

## RESSOURCES EN EAU ET SÉCHERESSES DE 1960 À 2100 EN VALAIS CENTRAL, SUISSE

François METTRA<sup>(1)</sup>, Emilie NEVEU<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Institut Energie et Environnement, Haute Ecole d'Ingénierie, HES-SO Valais-Wallis Haute école spécialisée de Suisse occidentale, Sion, Suisse - e-mail : [francois.mettra@hevs.ch](mailto:francois.mettra@hevs.ch)

<sup>(2)</sup> Institut Energie et Environnement, Haute Ecole d'Ingénierie, HES-SO Valais-Wallis Haute école spécialisée de Suisse occidentale, Sion, Suisse - e-mail : [emilie.neveu@hevs.ch](mailto:emilie.neveu@hevs.ch)

### **Résumé :**

Les Alpes sont considérées comme le château d'eau de l'Europe, notamment car les étiages de la plupart des grands fleuves européens sont soutenus par les ressources alpines. Il est ainsi pertinent d'étudier les sécheresses alpines aussi bien pour leurs impacts locaux et régionaux qu'à l'échelle européenne.

Notre travail étudie la ressource en eau à l'aide de la modélisation hydrologique dans un petit bassin versant alpin au régime nival (sans glacier) au cœur des Alpes suisses (Sionne, Valais), tributaire du Rhône. Un modèle hydrologique a été calibré à partir des débits naturalisés de la Sionne (en tenant compte des usages et transferts d'eau), ce qui permet de simuler la ressource en eau naturelle passée, grâce aux observations météorologiques historiques depuis 1960, et future, grâce aux scénarios climatiques suisses CH2018.

Dans le scénario RCP8.5 pour la fin du siècle, les différentes simulations climatiques modélisent unanimement des étiages plus sévères que ceux du passé. Plus généralement, il semble que le soutien naturel à l'étiage du Rhône en provenance des Alpes pourrait être considérablement diminué d'ici la fin du siècle lors des années sèches avec un changement de saisonnalité des étiages dans les Alpes, même hors bassins versants glaciaires (fonte de neige plus précoce et évapotranspiration plus importante).

**MOTS CLEFS :** ressource en eau ; changement climatique ; multiusage de l'eau ; étiage ; calibration

*Water resources and droughts from 1976 to 2100 in central Valais, Switzerland*

### **Abstract:**

The Alps are often considered the water tower of Europe, notably because low flows in most major European rivers are sustained by Alpine water resources. However, the Alps are also subject to droughts. It is therefore relevant to study Alpine droughts, both for their local and regional impacts and at the European scale.

This study investigates water resources using hydrological modelling in a small Alpine catchment located in the heart of the Swiss Alps (the Sionne catchment, Valais), a tributary of the Rhône River. The objective is to quantify past, present, and future water resources, with a particular focus on drought episodes, including comparisons with historical events such as 1976 and 2022.

The numerous river abstractions and inter-catchment water transfers for multiple uses were finely estimated for the current period, allowing the natural water resources of the Sionne catchment to be reconstructed from hydrometric observations. This step is essential to correctly assess the volumes that would be naturally available during low-flow periods. A hydrological model was calibrated using these corrected discharges (accounting for water uses and transfers), enabling simulations of past natural water resources based on historical meteorological observations since 1960, as well as future resources using the Swiss CH2018 climate scenarios.

Our simulations show that the 2022 and 1976 droughts are of comparable intensity, although their temporal dynamics differ, with a drier winter and early summer (and a less critical late summer) in 1976. Under the RCP8.5 scenario, all climate simulations consistently project more severe low flows and droughts than those observed in the past by the end of the century.

It should be noted that the studied catchment does not receive glacial meltwater, indicating that the potential for more severe droughts in the Swiss Rhône basin by the end of the century is not solely due to glacier retreat, but also largely driven by earlier snowmelt and increased evapotranspiration in catchments without glacier. The seasonality of low-flow periods and its evolution are compared between the (French and Swiss) Rhône River and the Sionne River. More generally, our findings suggest that the natural low-flow support of the downstream Rhône River from the Alps could be substantially reduced by the end of the century during dry years.

**KEY WORDS:** water resources; climate change; multi-purpose use of water; drought; model calibration

## INTRODUCTION

Les Alpes, comme la plupart des chaînes montagneuses à l'échelle du globe, jouent le rôle de château d'eau des régions environnantes (Hanus et al., 2024; Viviroli et al., 2007). L'eau provenant des Alpes suisses et françaises est notamment essentielle pour maintenir le débit du Rhône aval à un niveau convenable et pour assurer la production hydroélectrique, l'irrigation, le refroidissement des centrales nucléaires et le bon état écologique, notamment en été (Jean-Baptiste et al., 2020). Les débits les plus faibles du Rhône aval, aussi bien d'été que moyens, sont observés en août et septembre (BRLi, 2022), ces deux mois ayant les prélèvements pour l'irrigation les plus importants et montrant un nombre important de décisions de restriction d'eau (Sauquet et al., 2019). À l'inverse, le Rhône suisse à l'amont du Léman montre ses plus hauts débits mensuels en été, soulignant l'importance de la contribution alpine à l'été du Rhône aval. Cependant, le régime hydrologique du Rhône amont a changé au cours du XX<sup>ème</sup> siècle avec la construction des grands barrages de stockage pour la production hydroélectrique hivernale : l'été hivernal devient moins fort et les débits mensuels estivaux ont diminué (Loizeau & Dominik, 2000). À l'avenir, une forte baisse des débits estivaux des rivières alpines, ainsi qu'une forte baisse de la contribution de fonte de glace, sont prévues avec les changements climatiques en cours (OFEV, 2021). Dans ce contexte hydro-géographique et celui du changement climatique, il est alors essentiel de

