation de la station de Megève



- 7 Megève comprend une forte proportion de logements secondaires. Les résidents temporaires viennent généralement en été et pendant les périodes de Noël et du Nouvel An, ainsi que pour le ski en hiver. Megève est internationalement reconnue comme une station de luxe, avec de nombreux hôtels haut de gamme et un important étalement urbain de chalets de résidence secondaire. En 2014, la population permanente était de 3 292 résidents. La même année, la capacité d'hébergement (résidents secondaires et lits touristiques) était estimée à 48 000 (Branchereau, 2015). Sur un total de 9 372 logements, 21,6 % seulement étaient des résidences principales, 76,6 % des résidences secondaires et 1,8 % des logements vacants (Insee, 2016). Il y a 18 % de maisons pour 82 % d'appartements.

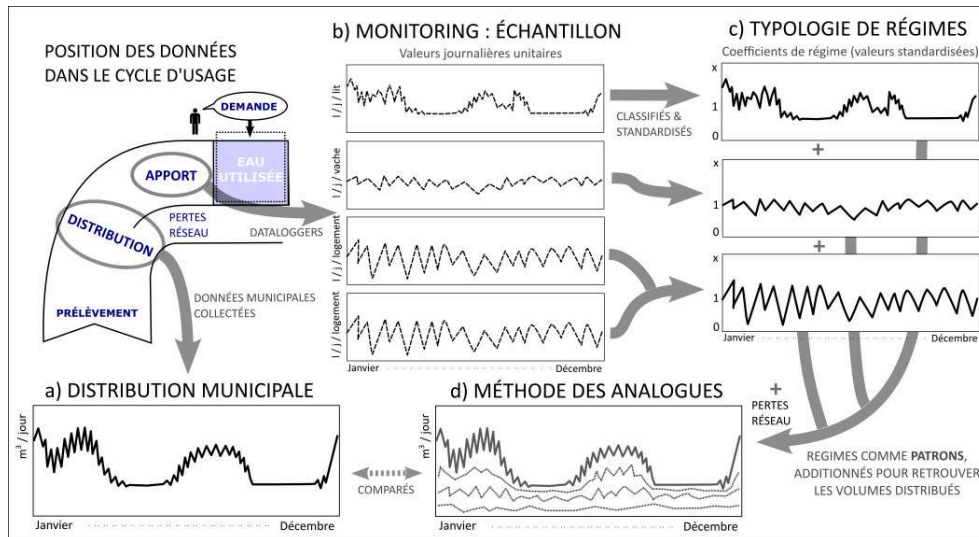
Usages de l'eau

- 8 Le réseau de distribution d'eau potable de Megève est géré par la municipalité. Son fonctionnement est décrit en détail par Leroy (2015). La majeure partie des usages est liée à l'eau potable, utilisée à des fins domestiques, de loisirs (centres sportifs, piscines, etc.), d'élevage et municipales. Les principales ressources en eau sont prélevées au sein de la commune (Fig. 1c).
- 9 La distribution et la hauteur d'eau dans les réservoirs font l'objet d'un suivi en temps réel. Chaque bâtiment connecté au réseau possède son propre compteur, qui est relevé une fois par an pour la facturation volumétrique (Branchereau, 2015). Les usages hors du réseau d'eau potable comprennent l'eau pour le bétail en alpage (prélevée dans les torrents) et la production de neige artificielle (via des retenues collinaires).

Méthodologie

- 10 Cette section présente la méthode utilisée pour l'analyse des données de distribution, le monitoring des compteurs d'eau et la méthode des analogues (Fig. 2). Les données sont analysées selon le concept de cycle d'usage de l'eau (Calianno *et al.*, 2017), qui distingue les différentes étapes de flux d'eau dans un système d'usage. L'analyse est effectuée au stade de l'*apport* (au niveau du compteur d'eau : un compteur par bâtiment) et au stade de la *distribution* (quantité totale s'écoulant dans le réseau).

Figure 2. Synthèse schématique de la méthodologie utilisée



Données de distribution

- 11 Les séries journalières de distribution d'eau potable ont été collectées auprès de la commune, de février 2015 à juin 2017 (figure 2a).

Monitoring des apports

- 12 Des séries temporelles horaires d'apport en eau potable ont été collectées sur un échantillon de 10 compteurs d'eau à l'aide de dataloggers, de 2015 à 2016 (Fig. 2b). Le choix des usagers pour l'échantillon a été effectué en collaboration avec les techniciens communaux pour garantir une variété de profils d'utilisateurs (table 1). Nous recommandons d'équiper au moins 2 compteurs pour chaque catégorie de bâtiments ayant des dynamiques d'usage supposées différentes, selon l'affectation (bureaux, logements, fermes, magasins et hôtels), l'habitat (maison, appartement) et le régime de résidence (permanent, temporaire).

