



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

National Centre for Climate Services NCCS
Office fédéral de l'environnement OFEV

Scénarios hydrologiques Hydro-CH2018

Eaux suisses et changements climatiques



IMPRESSUM

Direction de projet
Office fédéral de l'environnement OFEV

Groupe de projet
Petra Schmocker-Fackel (direction de projet), Fabia Hüsler, Carlo Scapozza (présidence), Michael Sinreich, Roland Hohmann, Sabine Kleppek, Bänz Lundsgaard-Hansen, Adrian Jakob, Carolin Schärpf, Olivier Overney † (Office fédéral de l'environnement OFEV), Andreas Fischer (MétéoSuisse), Irene Roth, Jan Béguin (Office fédéral de l'agriculture OFAG)

Conception et textes
Petra Schmocker-Fackel, Fabia Hüsler, Edith Oosenbrug (OFEV); Jörg Schmill, Jean-Luc Perret (Sinnform AG); Klaus Lanz (international water affairs); Rolf Weingartner (ecosfera sàrl)

Graphisme
Roland Ryser (zeichenfabrik.ch), Kuno Strassmann (kun-st.ch)

Remerciements
L'éditeur remercie tous les experts pour leurs contributions techniques et leurs précieux commentaires.

Référence bibliographique
NCCS (éditeur) 2021 : Eaux suisses et changements climatiques. National Centre for Climate Services, Zurich. 28 p. ISBN 978-3-9525413-2-6

Éditeur
National Centre for Climate Services (NCCS)
c/o Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse
Operation Center 1, Case postale 257
CH-8058 Zurich-Aéroport
www.nccs.ch

Commande de la version imprimée et téléchargement au format PDF
OFCL, Vente des publications fédérales, CH-3003 Berne
www.publicationsfederales.admin.ch
N° d'art. 810.400.140F
www.nccs.admin.ch/hydro_brochure_fr

Impression neutre en carbone et faible en COV sur papier recyclé.
Cette publication est également disponible en allemand, en italien et en anglais.
La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2021

PROTÉGER LE CLIMAT,
C'EST PROTÉGER LES EAUX

Avec ses cours d'eau, ses lacs, ses eaux souterraines, ses glaciers et ses montagnes enneigées, la Suisse est l'un des pays européens les plus riches en eau. Cela dit, elle soumet une grande partie de ses terres à une exploitation intensive et cela vaut en particulier pour l'utilisation de ses eaux. Ces dernières sont sous pression, car elles subissent à la fois les prélèvements, les apports de polluants ainsi que l'assèchement et les aménagements, éléments auxquels s'ajoutent, depuis quelques décennies, les changements climatiques.



Quelles sont les conséquences des changements climatiques sur nos eaux et notre gestion des eaux ? C'est la question qui a été traitée dans le thème prioritaire « Hydro-CH2018 : Bases hydrologiques pour le changement climatique » du National Centre for Climate Services (NCCS). Le projet décrit en détail les modifications du régime des eaux suisses auxquelles il faut s'attendre d'ici à la fin du siècle et les effets qui en découlent. La présente brochure synthétise les résultats.

Le projet Hydro-CH2018, auquel ont participé de grandes institutions de recherche du pays, montre sans équivoque que les modifications, déjà observées, du régime des eaux helvétiques liées au climat s'accroîtront à l'avenir.

Il est essentiel de disposer d'une politique climatique efficace pour les eaux. En effet, en l'absence de mesures mondiales de protection du climat, les cours d'eau du Plateau pourraient se réchauffer de quelque 5,5 °C en été d'ici à la fin du siècle et leur débit, diminuer de moitié environ. Ce scénario représente un défi énorme pour la nature, la société et l'économie, d'autant plus que les sollicitations en matière d'eau ne font qu'augmenter, que ce soit pour le refroidissement, l'irrigation, l'utilisation thermique ou la production d'électricité.

La société et l'économie doivent s'adapter aux nouvelles conditions climatiques tout en tenant compte de la nature. Le succès de cette adaptation aux changements climatiques dépend de la résilience des eaux qui pourrait, dans une certaine mesure, atténuer l'ampleur des défis à venir.