s'intéresser en détail au comportement hydrologique des bassins versants alpins, et notamment aux étiages des rivières alpines.

La contribution de la fonte des glaces sur le débit des rivières en été est significative à une échelle macro, et devient très importante pendant les sécheresses estivales (Huss, 2011; Jean-Baptiste et al., 2020). Suite à la perte de masse et de surface glaciaires d'ici la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle, la contribution glaciaire aux débits des fleuves alpins deviendra très faible (OFEV, 2021). Concernant les bassins versants alpins sans glacier, la tendance est aussi à la baisse en été mais le soutien à l'étiage pour les rivières principales et pour les ressources locales reste tout de même à préciser lors des épisodes de sécheresse. En Valais, les étés 2003 et 2022 ont bien marqué les esprits avec une demande accrue en eau et des restrictions de consommation.

La ressource en eau des bassins versants alpins, notamment ceux sans glacier, est utilisée significativement pour des usages multiples, et par conséquent il est relativement fastidieux de déterminer le débit naturel des cours d'eau concernés à partir de mesures hydrométriques seules. Souvent, les usages tels que la petite hydroélectricité, l'eau potable, l'irrigation ou l'enneigement artificiel ne sont estimés qu'à une échelle régionale relativement large pour l'évaluation de la ressource en eau (Brunner et al., 2019). Il semble alors pertinent de quantifier ces usages à l'échelle locale pour reconstruire les débits naturels qui seront utilisés pour la calibration des modèles hydrologiques. Les impacts de ces usages sont souvent considérés comme minimes sur les débits moyens dans les bassins versants dits naturels (Baud, 2022; Brunner et al., 2019; Muelchi et al., 2022; Sauquet et al., 2019), mais ils ont potentiellement une grande importance lors des étiages (Mettra & Neveu, 2025).

Paradoxalement, la plaine du Rhône en Valais central est l'une des régions les plus sèches de Suisse (Reynard, 1995, 2005b), alors que le Canton du Valais est lui-même considéré comme le château d'eau de la Suisse avec ses 591 glaciers représentant un volume de 33,8 km<sup>3</sup> (Huss et al., 2025) et de fortes précipitations sur les crêtes alpines environnantes. La crête nord des Alpes, en rive droite du Rhône entre Martigny et Sierre, reçoit des cumuls de précipitations parmi les plus hauts du Valais mais n'est que très peu englacée du fait de son altitude modeste, imposant un fort gradient altitudinal de précipitation (Mettra & Neveu, 2025; Reynard, 2005a). Ainsi, l'eau s'écoulant des hautes crêtes par les cours d'eau est cruciale pour l'agriculture des coteaux de basses altitudes du Valais central (Werner, 1995). Il est intéressant d'étudier l'hydrologie des sécheresses dans ce secteur aux précipitations très contrastées et peu englacé dans le contexte du changement climatique.

Dans cet article, nous allons présenter notre site d'étude en rive droite du Rhône valaisan, l'importance de la naturalisation des débits mesurés pour la calibration d'un modèle hydrologique, et les simulations hydrologiques passées et futures. Ces points, notamment la naturalisation des débits, sont discutés dans un article en anglais (Mettra & Neveu, 2025). Dans un deuxième temps, le cas des sécheresses sera abordé. Finalement, les étiages de la Sionne sont discutés dans le contexte national du projet Hydro-CH2018 (OFEV, 2021) et dans le contexte du soutien à l'étiage du Rhône aval.

## **METHODES**

### **Bassin versant de la Sionne**

La Sionne, dont le bassin versant couvre une surface de 27,2 km<sup>2</sup>, se jette dans le Rhône à Sion en rive droite. À l'exutoire du bassin versant, proche de sa confluence avec le Rhône, une station hydrométrique de l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV), mesure les débits

depuis 2007 (497 m, Sion, Figure 1). Avec un régime hydrologique nival, le débit moyen de la Sionne sur la période de mesure est de 0,425 m<sup>3</sup>/s (OFEV).

L'une des particularités des versants de la rive droite du Rhône en Valais central est le fort gradient altitudinal des précipitations. Pour le bassin versant de la Sionne, ce gradient passe de 30 mm/100 m sur le bas du versant à 160 mm/100 m sur la partie alpine (Mettra & Neveu, 2025). À la station météorologique de Sion, au pied du bassin versant (à 483 m), la moyenne des précipitations annuelles est de 583 mm, alors qu'elle atteint environ 2000 mm sur les hauteurs du bassin versant vers 2800 m (période de référence 1991-2020, MétéoSuisse).