Tableau 1. Échantillon de bâtiments choisis pour le monitoring

Echantillon	Régime de résidence	Caractéristiques
Bureaux	Permanent	33 places de travail
Maison 1 (chalet)	Permanent	jardin, piscine extérieure
Maison 2	Permanent	jardin
Maison 3 (chalet)	Temporaire	jardin, piscine intérieure
Maison 4 (chalet)	Temporaire	garden
Hôtel 1	Temporaire	4 étoiles, 280 lits, spa, 2 piscines, restaurant
Hôtel 2	Temporaire	5 étoiles, 48 lits, spa, piscine intérieure, restaurant
Appartements	Permanent	5 logements
Appartements & commerces	Temporaire + permanent	39 logements (commerces inclus)
Ferme (logement)	Temporaire	jardin
Ferme (grange)	Temporaire	31 vaches, laiterie

- 13 L'exploitation agricole a été contrôlée manuellement tous les mois durant un an (2015). Les séries horaires d'apports ont été agrégées au pas de temps journalier afin d'obtenir un signal lisible sur l'année entière. Pour généraliser ces données, les valeurs d'apport brut (l/jour) ont été transformées en valeurs de distribution unitaire (DU) en divisant les valeurs brutes par le nombre d'unités de chaque affectation : l/jour/logement (immeuble), l/jour/lit (hôtel), l/jour/place de travail (bureaux) et l/jour/vache (étable). Si aucune unité n'est présente, l'apport est supposé nul.

Régimes d'apports et typologie

- 14 Les séries temporelles d'apports en eau potable ont été normalisées (Fig. 2c) pour produire des régimes qui se concentrent sur la dynamique d'usage (Calianno *et al.*, 2018). Pour des séries journalières, le coefficient de régime (CR_i) est la valeur normalisée obtenue en divisant la moyenne journalière des apports par la moyenne interannuelle (Eq. 1).

Équation 1

$$CR_i = \frac{APPORT_i}{APPORT (interannuel)}$$

- 15 Avec :
- $APPORT_i$ = valeur de l'apport au jour considéré, moyenné sur toutes les années de la période mesurée,
 - $APPORT (interannuel)$ = apport journalier moyen sur toute la période mesurée,
 - i = jour considéré.
- 16 Des données annuelles complètes étaient disponibles pour 2015 et 2016. Par conséquent, les valeurs journalières ont été moyennées sur ces deux années. Une valeur de de zéro signifie qu'il n'y a pas d'apport d'eau, alors qu'une valeur de 1 signifie que l'apport est égal à la moyenne interannuelle. Les régimes ont été sélectionnés et classés manuellement pour obtenir une typologie dont la saisonnalité est caractéristique du type d'habitat, de l'utilisation de l'eau et du régime de résidence (temporaire ou permanent).

Méthode des analogues

- 17 Pour reconstruire la dynamique de distribution municipale lorsque les données sur les utilisations de l'eau ne sont pas disponibles pour un territoire ou pour la planification urbaine, nous proposons la méthode des analogues (Fig. 2d). Cette méthode se base sur

la typologie des régimes d'apport pour recréer le signal de distribution municipale, selon les étapes suivantes :

1. Nettoyer les séries temporelles de la typologie d'apports (pics aberrants, outliers) et moyenner les régimes de dynamique similaire.
2. Extraire de cette typologie les régimes qui représentent le mieux la diversité des dynamiques d'utilisation de l'eau sur le territoire choisi.
3. Multiplier chaque régime par sa valeur unitaire moyenne interannuelle pour transformer les régimes de livraison sans dimension en valeurs volumétriques (en l/jour par logement, lit, lieu de travail, vache, etc.).
4. Multiplier chaque *patron* ainsi créé par le nombre d'unités présentes sur le territoire : nombre de logements (temporaires ou permanents), de lits, de lieux de travail ou de vaches (voir table 2 pour Megève).
5. Additionner les régimes volumétriques obtenus (en l/jour) pour recréer un signal synthétique de distribution d'eau potable. Une proportion estimée des pertes de réseau est ajoutée. La méthode des analogues est formalisée dans l'équation suivante (équation 2).

Équation 2

$$[1 + p/100] \times \sum_{patron=1}^n [CR \times AU(interannuel) \times u]$$

18 Avec :

- CR = coefficient de régime (apport normalisé),
- AU (*interannuel*) (l/jour/unité) = apport moyen unitaire sur la période échantillonnée
- = nombre d'unités présentes sur le territoire,
- (%) = pourcentage de pertes dans le réseau municipal (0 à 100 %).

