

Protéger les eaux souterraines suisses contre la sécheresse

Comment préserver la principale source d'eau potable face au changement climatique

L'eau souterraine est la ressource vitale cachée de la Suisse : elle couvre environ 80 % des besoins en eau potable du pays et est indispensable aux ménages, à l'agriculture, à l'industrie et aux habitats fragiles. Le changement climatique, avec ses périodes de sécheresse plus fréquentes et plus extrêmes, menace la disponibilité et la qualité de cette ressource. En favorisant la recharge des nappes phréatiques, la mise en place d'infrastructures résilientes, l'amélioration des données et une gestion globale, il est possible d'atténuer les effets des périodes de sécheresse.

L'eau souterraine est l'eau qui pénètre dans le sous-sol depuis la surface – principalement par l'infiltration des précipitations – mais également depuis les rivières ou les lacs. Une fois dans le sous-sol, elle circule de différentes manières selon la géologie : dans les aquifères poreux (p. ex. grandes vallées fluviales du Plateau), elle remplit les interstices (pores) du sable et du gravier et s'écoule généralement lentement en suivant le gradient hydraulique. Dans les aquifères karstiques (caractéristiques du Jura et des Alpes calcaires), elle circule à travers un vaste réseau de cavités souterraines creusées dans la roche soluble. Dans les aquifères fissurés (p. ex. roches cristallines), elle s'écoule à travers des réseaux de fractures et de fissures tectoniques.¹ En plus d'être une source d'eau importante, l'eau souterraine est aussi un habitat pour de nombreux organismes, souvent peu étudiés.² À l'échelle mondiale, l'eau souterraine constitue la ressource la plus importante pour l'approvisionnement en eau potable. En Suisse, environ 80 % de l'eau potable provient du sous-sol.³ Le volume stocké s'élève à environ 150 km³, dont envi-

ron 18 km³ se renouvellent chaque année (le taux de renouvellement peut fortement varier selon le type d'aquifère).⁴ Essentielle aux ménages et à l'industrie, elle est également indispensable à l'irrigation agricole et à de nombreux écosystèmes.⁵ Dans les zones humides, les forêts alluviales ou les habitats de sources, elle assure la survie de nombreuses espèces. De plus, l'eau souterraine limite l'assèchement des cours d'eau et stabilise leur température : selon le type de cours d'eau et la saison, elle représente entre 30 et 80 % de leur débit total en Suisse.⁶

L'efficacité des eaux souterraines en tant que tampon contre la sécheresse dépend du type d'aquifère. Les grands aquifères poreux, en tant que « réservoirs lents », évoluent lentement face aux changements. Ils constituent des réserves indispensables en eaux souterraines durant les périodes de sécheresse.⁷ Le revers de cette inertie est que si les nappes sont surexploitées ou polluées, plusieurs décennies peuvent être nécessaires pour que les réserves et la quali-

te se rétablissent.^{8,9} Les systèmes karstiques et fissurés se comportent de manière totalement différente : ils réagissent de façon plus dynamique et stockent moins d'eau. En cas d'absence prolongée de précipitations, les niveaux baissent brusquement et les sources se tarissent rapidement, rendant ainsi ces aquifères nettement moins robustes en tant que réserves durables dans les régions jurassiennes et alpines.¹ Une exploitation multiusage et raisonnée des eaux souterraines est donc fondamentale.

Quelles sont les conséquences de la sécheresse croissante ?

La sécheresse a des effets variés et de grande portée sur les eaux souterraines et les secteurs qui en dépendent.⁹

Les niveaux des nappes baissent et les sources se tarissent : les étés chauds et secs tels que ceux de 2003, 2018, 2022 et 2026 ont entraîné, à l'échelle régionale, des niveaux d'eaux souterraines exceptionnellement bas et le tarissement de sources. La hausse des températures réduit le manteau neigeux en hiver et accroît l'évaporation en été et en automne. De plus, le changement climatique modifie la répartition des précipitations, rendant les hivers plus humides et les étés plus secs. Selon les scénarios de Climat CH2025 avec un réchauffement climatique de 3 °C, les sécheresses extrêmes en été seront à l'avenir trois fois plus fréquentes et le déficit hydrique (évaporation supérieure aux précipitations) des sols sera en moyenne supérieur de 44 %. Les besoins en eau des cultures agricoles déjà irriguées aujourd'hui vont presque doubler d'ici la fin du siècle. Comme ces besoins doivent être couverts en partie par les eaux souter-

raines et que les périodes de sécheresse peuvent se prolonger jusqu'à l'automne, la pression sur les aquifères augmente – d'autant qu'à cette période de l'année, la forte évaporation en empêche la recharge. Les régions disposant d'aquifères à faible capacité de stockage, comme en milieu de montagne en dehors des grandes plaines alluviales, sont les plus impactées.¹⁰