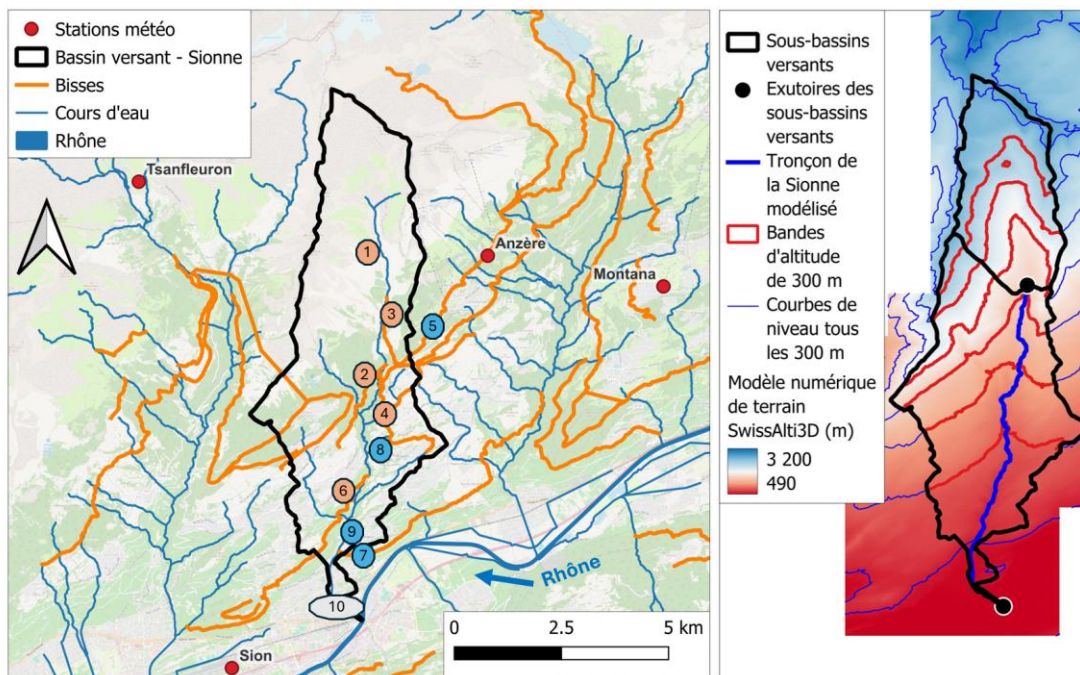


Figure 1 : Cartes montrant le bassin versant de la Sionne. À gauche, les cours d'eau et les canaux traditionnels d'irrigation, les bisses, avec les prélèvements (numéros rouges) et les apports à la Sionne (numéros bleus). Voir le texte pour la signification de la numérotation. À droite, éléments du bassin versant modélisés dans le logiciel RS Minerve.

## Usages de l'eau et naturalisation du débit

Les ressources en eau du bassin versant de la Sionne sont prélevées pour de multiples usages (voir les numéros sur la Figure 1) : l'eau potable (et la petite hydroélectricité) sur deux groupes de sources (1, 2) et l'eau d'irrigation via des canaux appelés bisses en Valais (3, 4, 6). Deux bisses (5, 7) transfèrent vers la Sionne de l'eau, non consommée par l'irrigation en amont, provenant de bassins versants limitrophes. Deux points de restitution (8, 9) liés à un étang d'irrigation et à la production hydroélectrique fournissent de l'eau à la Sionne.

Pour l'année 2021, les flux liés aux usages, aux transferts et aux restitutions ont été quantifiés (ou estimés) de façon détaillée dans le cadre d'un projet de recherche (Houillon et al., 2025), parfois à l'échelle journalière, parfois à l'échelle hebdomadaire (pour les bisses notamment). Il a alors été possible de naturaliser le débit de la Sionne, c'est-à-dire de désinfluencer le débit de toutes activités humaines (Mettra & Neveu, 2025). Vu l'ampleur de la tâche et la difficulté d'obtention des données, cette naturalisation du débit n'a pu être faite que pour l'année civile 2021 (les communes ne travaillent pas sur l'année hydrologique). L'été 2021 ayant été relativement humide, il est probable que les flux d'eau déterminés pour cette

année-là ne soient pas représentatifs des valeurs moyennes, et ne peuvent donc pas être transposés à d'autres années.