Tableau 2. Nombre d'unités d'usage de l'eau à Megève

Type	Unité	Nombre
Maisons - habitat permanent	Logements	305
Maisons (chalets) - habitat temporaire	Logements	1388
Hôtels	Lits	11036
Appartements – habitat permanent	Logements	1367
Appartements – habitat temporaire	Logements	6226
Bureaux	Places de travail	150
Granges	Vaches	870

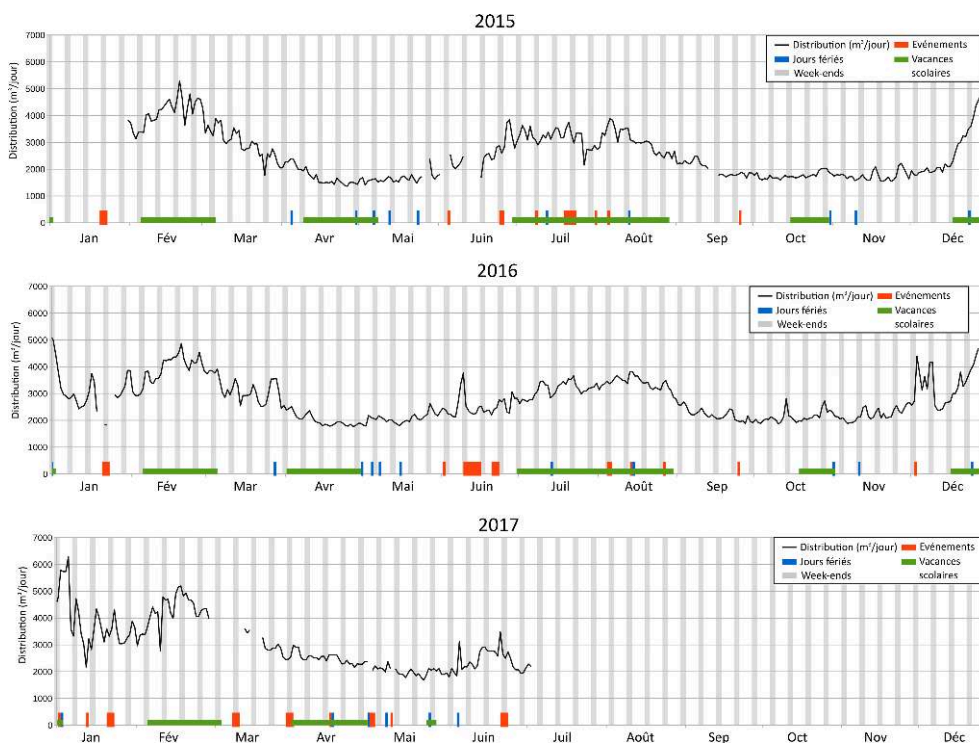
- 19 À Megève, la proportion de résidences permanentes et temporaires n'est pas connue pour chaque type de bâtiment (maison, appartements). La proportion municipale est donc appliquée par défaut pour tous les logements (22 % sont permanents, 78 % sont temporaires ; Insee (2016)). Le nombre de places de travail de la municipalité est estimé à 150. Le taux de perte du réseau de distribution est fixé à 20 % (Branchereau, 2015).

Résultats

Dynamique de la distribution

- 20 La série temporelle de distribution d'eau potable municipale de février 2015 à juin 2017 (figure 3) montre une variabilité marquée, avec des valeurs allant de 1 500 m³/j en mai 2015 à plus de 6 000 m³/j en janvier 2017.

Figure 3. Distribution municipale d'eau potable à Megève

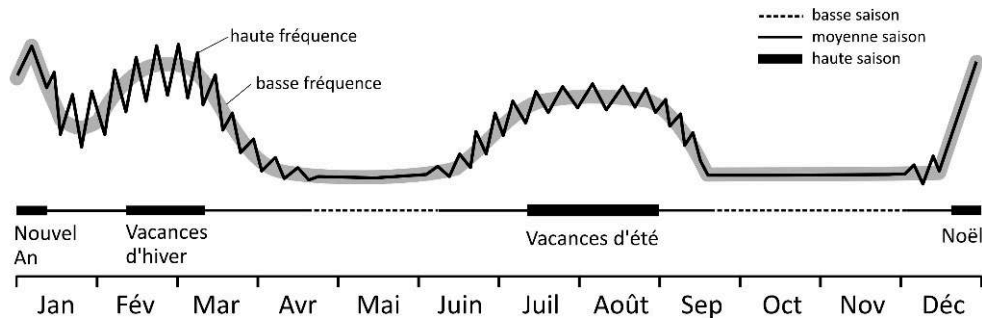


Les parties blanches indiquent les périodes sans donnée.

Source des données : Régie des Eaux de Megève.