La qualité de l'eau se détériore : la baisse des débits en période de sécheresse favorise la concentration des micropolluants issus des eaux usées épurées qui s'infiltrent dans les nappes phréatiques via les cours d'eau. De plus, les pesticides, les nitrates et autres composés organiques s'y accumulent n'étant plus dégradés par les micro-organismes dont le métabolisme dépend de l'humidité présente dans le sol. Les fortes précipitations transportent ces polluants – en particulier les nitrates et les pesticides – en profondeur et entraînent une augmentation significative de leurs concentrations dans les eaux souterraines.^{7,11} Ce phénomène est aggravé dans les zones karstiques ; les eaux d'infiltration pénétrant rapidement en profondeur, presque sans filtration, à travers des fissures et des réseaux de galeries. L'épuration biologique du sol y est pratiquement inexistante. Après de fortes pluies estivales, des contaminations microbiologiques aiguës (p. ex. par des bactéries fécales) peuvent donc survenir dans les captages d'eau potable.

Les conflits s'intensifient : l'agriculture, l'approvisionnement en eau potable et l'industrie se font concurrence.¹² La pression accrue sur les ressources en eau pendant les sécheresses peut entraîner des pénuries pour les ménages, des pertes agricoles et des défis majeurs pour l'industrie. Selon l'ampleur de la pénurie, la production ou le refroidissement

Impact de la sécheresse sur différents aquifères en Suisse				
Caractéristique	Roche meuble (grands aquifères)	Roche meuble (aquifères locaux)	Karst	Roche fracturée
Type géologique	Épaisseurs importantes de gravier et sable non consolidés (eaux interstitielles), localement reliés à un cours d'eau	Accumulations locales peu profondes de gravier et sable (eaux interstitielles de faible profondeur) sans lien avec des cours d'eau	Roches calcaires avec réseaux de cavités (eaux karstiques)	Roche consolidée présentant des fissures et des fractures (eaux de fissures et de stratification)
Principaux gisements	Grandes vallées fluviales (p. ex. vallée du Rhône, vallée du Rhin)	Alpes et Préalpes : éboulis de pente, jeunes moraines (non consolidées)	Jura, Alpes calcaires	Alpes centrales (granite, gneiss) ainsi que zones vallonnées de la molasse (nagelfluh, grès) et anciennes moraines consolidées
Utilisation principale	Approvisionnement urbain en eau potable	Approvisionnement décentralisé en eau des exploitations alpines	Sources régionales d'eau potable (p. ex. Jura)	Approvisionnement principal des villages de montagne, des sources d'exploitations agricoles
Comportement en cas de sécheresse	Stable : grands réservoirs, les niveaux baissent lentement	Réserves limitées : les réservoirs peu profonds se vident rapidement en l'absence de pluie. Les sources s'amenuisent, voire se tarissent.	Dynamique : capacité de rétention quasi nulle dans la montagne. Les petites sources s'assèchent	Baisse rapide à modérée : faible capacité de stockage selon la roche
Risque pour la qualité en cas de fortes pluies après une sécheresse	Limité pour la bactériologie (bon effet filtrant du sous-sol), retardé pour les substances chimiques	Moyen (apport plus ou moins rapide de germes et de substances chimiques polluantes selon la perméabilité du milieu)	Très élevé (risque aigu d'apport de bactéries et de substances contaminantes)	Elevé (apport plus ou moins rapide de germes et de substances polluantes selon la perméabilité du milieu)



Figure 1: Les multiples conséquences de la sécheresse sur les eaux souterraines et les pistes de solution.
Illustration: Carolyne Daniel, Zoé Environment Network

peuvent être limités et les activités nécessitant beaucoup d'eau temporairement suspendues. Nos besoins futurs sont difficiles à prédire: l'irrigation croissante, par exemple, les augmente, tandis que les gains d'efficacité et les mesures d'économie d'eau les réduisent.