## **Modélisation hydrologique**

### *Scénarios hydrologiques suisses : Hydro-CH2018*

Le projet Hydro-CH2018 a étudié l'évolution des régimes hydrologiques et de la ressource en eau moyenne à l'échelle de la Suisse (OFEV, 2021). Plusieurs jeux de données ont été produits, dont notamment : L01 regroupant la modélisation d'une sélection de bassins versants de méso-échelle dont le bassin versant de la Sionne ; L02 simulant l'ensemble des grands bassins versants suisses dont le Rhône (Zappa et al., 2021) ; des données spatiales (GR) fournissant les simulations du débit généré sur une grille de 500 m × 500 m. Cependant, les modélisations utilisées pour produire ces jeux de données ne prennent pas en compte les usages à l'échelle fine pour corriger les débits mesurés en rivière comme décrit dans la section précédente. Des estimations des grands usages ont été réalisées uniquement à l'échelle des grands bassins versants. L'évolution médiane des simulations des débits de la Sionne à Sion (L01) et du Rhône à la Porte-du-Scex (amont du Léman ; L02) ont été utilisées pour mettre en contexte les simulations produites dans notre étude sur le bassin versant de la Sionne qui est réalisée à une échelle plus fine spatialement et temporellement.

### *RS Minerve et le modèle SOCONT*

Le modèle conceptuel et semi-distribué SOCONT (Schaepli et al., 2005), implémenté dans RS Minerve (García Hernández et al., 2020), a été utilisé pour faire les simulations hydrologiques. Le découpage en deux sous-bassins versants et par bandes d'altitude de 300 m est présenté en partie droite de la Figure 1. Seuls les débits naturalisés de 2021 ont été considérés pour la calibration car c'est l'unique année où les débits ont pu être naturalisés. La chronique entière de débit (non naturalisée) a tout de même permis de valider que le modèle calibré se comportait bien d'une année sur l'autre, notamment en confirmant les extrêmes secs et humides (précisions sur la calibration et la validation dans Mettra & Neveu, 2025).

Les données d'entrée du modèle, pour la période historique, sont fournies par MétéoSuisse aux stations météorologiques de Montana et Sion (Figure 1). Des données horaires étaient disponibles sur la période 1981 à 2024, et les données journalières remontaient à 1962. Il a été vérifié que les simulations avec ces deux résolutions donnaient le même résultat à l'échelle mensuelle sur la période 1981-2024, montrant que les données journalières étaient suffisantes pour la détermination de la ressource en eau avant 1981.

Le projet CH2018 a produit des scénarios climatiques à l'échelle de la Suisse, basé sur l'ensemble EURO-CORDEX (Fischer et al., 2022). Les simulations CH2018 utilisées dans notre travail sont issues d'une descente d'échelle temporelle et d'un débiaisement aux stations de Montana et Sion (Michel et al., 2021a, 2021b).

## **RESULTATS**

### **Evaluation de la ressource en eau**

Dans un premier temps, notre simulation historique des ressources a été comparée aux données de simulations d'Hydro-CH2018 à l'échelle mensuelle (Figure 2). Notre simulation se

situé entre les deux jeux de données Hydro-CH2018 (GR et L01) qui présentent des résultats bien différents, la ressource passant du simple au double. Le jeu GR est issu d'une paramétrisation à l'échelle de la Suisse ce qui peut expliquer l'écart important avec notre simulation. Cependant, la simulation issue du jeu L01 utilise les mêmes mesures de débit de la Sionne (mais sans naturalisation), la naturalisation faite dans notre cas pouvant alors expliquer l'écart (sous-estimation par les données L01). Ces écarts confirment la pertinence de calibrer un modèle à l'échelle locale et de naturaliser les débits, même sur une courte période.

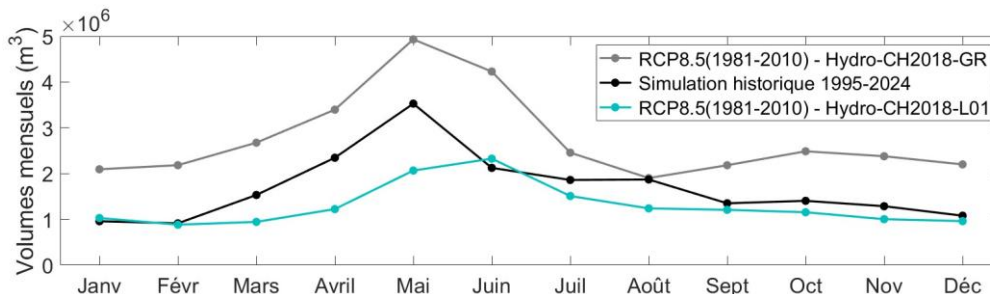


Figure 2 : Simulation historique des ressources en eau mensuelles de la Sionne issue de notre modèle calibré avec des débits naturalisés, comparée avec les deux jeux de données (GR et L01) issus des scénarios hydrologiques suisses Hydro-CH2018 sur la période 1981-2010.