- 21 Deux types de dynamiques dans la distribution sont observés et sont étroitement liés à la variation de la population temporaire (touristes et résidents temporaires), présente à basse fréquence (sur une échelle mensuelle) et à haute fréquence (à une échelle hebdomadaire). Un tel régime à deux niveaux de variabilité est schématisé par la figure 4.

Figure 4. Représentation schématique de la dynamique de distribution d'eau potable municipale à Megève

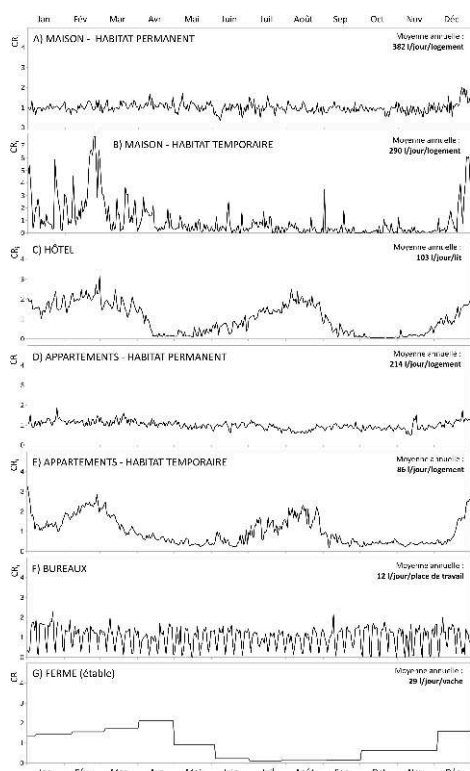


- 22 Les années analysées (2015, 2016 et le premier semestre 2017) présentent trois vagues de basse fréquence avec des valeurs élevées de distribution, correspondant aux hautes saisons touristiques :
- fin décembre à début janvier : Noël et Nouvel An (saison de ski),
 - février : vacances scolaires d'hiver (saison de ski),
 - juillet-août : vacances scolaires (saison estivale).
- 23 Les deux pics de la saison de ski présentent les valeurs de distribution les plus élevées (>5 000 m³/j), tandis que les pics estivaux sont plus bas (3 000 - 4 000 m³/j). Les valeurs de distribution les plus faibles vont d'avril à juin et de septembre à début décembre, correspondant aux basses saisons de printemps et d'automne. Parallèlement, des pics de haute fréquence en dents de scie montrent une distribution accrue les week-ends, principalement en haute saison (hiver, été) et en moyenne saison (janvier, mars, décembre). Ces pics de haute fréquence, indiquant les visiteurs « de week-end », sont plus forts pendant la haute saison d'hiver que pendant la haute saison d'été.

Typologie des régimes d'apports

- 24 Les séries mesurées sur l'échantillon de compteurs d'eau ont été normalisées et une typologie de régimes d'apports a été sélectionnée selon la méthode décrite au point 3.3 (voir figure 5). Les régimes des maisons 1 et 2 ont été moyennés pour former la classe « maisons avec résidents permanents ». Les séries des hôtels 1 et 2 ont également été moyennées pour créer un régime « hôtels ». La série de la 3^e maison présentait des valeurs aberrantes et a été exclue. Pour chaque série, les pics anormaux dus aux fuites ont été éliminés.

Figure 5. Typologie des régimes d'apports d'eau potable



Maisons (résidents permanents)

- 25 Le régime des maisons unifamiliales (Fig. 5A) montre une variabilité journalière et hebdomadaire plus importante que les immeubles d'appartements. La moyenne annuelle des apports unitaires (382 l/j/logement) est également plus élevée que pour les appartements, en raison de la présence de jardins et parce que certains usages ne peuvent être mis en commun (ex : laverie, chauffage central). On observe des périodes de non-occupation ainsi que des pics à Noël. Cependant, à l'échelle mensuelle, il n'y a pas de saisonnalité marquée et la variabilité quotidienne reste constante autour de la moyenne annuelle. Cela est dû à la résidence permanente : la demande du ménage est maintenue tout au long de l'année, sauf durant les vacances.

Maisons (résidents temporaires)

- 26 Ce régime (Fig. 5B) est typique d'un chalet unifamilial en résidence secondaire, avec une préférence pour l'occupation hivernale. Il montre une forte variabilité hebdomadaire et saisonnière. Les coefficients de régime sont élevés ($CR_i > 6$) pendant les périodes d'occupation, principalement à Noël et au Nouvel An, ainsi qu'à la fin février. Des pics hebdomadaires sont également observés en mi-saison hivernale (janvier et mars-avril). Le reste de l'année, les valeurs sont proches de zéro, bien que de petits pics ($CR_i \approx 2$) soient constamment observés. Ils sont probablement dus aux nettoyages hors occupation. La moyenne annuelle est de 290 l/j/logement, ce qui est assez élevé car ce type de chalet est inoccupé la plupart du temps.