Les écosystèmes souffrent: les faibles niveaux des nappes phréatiques affectent directement ou indirectement de nombreux habitats, les cours d'eau étant moins alimentés par les eaux souterraines. Sources et ruisseaux, tout comme certains tronçons de rivières, peuvent temporairement se tarir en raison de l'exploitation des eaux souterraines. Certains types de marais dépendent directement du niveau des nappes phréatiques et même les espèces végétales à racines profondes souffrent d'une baisse prolongée. Ces changements peuvent menacer la biodiversité et nuire à la qualité de précieux milieux naturels.¹³

Observation et surveillance

Les réseaux de mesure des distributeurs d'eau, des cantons et de la Confédération surveillent en permanence la disponibilité et la qualité des eaux souterraines. Ils suivent notamment les niveaux des nappes, les températures et les paramètres chimiques.¹⁴

Les données à long terme montrent que les aquifères réagissent différemment selon les régions en période de sécheresse. De manière générale, les niveaux d'eau fluctuent davantage et leurs valeurs minimales ne cessent de baisser, en particulier dans les zones d'agriculture intensive. Par ailleurs, les températures des eaux souterraines augmentent, surtout dans les zones urbanisées.

Petit glossaire des termes techniques

- **Eaux souterraines et filtrat de rive**: les eaux souterraines remplissent les cavités du sous-sol profond. Le filtrat de rive, en revanche, est de l'eau de surface (p. ex. des rivières) qui s'infiltre dans le sol à travers le lit du cours d'eau et qui est captée à proximité des rivières.
- **Recharge des nappes phréatiques**: processus par lequel les eaux de pluie ou les eaux de surface s'infiltrent à travers les couches du sol et alimentent les réservoirs souterrains (aquifères).
- **Débit de base**: partie de l'eau des ruisseaux et des rivières qui ne provient pas des précipitations récentes, mais qui est alimentée en continu par les eaux souterraines.
- **Ville-éponge et territoire-éponge**: concepts d'aménagement visant à collecter les eaux de pluie là où elles tombent, plutôt que de les évacuer.
- **Infrastructure bleue-verte (IBV)**: réseau d'infrastructures dans lequel la gestion de l'eau (« bleue », p. ex. les cours d'eau à ciel ouvert, les bassins de rétention) est associée aux espaces verts urbains (« verts », p. ex. les arbres en ville, les parcs).

Mesures préventives

Recenser et surveiller l'utilisation: le réseau de mesure des eaux souterraines est bien développé dans les régions urbanisées et agricoles.¹⁴ Dans les régions de montagne, les débits des sources sont souvent mesurés de manière moins systématique. Il conviendrait de renforcer le réseau de mesure aux sources afin de mieux recenser ces importantes ressources.

Un recensement systématique des prélèvements est nécessaire pour une gestion raisonnée et intégrée de l'eau. Les données satellitaires et de télédétection peuvent être utilisées pour identifier les surfaces irriguées.¹⁵ Des modèles permettent d'estimer les besoins et des systèmes de mesure permettent de recenser directement les prélèvements.

Optimiser l'utilisation: une consommation modérée réduit la pression exercée sur les nappes. Pour l'agriculture notamment, l'optimisation des pratiques – technologies et horaires – d'irrigation et leur adaptation aux différents types de cultures permettent de réduire les pertes. Les distributeurs d'eau potable améliorent l'utilisation de l'eau en assainissant les réseaux, en procédant à une recharge artificielle des nappes ou en créant des structures d'approvisionnement redondantes (réseaux interconnectés, sources d'approvisionnement alternatives). Pour la recharge artificielle, il s'agit avant tout de pérenniser les installations existantes car la création de nouvelles zones suffisamment protégées est particulièrement difficile dans une Suisse où les contraintes territoriales sont nombreuses.

Renforcer la recharge naturelle des nappes: pour que les eaux souterraines puissent se régénérer à long terme, il

faut des surfaces de rétention et d'infiltration adaptées en zones urbaines et rurales. Les sols imperméabilisés entravent l'infiltration. La renaturation des cours d'eau et des marais, la rétention et l'infiltration des eaux respectueuses de la nature au niveau des bassins versants, ainsi qu'une gestion des terres agricoles préservant les sols contribuent à augmenter la quantité d'infiltration d'eau de pluie et la recharge des nappes.