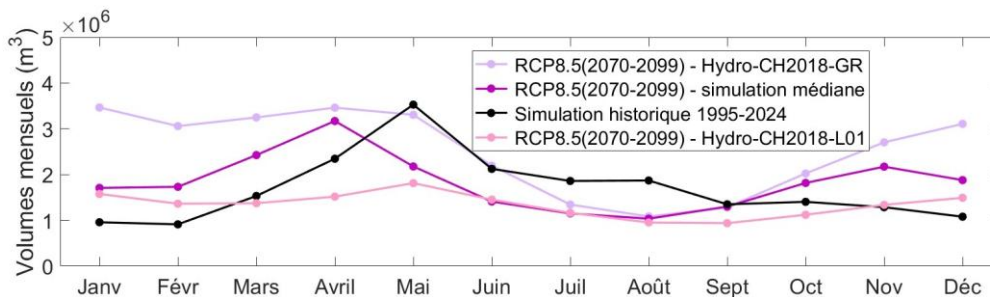


Figure 3 : Comme la Figure 2 pour une simulation future (simulation médiane du scénario RCP8.5) sur la période 2070-2099, en gardant notre simulation historique pour comparaison.

La Figure 3 compare ces mêmes jeux de données dans le scénario RCP8.5 à l'échéance 2070-2099. Notre simulation (notée « simulation médiane ») se situe toujours entre les deux jeux de données d'Hydro-CH2018 bien que tous s'accordent sur l'intensité de la période de basses eaux, en juillet et août notamment. Dans les trois cas la ressource diminue fortement en fin de printemps et en été, alors qu'elle augmente fortement en hiver. Pour les deux jeux d'Hydro-CH2018, le pic de débit lié à la fonte des neiges s'efface complètement alors que dans le cas de notre simulation, il reste bien présent mais plus précoce.

## Etude des sécheresses

La Figure 4 présente la ressource en eau naturelle estivale (juin à août) simulée de la Sionne sur la période 1961-2024. Cette période estivale correspond à la saison estivale officielle mais aussi à la période de mise en eau des bisses, correspondant ainsi à la période des plus forts prélèvements (Houillon et al., 2025). La sécheresse de 1976 est par exemple bien visible mais on remarque aussi qu'elle est comparable à plusieurs autres années à l'échelle de l'été, notamment 1964, 1989, 1998, 2022, ainsi que quelques années dans les années 2010. La fréquence des étés présentant une ressource égale ou inférieure à 5 millions de m<sup>3</sup> est nettement à la hausse sur la période, notamment à partir de l'an 2000 environ.

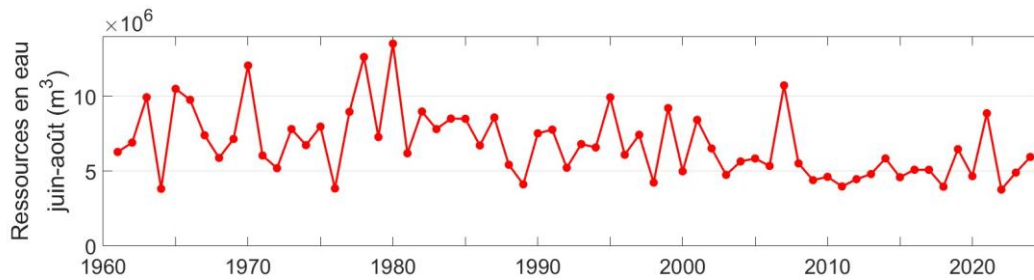


Figure 4 : Volumes d'eau simulés s'écoulant dans la Sionne en été (juin à août) sur la période 1961-2024.

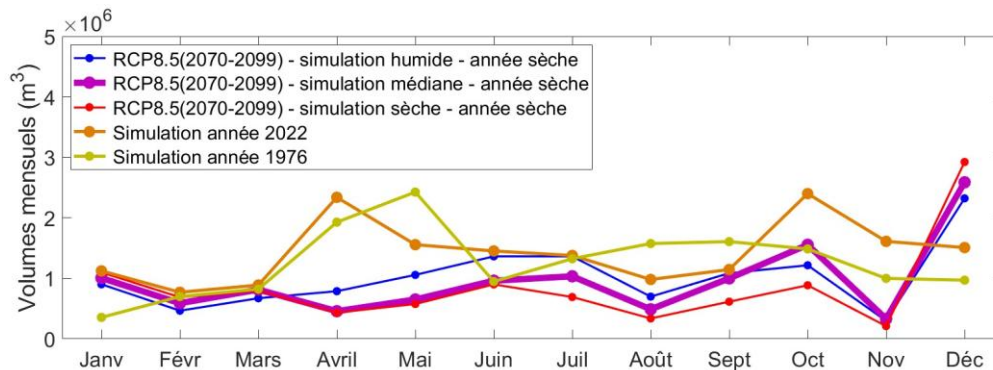


Figure 5 : Simulation de la ressource en eau de la Sionne, pour les années 1976, 2022 et l'année la plus sèche de trois simulations à l'horizon 2085 (période de 30 ans) du scénario d'émission RCP8.5 issues des scénarios climatiques suisses CH2018 (deux simulations extrêmes sec et humide, et la simulation médiane).