Hôtels

- 27 Le régime d'un hôtel saisonnier (Fig. 5C) montre une saisonnalité élevée et une nette variabilité hebdomadaire. Les hôtels présentent un CRI nul en basse saison (de fin avril à début juin et d'octobre à novembre), lorsqu'ils sont fermés. En haute saison, des coefficients d'environ 2 sont observés (de juillet à début septembre et de décembre à début avril). La variabilité hebdomadaire est principalement observée en mi-saison (fin janvier et de mars à début d'avril), lorsque les clients viennent durant le week-end. La moyenne annuelle est de 103 l/j/lit. Cette valeur doit être prise avec prudence, car elle dépend du taux de remplissage de l'hôtel.

Immeubles d'appartements (résidents permanents)

- 28 Le régime d'un immeuble d'appartements avec résidents permanents (Fig. 5D) présente une variabilité saisonnière très faible en raison du régime de résidence permanente ; les coefficients restent proches de la moyenne annuelle (214 l/j/logement) tout au long de l'année ($0,6 < CRI < 1,4$). Par ailleurs, la variabilité quotidienne et hebdomadaire est faible en raison de la demande constante des résidents permanents. Par rapport aux habitats individuels, la variabilité journalière d'un immeuble d'appartements est plus faible car le compteur d'eau fait la moyenne des apports de l'ensemble des ménages et « lisse » le signal.

Immeubles d'appartements (résidents temporaires)

- 29 Ce régime (Fig. 5E) représente les bâtiments mixtes typiques des stations touristiques, composés de logements permanents et temporaires, ainsi que de commerces, la plupart des logements étant temporaires. Bien évidemment, ce régime présente une forte saisonnalité par rapport à un immeuble d'habitat permanent. Deux pics importants sont visibles en hiver : de février à mars ($CRI > 2,5$) et à fin décembre (Noël - Nouvel An). Il y a aussi un pic de juillet à août ($CRI > 2$). Deux périodes de basse saison montrent de faibles apports ($CRI \approx 0,5$) d'avril à juin et de septembre à début décembre. Comme pour les appartements en résidence permanente, la variabilité quotidienne est lissée par le nombre de ménages présents dans l'immeuble. La plupart des logements étant vides quasiment toute l'année, la moyenne annuelle est faible (86 l/j/logement).

Bureaux

- 30 Le régime d'un immeuble de bureaux (Fig. 5F) montre un signal typique en « dents de scie », de fréquence hebdomadaire ($CRI = 0$ le week-end et $1 < CRI < 1,5$ en semaine). Cependant, à l'échelle saisonnière, les apports restent stables autour de la moyenne annuelle. Ce régime est lié au cycle de vie des bâtiments administratifs : le taux d'occupation est constant en semaine mais les locaux sont inoccupés la nuit et les week-ends. Pour cette raison, et aussi parce que les besoins en eau des bureaux sont limités (pas de douche, un repas par jour, pas de lessive), la moyenne annuelle est très faible (12 l/j/espace de travail).

Ferme (étable)

- 31 L'eau potable de Megève est utilisée pour l'abreuvement des vaches laitières, une fois descendues d'alpage et mises à l'abri pour l'hiver. Cette alternance saisonnière est observée dans le régime (fig. 5G) car le CRi est proche de zéro de juin à octobre et augmente à partir de novembre pour atteindre un maximum de 2,1 en avril. Ce régime est intéressant car il indique la période d'utilisation de l'eau pour l'abreuvement du bétail. On observe aussi que la demande augmente au début du printemps, lorsque les températures montent et que les vaches ont besoin de plus d'eau.

Méthode des analogues

- 32 Un signal synthétique de la distribution municipale d'eau potable de Megève a été créé via la méthode des analogues (Fig. 6). Pour faciliter une interprétation graphique, les volumes cumulés correspondant à chaque régime sont classés du moins saisonnier au plus saisonnier.

Figure 6. Estimation de la dynamique de distribution d'eau potable à l'aide de la méthode des analogues, basée sur la typologie des apports