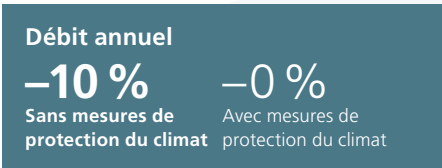
Pour réussir, il est primordial d'appliquer de manière cohérente les prescriptions relatives à la protection des eaux en vigueur, et ce dans tous les domaines. Les changements climatiques mettent toutes nos interventions à l'épreuve : les prélèvements d'eau, les apports de polluants et les mesures touchant à la construction. Les eaux suisses de demain dépendent de nos actions d'aujourd'hui.

Katrin Schneeberger, directrice de l'OFEV

National Center for Climate Services NCCS
Le NCCS est le réseau de la Confédération dédié aux services climatiques. Cet organe national de coordination et d'innovation est une plaque tournante du savoir qui soutient les processus décisionnels respectueux du climat en vue de réduire les risques au minimum, de maximiser les opportunités et d'optimiser les coûts.

LES EAUX À LA FIN DU SIÈCLE

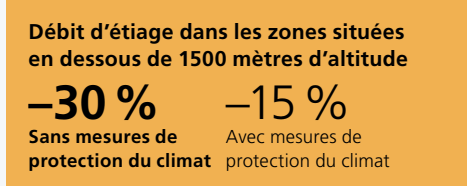
Les changements climatiques ont d'importantes conséquences sur la disponibilité de l'eau au cours du cycle annuel. Les scénarios hydrologiques Hydro-CH2018 montrent que cette ressource essentielle sera, à certaines périodes et dans certaines régions, disponible dans des quantités si faibles et à des températures si élevées que l'être humain devra faire face à des restrictions et que la nature souffrira. Avec des mesures de protection du climat, les modifications seront bien moindres : il vaut donc la peine de protéger le climat. Une protection des eaux adéquate ainsi qu'une planification et une gestion prudentes des eaux permettent de mieux répondre aux défis qui se présentent.



ÉVOLUTION DES DÉBITS DES EAUX

Comme les températures augmentent, la neige et les glaciers perdront progressivement en importance dans leur rôle de réservoirs d'eau. La distribution saisonnière des débits s'en verra modifiée : à l'avenir, les cours d'eau charrieront davantage d'eau l'hiver et moins l'été. Par ailleurs, on assistera à une augmentation du renouvellement des eaux souterraines en hiver, mais à une diminution de ce renouvellement en été et en automne. La baisse du débit annuel ne sera cependant que très faible.

→ Page 10



PÉNURIES D'EAU ESTIVALES

Les cours d'eau charrieront moins d'eau en été, du fait de la diminution des quantités d'eau de fonte et du recul des précipitations ainsi que d'une augmentation à la fois de la fréquence et de la durée des périodes de sécheresse. De plus, l'évapotranspiration augmentera, ce qui entraînera une baisse des quantités d'eau disponibles en été. À l'inverse, les besoins en eau de la nature et de la société augmenteront.

→ Page 12

RESPECT DES LIMITES D'UTILISATION

Par temps chaud, la nature nécessite davantage d'eau. Les utilisations des eaux doivent s'adapter à ces besoins naturels accrus, sous peine de nuire aux écosystèmes. Il faut par ailleurs définir des priorités quant aux différentes utilisations pendant les périodes où l'eau se fait rare. Il convient de réfléchir sur le long terme, car les ouvrages hydrauliques et les concessions d'utilisation s'établissent sur des décennies.

→ Page 18



HAUSSE DU POTENTIEL DE DANGER

L'accroissement de la fréquence et de l'intensité des fortes précipitations combiné à l'élévation de l'isotherme du zéro degré accentuera les crues, les glissements de terrain et les inondations. Dans les régions de haute altitude, les glaciers s'amenuiseront et le sous-sol fondra progressivement. Il s'ensuit que des événements tels que les chutes de pierres, les glissements de terrain et les laves torrentielles deviendront plus probables.