Les Figure 5 et Figure 6 montrent les volumes d'eau mensuels s'écoulant dans la Sionne pour le scénario RCP8.5 pour trois simulations hydrologiques issues de trois simulations climatiques représentatives de l'ensemble CH2018 (Sikorska-Senoner et al., 2024), pour l'année la plus sèche et l'été le plus sec de la période 2070-2099 respectivement. Dans le cas de l'année la plus sèche (Figure 5), le pic printanier de fonte de neige disparaît complètement dans les simulations futures, même pour la simulation humide (en moyenne climatique), et l'été est aussi sec, voire plus sec, que les étés secs de référence de 1976 et 2022. Dans le cas de l'été le plus sec (Figure 6), les étés sont nettement plus secs que 1976, 2003 et 2022, malgré un pic de fonte comparable en intensité à la moyenne actuelle (cependant un peu plus précoce), contrairement à 1976 et 2022 qui ont des pics de fonte relativement bien plus faibles.

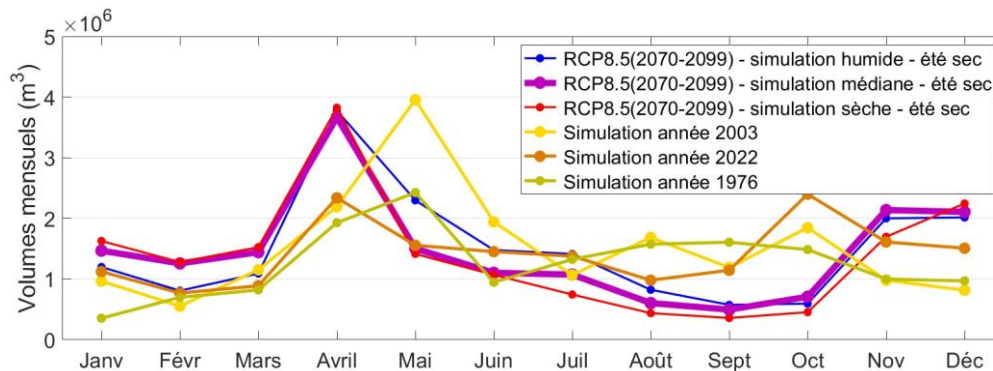


Figure 6 : Comme la Figure 5 pour l'année ayant l'été (juillet à septembre) le plus sec dans les simulations à l'horizon 2085, avec la simulation de l'année de 2003 en supplément.

## DISCUSSION

Les étiages de la Sionne ont lieu en hiver, même lors des années ayant un été particulièrement sec (par exemple 1976, 2003, 2022), par stockage de l'eau sous forme de neige dans le bassin versant. Cependant, cette saisonnalité va changer et il est prévu unanimement que les étiages se produiront préférentiellement en été dans le climat de la fin du siècle pour le scénario RCP8.5 (Mettra & Neveu, 2025). Cette tendance précise les projections des débits moyens à l'échelle régionale et alpine (OFEV, 2021).

Dans la situation actuelle et historique, nous observons que les étiages sont synchronisés entre le Rhône suisse et la Sionne, avec un étiage en hiver quand les précipitations sont en grande partie neigeuse. Cependant, ces étiages alpins (et hivernaux) sont désynchronisés avec l'étiage du Rhône aval qui a lieu en fin d'été, ce qui montre l'important soutien à l'étiage par le Rhône suisse au Rhône aval, et en particulier aussi la contribution des bassins versants non glaciaires de la rive droite du Rhône valaisan.

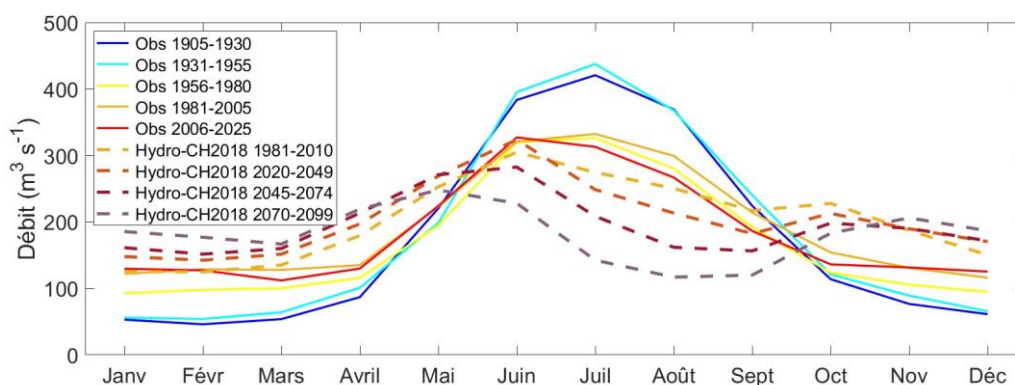


Figure 7 : Débits mensuels moyens du Rhône à la Porte-du-Scex (6 km à l'amont du Léman), Suisse, pour différentes périodes historiques (Obs) et pour la médiane des simulations Hydro-CH2018 du scénario RCP8.5 à différentes échéances (incluses les simulations sur la période historique).