- 33 Cette reconstruction reproduit efficacement la dynamique de distribution. Les signaux périodiques de basse fréquence correspondant à la variabilité saisonnière et les pics de haute fréquence correspondant aux variations hebdomadaires sont correctement reproduits. Les pics à l'échelle du week-end sont également reproduits et, comme le signal de distribution mesuré, ils sont plus marqués en hiver qu'en été. La vague saisonnière estivale est correctement reconstruite comme étant inférieure à la vague hivernale (vacances de Noël, Nouvel An et février comprises). Cependant, concernant les volumes, la méthode des analogues surestime la distribution durant les hautes saisons et la sous-estime durant les basses saisons. Ces différences d'amplitude proviennent essentiellement du mode d'échantillonnage des régimes d'apport. À Megève, la méthode a été utilisée sur un petit échantillon (10 compteurs d'eau). Bien que la sélection ait été dirigée et assistée par les services municipaux, la représentativité des régimes mesurés provoque certainement des déviations d'amplitudes saisonnières. De fait, la méthode des analogues est une technique utilisant des moyennes, avec la simplicité mais aussi l'inconvénient de se baser sur un échantillonnage. La sous-estimation des valeurs minimales peut être en partie corrigée en augmentant la proportion de pertes sur le réseau. Enfin, la demande municipale (fontaines publiques, travaux de voirie, entretien) n'est pas prise en compte et pourrait être ajoutée dans le signal de distribution.

Discussion et Conclusion

- 34 Cet article fournit une évaluation détaillée de la saisonnalité des utilisations de l'eau potable dans la station touristique alpine de Megève. L'objectif principal est de palier au manque de données d'usage.
- 35 Le premier problème identifié étant le manque de mesures directes des usages, cette étude propose, en plus de la récupération des données de distribution d'eau potable municipale, de mettre en place un monitoring des *apports* au niveau du compteur d'eau

sur un échantillon de bâtiments. L'analyse de la distribution a mis en évidence l'impact majeur de la présence d'habitants temporaires pendant les hautes saisons touristiques. Un modèle schématique de la saisonnalité de la distribution d'eau potable a été construit (Fig. 4). Il complète le modèle de Marnezy (2008), car il présente deux types de variabilité temporelle : à basse fréquence (variabilité saisonnière) et à haute fréquence (variabilité hebdomadaire). Ensuite, les variations intra-annuelles des apports en eau ont été décrites pour l'échantillon de compteurs d'eau en définissant une typologie de patrons saisonniers, selon la notion de régime d'usage (Calianno *et al.*, 2018). La mesure journalière des apports à l'échelle de l'utilisateur complète la modélisation de la gestion de la distribution de l'eau à Megève effectuée par Leroy (2015). La présente analyse détaillée a produit des séries temporelles continues sur deux ans et demi. L'avantage de cette approche est que ces données proviennent d'observations directes et ciblées. C'est une avancée par rapport aux recherches précédentes sur les usages de l'eau en station de montagne (par ex. Bonriposi, 2013), qui sont basées sur des proxys ou des données déjà existantes, mais de faible résolution (temporelle et/ou spatiale). Cette base de données ajoute la précision temporelle nécessaire pour fournir des informations sur les différents types d'utilisation de l'eau sur un territoire touristique, sur le rôle des visiteurs temporaires dans la distribution de l'eau potable, alors que les études précédentes se limitaient à des données de distribution ou à des séries mensuelles (Charnay, 2010). Divers types de bâti et d'utilisation de l'eau ont été décrits : hôtels, maisons unifamiliales, immeubles d'appartements, bureaux et fermes. Chacun montre un signal saisonnier distinct qui démontre l'influence i) du mode de résidence (temporaire ou permanent) sur la variabilité saisonnière de basse fréquence, ii) du type d'habitat (logement groupé ou unifamilial) sur l'amplitude du signal, et iii) des visiteurs durant le week-end sur les pics de haute fréquence pour les résidences temporaires et les hôtels. Une typologie des régimes d'apport a été construite pour mettre en évidence les signatures temporelles caractéristiques (Fig. 5). Les saisonnalités particulières observées pour les bureaux et la ferme montrent qu'il est important de définir des catégories précises d'usage de l'eau pour documenter efficacement la diversité des régimes sur un territoire. Cette étude de cas, centrée sur les usages, promeut une inclusion plus détaillée des paramètres de la demande en eau dans les études modélisant le bilan hydrique régional (Milano *et al.*, 2013 ; Collet *et al.*, 2015 ; Fabre *et al.*, 2015). Cette étude ajoute également une étape supplémentaire en termes d'échelle temporelle (régimes quotidiens) et de résolution spatiale (aux échelles de l'utilisateur et du bâtiment) par rapport aux études limitant les déterminants de la demande à la variation de la population (Soboll et Schmude, 2011 ; Buytaert et de Bièvre, 2012).