Adapter les infrastructures: des bassins de rétention, des puits de secours ou des solutions interconnectées renforcent la résilience des réseaux d'approvisionnement régionaux face aux sécheresses. En complément, des concepts tels que la ville-éponge et le territoire-éponge ou les infrastructures bleues-vertes contribuent à mieux retenir et laisser s'infiltre l'eau. Une infrastructure bleue-verte doit combiner des surfaces désimperméabilisées, la création de zones d'infiltration et une végétation extensive adaptée à la sécheresse, afin que son entretien ne nécessite pas d'eau (potable) supplémentaire, même en période de sécheresse. En milieux naturels, la restauration des zones humides et des ruisseaux peut améliorer la rétention d'eau et la recharge des nappes. Toutefois, la présence de plans d'eau et de végétation réactivée peut accentuer localement l'évaporation estivale. Selon le site, il reste donc incertain si ces mesures soutiennent le débit de base en plein été ou si les besoins accrus de la végétation aggravent localement le manque d'eau.¹⁶

Protéger la qualité des eaux souterraines: en période de sécheresse, les polluants sont concentrés et l'épuration naturelle est réduite. Il est donc essentiel d'éviter les apports de nutriments et de polluants (tels que les nitrates et les pesticides) dans la zone d'alimentation des captages. Les zones de protection autour des captages et des sources constituent à cet égard un instrument central pour la sécurité alimentaire et pour la qualité à long terme des eaux souterraines. La gestion des bassins versants doit satisfaire aux exigences de protection des eaux.

Intégration dans l'aménagement du territoire et l'affectation des sols: l'aménagement du territoire doit systématiquement prendre en compte la recharge des nappes. La préservation des zones proches des cours d'eau est nécessaire à la rétention et à l'infiltration de l'eau ainsi qu'à l'atténuation des apports de substances polluantes. L'approvisionnement en eau potable doit être planifié de manière à préserver et à sécuriser suffisamment tôt les surfaces contributives. En cas de conflit d'utilisation, une pesée des intérêts doit être menée avec une priorisation en faveur de l'approvisionnement en eau potable.

Des modèles numériques permettent de simuler différents scénarios afin d'évaluer la vulnérabilité des aquifères lors de futures sécheresses.¹⁷ Les analyses basées sur des modèles sont indispensables pour une gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du bassin versant, car elles permettent de tester et d'optimiser au préalable des mesures combinées de recharge et de rétention proches des conditions naturelles.

Suivi national de la sécheresse

Mis en service en 2025, le système de détection précoce et d'alerte informe sur les risques de sécheresse en Suisse. La plateforme associée (secheresse.admin.ch) fournit des données météorologiques, hydrologiques et satellitaires ainsi que des prévisions issues de modèles. Cela permet

aux autorités, aux différents secteurs et à la population d'identifier à temps les périodes de sécheresse imminentes et de prendre des mesures. Les utilisateurs peuvent sélectionner des stations de mesure sur la carte interactive et afficher les séries chronologiques.