À l'horizon 2085, selon le scénario RCP8.5, les étiages du Rhône suisse et de la Sionne pourraient être relativement bien synchronisés avec celui du Rhône français, le soutien à l'étiage ne sera alors plus autant effectif. En effet, sur la Figure 7, qui combine les débits moyens mensuels observés du Rhône par période avec leur évolution selon le scénario RCP8.5 à plusieurs échéances, l'étiage du Rhône suisse passera de l'hiver à la fin de l'été d'ici la fin du siècle. Notons que, la contribution de la Sionne et donc des bassins versants similaires, pourrait rester en moyenne stable pour septembre alors qu'elle baisserait nettement pour tous les mois d'été. De plus, pour les étés futurs exceptionnellement secs, le soutien à l'étiage pourrait être significativement plus faible que lors des sécheresses historiques.

## CONCLUSION

La naturalisation des débits semble être une étape importante pour obtenir une bonne calibration du modèle hydrologique (même sur une courte période), permettant une meilleure représentation des processus et de la saisonnalité des débits. Appliquée au bassin versant de la Sionne en Valais central, Suisse, cette approche permet notamment d'affiner les projections moyennes issues des scénarios hydrologiques suisses et d'explorer les étiages extrêmes de la fin du siècle dans le scénario RCP8.5.

Les simulations hydrologiques présentées dans cet article montrent un changement dans la saisonnalité des étiages entre la période historique et la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle pour le scénario RCP8.5. Sur la Sionne, l'étiage qui était historiquement en hiver, se décale à l'été, et même un pic de fonte printanier relativement important n'empêcherait pas une sécheresse estivale extrême (et plus intense que sur la période historique 1961-2024).

Les étiages du Rhône aval, en fin d'été, qui étaient originellement désynchronisés des étiages du Rhône suisse et de la Sionne (non-influencés par des glaciers), seraient synchronisés dans le futur, aussi bien en moyenne que lors des années sèches. Ainsi, cette perte de contribution au soutien à l'étiage du Rhône aval par les bassins versants non-glaciaires de la rive droite du Rhône valaisan, s'ajoute à la perte quasi-totale des glaciers alpins prévus pour la fin du siècle.

## DISPONIBILITE DES DONNEES

Les données du projet Hydro-CH2018 sont disponibles sur le site du NCCS à la page suivante : <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-hydrologiques-hydro-ch2018/donnees-hydro-ch2018.html>. Les usages considérés pour la naturalisation du débit de la Sionne sont décrits et consultables dans les chapitres 4 et 5 du rapport du projet "Transition énergétique : synergies et impacts sur la gestion de l'eau" (Houillon et al., 2025) disponible au lien suivant : [https://serval.unil.ch/en/notice/serval:BIB\\_6CD5ED2B9DEB](https://serval.unil.ch/en/notice/serval:BIB_6CD5ED2B9DEB). Le logiciel RS Minerve est disponible sur le site internet du CREALP à la page suivante : <https://www.crealp.ch/rs-minerve/>.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par BlueArk Entremont et l'Institut Energie et Environnement de la HES-SO Valais-Wallis. Elle utilise une partie des données produites dans le cadre de deux projets (no 132227-RN004 et no 137588-RN001) financés par le Service des Hautes Ecoles du Canton du Valais et conduits par l'Université de Lausanne – CIRM et la HES-SO Valais-Wallis.

## REFERENCES

- Baud, C. (2022). *Hydrologic data assimilation for an operational flood forecasting & monitoring system* [MSc diploma work]. EPFL, Lausanne.
- BRLi. (2022). *Etude de l'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique – Mission 1 : Diagnostic actualisé de la situation hydrologique du fleuve* (p. 458). [https://www.eaurmc.fr/jcms/pro\\_118249/fr/etude-debits-du-rhone-mission-1-rapport-complet](https://www.eaurmc.fr/jcms/pro_118249/fr/etude-debits-du-rhone-mission-1-rapport-complet)
- Brunner, M. I., Björnson Gurung, A., Zappa, M., Zekollari, H., Farinotti, D., & Stähli, M. (2019). Present and future water scarcity in Switzerland: Potential for alleviation through reservoirs and lakes. *Science of The Total Environment*, 666, 1033- 1047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.169>
- Fischer, A. M., Strassmann, K. M., Croci-Maspoli, M., Hama, A. M., Knutti, R., Kotlarski, S., Schär, C., Schnadt Poberaj, C., Ban, N., Bavay, M., Beyerle, U., Bresch, D. N., Brönnimann, S., Burlando, P., Casanueva, A., Fatichi, S., Feigenwinter, I., Fischer, E. M., Hirschi, M., ... Zubler, E. M. (2022). Climate Scenarios for Switzerland CH2018 – Approach and Implications. *Climate Services*, 26, 100288. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100288>
- García Hernández, J., Foehn, A., Fluixá-Sanmartín, J., Roquier, B., Brauchli, T., Paredes Arquiola, J., & De Cesare, G. (2020). *RS MINERVE–Technical manual*, v2. 25. CREALP.
- Hanus, S., Burek, P., Smilovic, M., Seibert, J., & Viviroli, D. (2024). Seasonal variability in the global relevance of mountains to satisfy lowland water demand. *Environmental Research Letters*, 19(11), 114078. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad8507>