- 36 Le deuxième problème identifié étant la faible disponibilité des données d'usage, cette étude propose la *méthode des analogues*, où les typologies de régimes d'apport provenant du monitoring sont utilisées comme patrons pour reconstruire la saisonnalité de la distribution d'eau potable municipale (Fig. 6). La méthode reproduit correctement la variabilité temporelle de la distribution à Megève. Cela indique une bonne représentativité de la typologie sélectionnée, même si elle est basée sur un petit échantillon ($n=10$). En termes volumiques, cette méthode est encore imprécise, mais pourrait être améliorée en augmentant la taille de l'échantillon. De tels résultats pourraient être associés au modèle développé par Leroy (2015), qui présentait une estimation précise des volumes d'eau potable distribués à Megève, bien qu'avec une précision moindre de la variabilité temporelle. Cela dit, l'objectif principal de la méthode des analogues est de reproduire la saisonnalité de la distribution sur la base

d'un ensemble de données faciles à collecter, afin que les gestionnaires de l'eau et les parties prenantes puissent la mettre en pratique. Cette technique peut être appliquée sur n'importe quel territoire ne disposant pas de données d'usage de l'eau, ou pour la planification urbaine, moyennant la mise en place d'un nouveau monitoring sur le territoire (Calianno et Reynard, 2019). L'avantage est qu'il n'est nécessaire d'équiper qu'un petit nombre de compteurs d'eau, pour autant que l'échantillon soit sélectionné en étroite collaboration avec les gestionnaires locaux. Cette méthode serait également un outil utile pour comparer le caractère saisonnier des usages de l'eau potable entre les différentes stations touristiques, la demande en eau dépendant principalement des taux de capacité en résidences secondaires et en hébergement touristique. En outre, en se basant sur un échantillonnage de « patrons » mesurés *in-situ* et reproduisant les dynamiques particulières de chaque typologie d'usager, cette technique permet d'aller plus loin que les estimations basées uniquement sur la démographie (en litres/jour/personne) et peut tout aussi bien s'appliquer dans les villes et territoires de population permanente.

BIBLIOGRAPHIE

- Beniston M., Stoffel M., 2013.- "Assessing the impacts of climatic change on mountain water resources", *Science of the Total Environment*, 493, 1129-1137.
- 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.
- Branchereau J., 2015.- « Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public de l'eau potable », Rapport technique, Municipalité de Megève.
- Buytaert W., de Bièvre B., 2012.- "Water for cities : the impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes", *Water Resources Research*, 48(W08503).
- Calianno M., Reynard E.- « Le monitoring des usages de l'eau potable. Un compromis entre approches quantitatives et qualitatives », *Aqua & Gas*, 11, 42-46.
- Calianno M., Reynard E., Milano M., Buchs A., 2017.- « Quantifier les usages de l'eau : une clarification terminologique et conceptuelle pour lever les confusions », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 17(1), <http://journals.openedition.org/vertigo/18442>.
- Calianno M., Milano M., Reynard E., 2018.- "Monitoring water use regimes and density in a tourist mountain territory", *Water Resources Management*, 32, 2783-2799.
- Charnay B., 2010.- « Pour une gestion intégrée des ressources en eau sur un territoire de montagne », Thèse de doctorat, Université de Savoie.
- Collet L., Ruelland D., Borrell-Estupina V., Dezetter A., Servat E., 2015.- "Water supply sustainability and adaptation strategies under anthropogenic and climatic changes of a mesoscale Mediterranean catchment", *Science of the Total Environment*, 536, 589-602.

Fabre J., Ruelland D., Dezetter A., Grouillet B., 2015.- “Simulating past changes in the balance between water demand and availability and assessing their main drivers at the river basin scale”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 1263–1285.

Gössling S., 2002.- “The consequences of tourism for sustainable water use on a tropical island : Zanzibar, Tanzania”, *Journal of Environmental Management*, 61, 179–191.

Grouillet B., Fabre J., Ruelland D., Dezetter A., 2015.- “Historical reconstruction and 2050 projections of water demand under anthropogenic and climate changes in two contrasted Mediterranean catchments”, *Journal of Hydrology*, 522, 684–696.

Insee, 2016.- *RP2014 (géographie au 01/01/2016) exploitations principales*.

Klug H., Dabiri Z., Hochwimmer B., Zalavari P., 2012.- “Assessing drinking water consumption by inhabitants and tourists in the Alps using a WebGIS for information distribution”, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 8(1-2), 50–70.

Leroy E., 2015.- « Proposition d’interface science-société pour la gestion intégrée de la ressource en eau dans un contexte de changements climatiques », Thèse de doctorat, Université de Grenoble.

Marnezy A., 2008.- « Les barrages alpins. De l’énergie hydraulique à la neige de culture », *Revue de Géographie Alpine / Journal of Alpine Research*, 96(1), 92–102.

Milano M., Ruelland D., Dezetter A., Fabre J., Ardoin-Bardin S., Servat E., 2013.- “Modelling the current and future capacity of water resources to meet water demands in the Ebro basin”, *Journal of Hydrology*, 500, 114–126.

Milano M., Reynard E., Köplin N., Weingartner R., 2015.- “Climatic and anthropogenic changes in western Switzerland : impacts on water stress”, *Science of the Total Environment*, 536, 12–24.

