

# Résumé

Le tourisme hivernal est d'une importance économique majeure pour les territoires de montagne. L'enneigement naturel se raréfie sous l'influence du changement climatique. En réponse, les stations produisent de plus en plus de neige, ce qui implique d'importants prélèvements d'eau. Cette situation pourrait engendrer des conflits avec d'autres usages de l'eau et les écosystèmes de montagne.

À travers trois articles, cette thèse vise à contribuer à la littérature scientifique étudiant les implications économiques, hydrologiques et écologiques de la production de neige. Elle vise plus particulièrement à analyser le lien entre la production de neige et la soutenabilité des systèmes socio-hydro-écologiques des territoires de montagne, en adoptant une perspective interdisciplinaire et en mobilisant des méthodes aussi bien économétriques que mixtes et systémiques.

Dans un premier article, nous avons analysé l'effet de la croissance de la production de neige sur la performance économique des stations de sports d'hiver, afin de comprendre si cette stratégie permettait ou non d'adapter l'économie des territoires de montagne au changement climatique. Dans un second article, nous avons étudié l'effet de la capacité de stockage des retenues d'altitude sur les prélèvements en eau pendant la période d'étiage, pour évaluer si elles permettent d'en diminuer les impacts hydro-écologiques associés à la production de neige. Dans le dernier article, nous avons développé un cadre d'analyse localisé et biocentré pour étudier la coexistence des usages de l'eau avec la production de neige dans les systèmes socio-hydro-écologiques de montagne. Nous avons appliqué ce cadre au territoire de Gresse-en-Vercors, que nous avons renseigné à partir de données à la fois quantitatives et qualitatives.

Nos résultats montrent, premièrement, que l'accumulation des investissements dans la production de neige n'a pas d'effet significatif sur la performance économique des stations de sports d'hiver, y compris durant les hivers les moins bien enneigés. Cela remet fortement en question le fait que la croissance de la production de neige puisse adapter l'économie des territoires de montagne au changement climatique. Deuxièmement, nous montrons que l'augmentation des capacités de stockage de l'eau dans des retenues d'altitude accroît les prélèvements pendant la période d'étiage et en dehors. Cela implique que les retenues d'altitude augmentent les impacts hydro-écologiques de la production de neige et les risques de conflits d'usages de l'eau associés, contrairement à ce qui est soutenu par le syndicat des exploitants de remontées mécaniques. Enfin, nous montrons comment caractériser le système socio-hydro-écologique lié aux prélèvements d'eau pour la production de neige, et nous démontrons que, dans le cas de Gresse-en-Vercors, la production de neige représente une menace faible à modérée pour les usages de l'eau humains et non-humains.

# Abstract

Winter tourism is of major economic importance for mountain regions. Natural snow cover is becoming increasingly scarce due to climate change. In response, ski resorts are increasingly relying on snowmaking, which results in growing water withdrawals. This situation could lead to conflicts with other water uses and mountain ecosystems.

Through three articles, this thesis aims to contribute to the scientific literature that examines the economic, hydrological and ecological impacts of snowmaking. More specifically, it aims to analyse the relationship between snowmaking and the sustainability of socio-hydro-ecological systems in mountain areas, adopting an interdisciplinary perspective and using econometric, mixed and systemic methods.

In the first article, we analysed the economic impact of snowmaking growth, in order to understand whether or not this strategy makes it possible to adapt mountain economies to climate change. In a second article, we studied the effect of the storage capacity of mountain reservoirs on water withdrawals, in order to question their role in the supposed reduction of the hydro-ecological impact of snowmaking. In the last article, we developed a localised and biocentric analytical framework to study the coexistence of water use with snowmaking in mountain socio-hydro-ecological systems. We applied this framework to the Gresse-en-Vercors area, using both quantitative and qualitative data.

Our results show, firstly, that the accumulation of snowmaking investments has no significant effect on the economic performance of ski resorts, even in winters with less natural snow. This strongly challenges the notion of snowmaking growth as an effective climate change adaptation. Second, we show that increasing the water storage capacity in mountain reservoirs increases water withdrawals during low-water periods and beyond. This implies that high altitude reservoirs increase the hydro-ecological impacts of snowmaking and the associated risks of water use conflicts, contrary to the claims of the ski lift operators' union. Finally, we show how to characterise the socio-hydro-ecological system associated with water withdrawals for snowmaking and demonstrate that, in the case of Gresse-en-Vercors, snowmaking poses a low to moderate threat to human and non-human water uses.