→ Page 14

PRÉPARER LES EAUX AUX CHANGEMENTS

Les eaux écologiquement intactes et proches de leur état naturel sont plus aptes à répondre aux défis posés par les changements climatiques. C'est pourquoi il faut conserver ou restaurer l'état naturel des ruisseaux, des fleuves et des rivières, des lacs et des eaux souterraines. Il est par ailleurs nécessaire de mieux protéger encore les ressources en eau contre les prélèvements excessifs et les polluants.

→ Page 22



LA VIE AQUATIQUE EN DIFFICULTÉ

Les changements climatiques engendreront une augmentation de la température des eaux. En été en particulier, lorsque les niveaux d'eau sont bas, les répercussions sur la faune et la flore ainsi que sur les eaux pourront être considérables.

→ Page 16

Le processus d'élaboration des scénarios hydrologiques → Page 24

Nécessité de mesures de protection du climat cohérentes pour les eaux.

La vue d'ensemble présente les valeurs moyennes des évolutions attendues pour les années 2070 à 2099 par rapport à la période de référence, allant de 1981 à 2010, respectivement avec et sans mesures de protection du climat. Il s'agit de valeurs moyennes pour l'ensemble de la Suisse.

TOUJOURS EN MOUVEMENT

La Suisse est l'un des pays européens les plus riches en eau. En raison de la présence des Alpes et de sa proximité avec l'Atlantique et la Méditerranée, elle reçoit davantage de précipitations. Elle jouit par ailleurs d'importants réservoirs d'eau sous la forme de lacs, d'eaux souterraines, de glaciers et de neige.

CYCLE DE L'EAU

La circulation de l'eau s'inscrit dans un cycle mondial. Les nuages la distribuent sous forme de pluie ou de neige à la surface de la Terre. Cette eau s'infiltre dans les sols et les eaux souterraines, ou s'évapore, jaillit de sources, coule dans des ruisseaux, rivières, fleuves et lacs et se jette dans les mers et les océans, d'où elle retourne dans l'atmosphère.

Ce cycle de l'eau s'intensifiera sous l'effet de l'augmentation de la température mondiale.

FONTE DES NEIGES * 350 mm par an

Lorsque les températures sont basses, les précipitations tombent sous forme neigeuse. L'eau est alors stockée plusieurs semaines ou mois dans le manteau neigeux. Au printemps et en été, la neige de l'hiver précèdent fond et vient gonfler les ruisseaux et rivières alpins.

En raison des changements climatiques, la contribution de la fonte des neiges diminuera fortement.
en hiver -15 | au printemps -54 | en été -76 | en automne -20
-165 sur l'année (en mm)

* La fonte des neiges fait partie des précipitations.

PRÉCIPITATIONS 1440 mm par an

Les précipitations sont importantes en Suisse, surtout en montagne. Les vents dominants poussent les nuages de l'Atlantique et de la Méditerranée en direction des Alpes, où ceux-ci, en refroidissant, forment de la pluie.

En raison des changements climatiques, les précipitations augmenteront en hiver et diminueront en été. Elles se produiront de plus en plus sous forme pluvieuse plutôt que neigeuse.
en hiver +37 | au printemps +21 | en été -70 | en automne -18
-30 sur l'année (en mm)

Lacs d'accumulation
Volume utilisable durablement
3,5 km³/an

FONTE DES GLACIERS 10 mm par an

Les glaciers peuvent stocker les précipitations pendant des décennies. En hiver, ils grandissent avant tout dans les régions situées en altitude. En été et en automne, la glace fond à plus basse altitude.

En raison des changements climatiques, les glaciers fourniront de moins en moins d'eau de fonte. La plupart disparaîtra même entièrement :
en hiver +0 | au printemps +0 | en été -5 | en automne -2
-7 sur l'année (en mm)

ÉVAPOTRANSPIRATION 460 mm par an

La surface terrestre, qui relie l'atmosphère et les eaux, revêt une importance centrale dans le cycle de l'eau. En Suisse, un tiers des précipitations totales s'évapore, par les sols, par la surface des eaux et par les plantes.