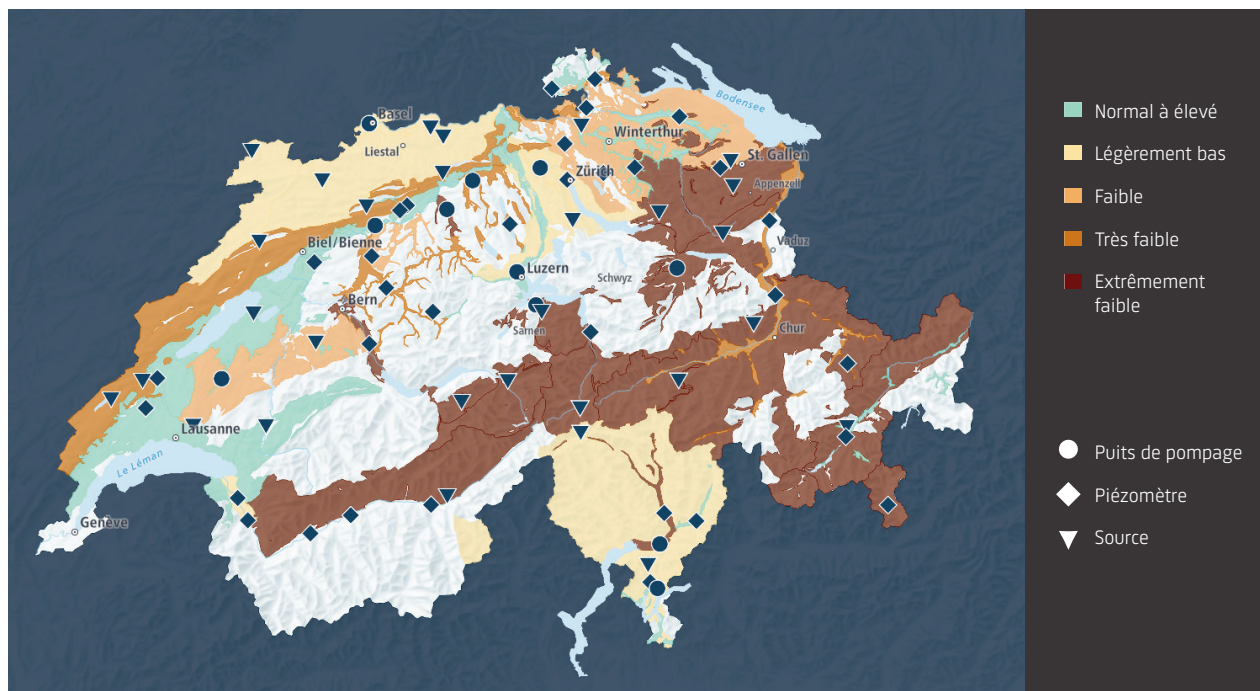


Illustration 2 : Niveaux des eaux souterraines et débits des sources en Suisse le 9 août 2026. Source : OFEV, secheresse.admin.ch

Gouvernance et perspectives d'avenir

Les défis liés aux eaux souterraines et à la sécheresse exigent une action coordonnée au niveau du bassin versant : Cela nécessite une collaboration entre la Confédération, les cantons, les communes et les groupes d'utilisateurs. La loi fédérale sur la protection des eaux fournit les bases légales pour la protection des rivières, des lacs et des eaux souterraines contre la pollution et la surexploitation. Elle définit les modalités d'utilisation et de protection des eaux afin de préserver une quantité suffisante d'eau propre. Face aux sécheresses croissantes, la préservation durable des ressources revêt une importance particulière.

Les expériences récentes montrent que la sécheresse n'est plus un phénomène exceptionnel, mais un défi récurrent qui exige une réponse structurelle. Plusieurs cantons ont ainsi élaboré des stratégies en matière d'eau (p.ex. Saint-Gall ou Thurgovie) ou sont actuellement en train d'en formuler une. La Confédération élabore quant à elle une stratégie nationale de gestion de l'eau. Ces stratégies visent à identifier à un stade précoce les conflits d'utilisation, à définir les priorités en toute transparence et à garantir la sécurité d'approvisionnement à long terme. L'accent est mis à la fois

sur des mesures préventives – renforcement de la recharge, amélioration des bases de données ou développement de réseaux régionaux interconnectés – et sur des processus clairs en cas de pénurie aiguë. De plus, des investissements sont réalisés dans la surveillance, la modélisation et la détection précoce afin d'anticiper les évolutions et pouvoir réagir à temps. La collaboration étroite entre la Confédération, les cantons, les communes, les distributeurs d'eau, le secteur agricole et d'autres groupes d'utilisateurs constitue la base de solutions viables.

Chaque sécheresse présente des caractéristiques différentes. Selon sa durée et le moment où elle survient, elle impacte des acteurs différents. Il faut donc prévoir, d'une part une gestion des urgences à court terme et, d'autre part, une stratégie de gestion de l'eau à long terme. Pour gérer les situations d'urgence, le canton peut mettre en place une cellule de crise regroupant la protection civile, la police, les services forestiers, la pêche, la protection des eaux, l'agriculture, la santé et la communication. Une approche intégrative et interdisciplinaire est essentielle : la politique de l'eau ne peut réussir que si elle est intégrée dans celles de l'agriculture, de l'aménagement du territoire, de la protection de la nature et de la sécurisation de l'approvisionnement.

ment en eau potable. Il convient également de sensibiliser davantage le grand public à la valeur de l'eau souterraine comme ressource vitale. A long terme, il sera indispensable

de préserver la capacité de stockage naturelle des sols. Il s'agira de renforcer activement la résilience avant que des crises aiguës ne surviennent.