- Houillon, G., Delalex, M., Mettra, F., Rey, T., Neveu, E., & Reynard, E. (2025). *Projet interinstitutionnel PInter 07-2024 – Transition énergétique : Synergies et impacts sur la gestion de l’eau. Rapport final (Projet no 132227-RN004)*. 186. <https://iris.unil.ch/handle/iris/264359>
- Huss, M. (2011). Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe. *Water Resources Research*, 47(7). <https://doi.org/10.1029/2010WR010299>
- Huss, M., Linsbauer, A., & Naegeli, K. (2025). *Glaciers de Suisse. État, prévisions et implications*. (No. 2; Swiss Academies Factsheets 20). <https://zenodo.org/records/14866773>
- Jean-Baptiste, J., Le Gal La Salle, C., & Verdoux, P. (2020). Water stable isotopes and volumetric discharge rates to monitor the Rhône water’s seasonal origin. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04376>
- Loizeau, J.-L., & Dominik, J. (2000). Evolution of the Upper Rhone River discharge and suspended sediment load during the last 80 years and some implications for Lake Geneva. *Aquatic Sciences*, 62(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s000270050075>
- Mettra, F., & Neveu, E. (2025, juin). *Challenges in assessing present and future water resources for multi-purpose use in a small Alpine catchment* [Conference]. SimHydro 2025: Which data for water and models?, Nice, France. [https://neveue.github.io/pdf/Paper-simhydro2025\\_v1\\_submitted\\_01052025.pdf](https://neveue.github.io/pdf/Paper-simhydro2025_v1_submitted_01052025.pdf)
- Michel, A., Sharma, V., Lehning, M., & Huwald, H. (2021a). Climate change scenarios at hourly time-step over Switzerland from an enhanced temporal downscaling approach. *International Journal of Climatology*, 41(6), Article 6. <https://doi.org/10.1002/joc.7032>
- Michel, A., Sharma, V., Lehning, M., & Huwald, H. (2021b). *Dataset for: Climate change scenarios at hourly time-step over Switzerland from an enhanced temporal downscaling approach* [Jeu de données]. EnviDat. <https://www.envidat.ch/dataset/ba957163-c3d5-4759-b700-e889b0209b56>
- Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J., Weingartner, R., & Martius, O. (2022). An ensemble of daily simulated runoff data (1981–2099) under climate change conditions for 93 catchments in Switzerland (Hydro-CH2018-Runoff ensemble). *Geoscience Data Journal*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1002/gdj3.117>
- OFEV. (2021). *Effets des changements climatiques sur les eaux suisses. Hydrologie, écologie et gestion des eaux*. (No. 2101 ; Connaissance de l’environnement, p. 125). Office fédéral de l’environnement. <https://www.bafu.admin.ch/dam/fr/sd-web/cPLO37edEVrg/auswirkungen-des-klimawandels-auf-die-schweizer-gewaesser.pdf>
- Reynard, E. (1995). L’irrigation par les bisses en Valais : Approche géographique. *Annales valaisannes : bulletin trimestriel de la Société d’histoire du Valais romand*, 47- 64. <https://iris.unil.ch/handle/iris/154479>
- Reynard, E. (2005a). *Gestion patrimoniale et intégrée des ressources en eau dans les stations touristiques de montagne. Les cas de Crans-Montana-Aminona et Nendaz (Valais)* [PhD Thesis]. University of Lausanne.
- Reynard, E. (2005b). *Les conditions naturelles et la construction des bisses du Valais*. Institut de Géographie.
- Sauquet, E., Richard, B., Devers, A., & Prudhomme, C. (2019). Water restrictions under climate change: A Rhône–Mediterranean perspective combining bottom-up and top-down approaches. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(9), 3683- 3710. <https://doi.org/10.5194/hess-23-3683-2019>
- Schaefli, B., Hingray, B., Niggli, M., & Musy, A. (2005). A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(1/2), 95- 109. <https://doi.org/10.5194/hess-9-95-2005>
- Sikorska-Senoner, A. E., Rajczak, J., Zappa, M., & Kotlarski, S. (2024). User-tailored sub-selection of climate model ensemble members for impact studies. *Science of The Total Environment*, 952, 175769. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175769>
- 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(7). <https://doi.org/10.1029/2006WR005653>
- Werner, P. (1995). Les bisses et leur environnement naturel en Valais : Utilité des observations de la végétation actuelle pour les reconstitutions historiques. *Annales valaisannes : bulletin trimestriel de la Société d’histoire du Valais romand*, 75- 90.
- Zappa, M., Lustenberger, F., Weingartner, R., Bühlmann, A., & Mülchi, R. (2021). Mean discharge of large catchments. In *Hydro-CH2018: Scenarios to 2100. Hydrological Atlas of Switzerland*. [https://hydromapscc.ch/texts/L\\_Oberflaeche/102\\_big\\_discharge/102\\_fr.pdf](https://hydromapscc.ch/texts/L_Oberflaeche/102_big_discharge/102_fr.pdf)