Nahrath S., Bréthaut C., 2016.- “Coordination between institutional resource regimes as a condition for sustainable management of alpine touristic resources”, *Revue de Géographie Alpine / Journal of Alpine Research*, 104-3, visited April 11th 2019, <http://journals.openedition.org/rga/3333>

Reynard E., 2001.- « Aménagement du territoire et gestion de l’eau dans les stations touristiques alpines. Le cas de Crans-Montana-Aminona (Valais, Suisse) », *Revue de Géographie Alpine / Journal of Alpine Research*, 89(3), 7–19.

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*, 1(4), 413–426.

Saulnier G.-M., Castaings W., Hohenwallner D., Brancelj A., Bertoncej I., Brenčič M., Brun A., Cadoux-Rivollet M., Cainelli O., Calvi C., Bona A.D., Doering M., De-Francesco C., Dutto E., Freundl G., Harum T., Jamsek *et al.*, 2011.- “Monitoring and modelling of mountain water resources - a short guideline based on the results of Alp-Water-Scarce”, Technical report, Alp-Water-Scarce (Interreg IV B, Alpine Space Programme, project 5-1-3-F).

Soboll A., Schmude J., 2011.- “Simulating tourism water consumption under climate change conditions using agent-based modeling : the example of ski areas”, *Annals of the Association of American Geographers*, 101(5), 1049–1066.

Vanham D., Fleischhacker E., Rauch W., 2009.- “Impact of an extreme dry and hot summer on water supply security in an alpine region”, *Water Science and Technology*, 59(3), 469–477.

Vanham D., Millinger S., Pliessnig H., Rauch W., 2011.– “Rasterised water demands : methodology for their assessment and possible applications”, *Water Resources Management*, 25, 3301–3320.

Viviroli D., Dürr H.H., Messerli B., Meybeck M., Weingartner R., 2007.– “Mountains of the world, water towers for humanity : Typology, mapping, and global significance”, *Water Resources Research*, 43, W07447.

RÉSUMÉS

Peu d'enquêtes intégrées sur la gestion de l'eau ou de modèles *offre-demande* en eau incluent une description de la saisonnalité des demandes à pas de temps suffisamment fins (mensuels et inférieurs). La *méthode des analogues* est développée ici avec comme cas d'étude la station touristique de Megève (Haute-Savoie, France), qui présente une forte variabilité saisonnière de la demande en eau potable. La méthode est destinée aux décideurs et aux urbanistes car elle permet de prédire la saisonnalité de la distribution en eau potable sur des territoires alpins où peu de données d'utilisation d'eau sont disponibles. Elle passe par un monitoring des apports sur un échantillon de compteurs d'eau potable domestiques avec une résolution journalière, pour identifier les différents régimes de demande et les utiliser comme « patrons » pour reproduire le signal de distribution municipale. L'analyse de la distribution d'eau potable a mis en évidence deux types de variabilité : de haute fréquence (à l'échelle hebdomadaire) et de basse fréquence (à l'échelle saisonnière). Le monitoring a souligné l'influence du type de bâti et de la permanence de l'habitat sur les régimes de distribution d'eau potable. Enfin, la méthode des analogues s'est révélée efficace pour reproduire la variabilité de basse et haute fréquence de la distribution. La taille et la représentativité de l'échantillon d'utilisateurs sont les facteurs les plus importants à prendre en compte lors de sa mise en œuvre.

Few of the integrated water management surveys or water offer-demand models include a description of the seasonality of demand with sufficiently fine time steps (monthly and lower). The analogues method was developed with as a case study the tourist resort of Megève (Haute-Savoie, France), presenting a strong seasonal variability in the demand for drinking water. The method is intended for decision-makers and urban planners, because it makes it possible to predict the seasonality of drinking water distribution in Alpine regions where data on water use is rarely available. It involves monitoring on a sample of domestic drinking-water meters with a daily resolution, to identify the different demand regimes and use them as « patterns » to reproduce the municipal distribution signal. Analysis of the distribution of drinking water has highlighted two types of variability : high frequency (weekly) and low frequency (seasonal). The monitoring underlined the influence of the type of building and the permanence of the habitat on the drinking water distribution regimes. Finally, the analogues method is considered to be effective in reproducing the low and high frequency variability of the distribution. The size and representativeness of the user sample are the most important factors to be taken into account in its implementation.

INDEX

Mots-clés : monitoring ; eau potable ; saisonnalité de la distribution ; stations touristiques de montagne ; méthode des analogues

AUTEUR

MARTIN CALIANNI

Institut de géographie et durabilité, Université de Lausanne, Géopolis Mouline, 1015 Lausanne,
Suisse.

martin.cali@lilo.org