L'essentiel en bref

- Environ 80 % de l'eau potable suisse provient des eaux souterraines.
- Avec le changement climatique, les périodes chaudes et sèches se multiplient. La baisse du niveau des nappes entraîne des conflits d'utilisation et des pressions écologiques.
- La surexploitation ou la pollution nuisent à long terme aux nappes. Il est donc essentiel d'agir de manière préventive.
- Les données constituent la base d'une gestion raisonnée des ressources. Les prélèvements, l'irrigation, les niveaux des nappes et la qualité doivent être systématiquement enregistrés et analysés.
- La désimperméabilisation, la renaturation, les mesures de rétention proches de l'état naturel et une exploitation respectueuse des sols favorisent la reconstitution des nappes.
- La gestion des ressources en eau doit faire l'objet d'une planification intégrée au niveau des bassins versants. Cela nécessite une collaboration entre la Confédération, les cantons, les communes et les groupes d'utilisateurs.
- La gestion des urgences à court terme en cas de pénurie et la planification stratégique de l'eau à long terme sont complémentaires.
- La sécheresse n'est plus une exception. Pour renforcer la résilience des nappes, une gestion durable de l'eau est nécessaire.
- Des informations accessibles à tous sensibilisent le grand public et les groupes d'utilisateurs spécifiques à la question des eaux souterraines et favorisent une utilisation responsable et leur protection.

ODD : les objectifs internationaux de développement durable des Nations unies

Avec cette publication, l'Académie suisse des sciences naturelles contribue aux ODD 6, 12 et 15 :

« Eau propre et assainissement », « Consommation et production responsables » et « Vie terrestre ».

> sustainabledevelopment.un.org
> agenda-2030.eda.admin.ch



1-17 Les références bibliographiques se trouvent sur la version en ligne de la fiche d'informations sur scnat.ch/fr/id/v3Bg6

MENTIONS LÉGALES

ÉDITRICE ET CONTACT

Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT)
Société suisse d'hydrogéologie (SSH)
Maison des Académies · Laupenstrasse 7 · Case postale · 3001 Berne · Suisse
adrian.auckenthaler@bl.ch · marti@hydrosolutions.ch · christian.moeck@eawag.ch · hydrogeo.ch ·  SCNAT

PROPOSITION DE CITATION

Auckenthaler A, Marti B, Moeck C et al. (2026) Protéger les eaux souterraines suisses contre la sécheresse. Swiss Academies Factsheets 21 (4)

AUTEURS ET AUTEURS

Adrian Auckenthaler (Canton de Bâle-Campagne et SSH) · Raoul Collenteur (Eawag) · Christian Gmünder (Simultec AG) · Lorenz Gudenfels (Holinger AG) · Joaquin Jimenez-Martinez (EPFZ et Eawag) · Beatrice Marti (hydrosolutions GmbH) · Christian Moeck (Eawag et CH-GNet) · Oliver Schilling (Université de Bâle) · Lina Tyroller (Canton de Turgovie) · Jana von Freyberg (OFEV)

REVIEW

Wolfgang Kinzelbach (ém. EPFZ) · Massimiliano Zappa (WSL) · Martin Bärtschi (SVGW) · Antonia Eichelberg (SVGW) · Jodok Guntern (Forum Biodiversité, SCNAT) · Dorothea Hug Peter (Forum Biodiversité, SCNAT)

RÉDACTION

Marcel Falk (SCNAT) · Caroline Reymond (SCNAT)

TRADUCTION

Eric Di Gioia (CSD Ingénieurs SA) · Caroline Reymond · Romain Sonney (Canton du Valais)

MISE EN PAGE

Olivia Zwygart (SCNAT)

PHOTO DE COUVERTURE

Adrian Auckenthaler

ISSN (imprimé): 2297-1602

ISSN (en ligne): 2297-1610

DOI: doi.org/10.5281/zenodo.22193817



creativecommons.org/by/4.0

Cette publication est publiée sous licence CC BY 4.0.

Bibliographie

- 1 OFEFP (2024) Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines. L'environnement pratique. Berne, p. 141.
- 2 Knüsel M, Alther R, Locher N, Ozgul A, Fišer C, Altermatt F (2024) Systematic and highly resolved modeling of biodiversity in inherently rare groundwater amphipods. *Journal of Biogeography* 51: 2094–2108.
- 3 Résultats statistiques des distributeurs d'eau en Suisse. Année de l'exercice 2019. Association Suisse pour l'eau, le gaz et la chaleur, p. 80.
- 4 Sinreich M, Kozel R, Lützenkirchen V, Matousek F, Jeannin PY, Löw S, Stauffer F (2012) Grundwasserressourcen der Schweiz – Abschätzung von Kennwerten. *Aqua & Gas* 9.
- 5 Hunkeler D, Moeck C, Kaeser D, Brunner P (2014) Klimaeinflüsse auf Grundwassermengen. *Aqua & Gas* 11, 42–49.
- 6 Meyer R, Schädler B, Viviroli D, Weingartner R (2011) Die Rolle des Basisabflusses bei der Modellierung von Niedrigwasserprozessen in Klimaimpaktstudien. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 55 (5), 244–257.
- 7 Hunkeler D, Malard A, Arnoux M, Jeannin P, Brunner P (2021) Effect of Climate Change on Groundwater Quantity and Quality in Switzerland. Hydro-CH2018 Project. Commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN), Bern, Switzerland. 80 pp.
- 8 Moeck C, Schulz S (2025) Eine Übersicht über die Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser in Deutschland und der Schweiz. *Grundwasser*, 30 (3), 195–210.
- 9 Schmocker-Fackel P et al. (2021) Effets des changements climatiques sur les eaux suisses. Office fédéral de l'environnement OFEV.
- 10 MétéoSuisse (2026) Indicateurs climatiques. <https://www.meteosuisse.admin.ch/climat/bases-de-l-analyse-climatique-donnees-et-methodes/indicateurs-climatiques.html>
- 11 Jutglar K, Hellwig J, Stoele M, Lange J (2021) Post-drought increase in regional-scale groundwater nitrate in southwest Germany. *Hydrol. Process.* 35(8)
- 12 EBP (2023) Trockenheit im Sommer 2022. Befragung der kantonalen Gewässerschutz- und Fischereifachstellen zu Auswirkungen und Massnahmen. <https://www.bafu.admin.ch/dam/de/sd-web/-pD-J0G2XzEk7/trockenheit-im-sommer-2022-befragung-der-kantonalen-gewaesserschutz-und-fischereifachstellen-zu-auswirkungen-und-massnahmen.pdf>
- 13 Mammola S, Cardoso P, Culver DC, Deharveng L, Ferreira RL, Fišer C, Galassi DMP, Griebler C, Halse S, Humphreys WF, Isaia M, Malard F, Martinez A, Moldovan OT, Niemiller ML, Pavlek M, Reboleira AS, Souza-Silva M, Teeling EC, Wynne JJ, Zigmajster M (2019) Scientists' Warning on the Conservation of Subterranean Ecosystems, *BioScience*, Volume 69, Issue 8, Pages 641–650. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz064>
- 14 OFEV (2019) État et évolution des eaux souterraines en Suisse. Résultats de l'Observation nationale des eaux souterraines NAQUA, état 2016. Office fédéral de l'environnement, Berne. État de l'environnement Nr. 1901: p. 138.
- 15 Ragettli S, Marti B, Siegfried T (2025) Satellitenfernerkundung zur Erfassung bewässerter Flächen und Bewässerungsmengen in der Schweiz – Validierung und methodische Weiterentwicklung am Beispiel des Biberts im Kanton Schaffhausen. hydrosolutions GmbH, Zürich. <https://www.bafu.admin.ch/dam/de/sd-web/J199VXGEbl7S/satellitenfernerkundung-bewaesserte-flaechen.pdf>
- 16 Bullock A, Acreman M (2003) The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7 (3), 358–389.
- 17 Moeck C, Brunner P, Hunkeler D (2016) The influence of model structure on groundwater recharge rates in climate-change impact studies. *Hydrogeology Journal* 24, 1171–1184.