Les changements climatiques accentueront l'évapotranspiration à toutes les saisons :
en hiver +16 | au printemps +25 | en été +2 | en automne +6
+49 sur l'année (en mm)

DÉBITS 990 mm par an

Les débits des ruisseaux, rivières et fleuves proviennent des précipitations, de l'eau de fonte et des eaux souterraines. Seule une partie des précipitations s'écoule en surface. Le reste s'infiltre dans le sol ou dans les eaux souterraines, ou est stocké sous forme de neige ou encore de glace dans un glacier. Ce stockage intermédiaire permet à la plupart des cours d'eau de charrier de l'eau également durant les périodes sans précipitations.

Les changements climatiques modifieront les variations saisonnières des débits.
en hiver +59 | au printemps +10 | en été -116 | en automne -38
-85 sur l'année (en mm)

Lacs
Volume total 130 km³
Volume utilisable durablement
environ 2 km³/an

DÉBITS mm par an :

Somme annuelle en millimètres de colonne d'eau pour la période de référence allant de 1981 à 2010

Hiver/printemps/été/automne/sur l'année : hausse et baisse en millimètres de colonne d'eau par saison ou par an pour la période allant de 2070 à 2099 sans mesures de protection du climat (RCP8.5) par rapport à la période de référence.

Les valeurs en millimètres se rapportent à la Suisse hydrologique (ensemble comprenant la Suisse ainsi que les régions des pays limitrophes dont les cours d'eau se déversent sur le territoire suisse). Dix millimètres de colonne d'eau correspond à un volume du lac de Morat.

Les données en kilomètres cubes se rapportent à la Suisse politique, volumes totaux des lacs frontaliers inclus.

VOLUME DE TOUS LES RÉSERVOIRS D'EAU UTILISABLE DURABLEMENT
23,5 km³/an

Les eaux souterraines constituent le plus grand réservoir d'eau utilisable en Suisse. Les lacs naturels et artificiels contiennent également des quantités importantes. L'être humain utilise cette eau, mais uniquement dans des proportions permettant aux niveaux d'eau de se régénérer régulièrement. S'il prélève des volumes trop importants dans les lacs et les eaux souterraines, les zones humides peuvent s'assécher ou les cours d'eau, charrier trop peu d'eau. Le niveau d'eau des lacs d'accumulation est déterminé par l'exploitation. Presque tout le volume de stockage est utilisable.

Les changements climatiques influencent le remplissage des réservoirs durant l'année.

Eaux souterraines

Volume total 150 km³
Volume utilisable durablement
environ 18 km³/an

SIGNES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

En Suisse, les températures moyennes de l'air ont augmenté d'environ 2 °C entre 1864 et aujourd'hui. Ce réchauffement mesurable influence le régime des eaux de nombreuses façons.



Précipitations

Les quantités de précipitations annuelles ont peu évolué en Suisse depuis le début des mesures en 1864. Si les précipitations hivernales ont augmenté dans de nombreuses régions, les précipitations estivales ont diminué. Toutefois, cette évolution saisonnière n'est pour l'instant statistiquement significative que pour le Plateau et le Jura (précipitations hivernales). Par ailleurs, depuis le début du XX^e siècle, la fréquence et l'intensité des fortes précipitations ont augmenté.



Neige

Du fait du réchauffement, l'isotherme du zéro degré en hiver grimpe depuis des décennies. Il a déjà enregistré une hausse de 400 m depuis 1960. C'est pourquoi les précipitations hivernales tombent plus souvent sous forme pluvieuse que sous forme neigeuse. Depuis 1970, le nombre de jours avec chutes de neige a diminué de moitié dans les régions de basse altitude (à moins de 800 m) et de 20 % au-dessus de 2000 m.



Débits

Les débits d'eau annuels n'ont presque pas changé au cours des 100 dernières années. Cependant, dans de nombreuses régions, les débits hivernaux ont augmenté et les débits estivaux, diminué.



Crues

Les précipitations violentes gonflent les cours d'eau et engendrent des crues et des inondations. Lorsque les fortes pluies s'infiltreront trop lentement dans les sols, l'eau peut s'écouler en surface, voire créer des inondations dans les zones éloignées des eaux. Par le passé, la Suisse a oscillé entre des phases avec beaucoup et d'autres avec peu de fortes précipitations et de crues. Depuis les années 1970, on observe une augmentation à la fois de la fréquence et de l'intensité des crues, phénomène dont les changements climatiques sont probablement l'une des causes.

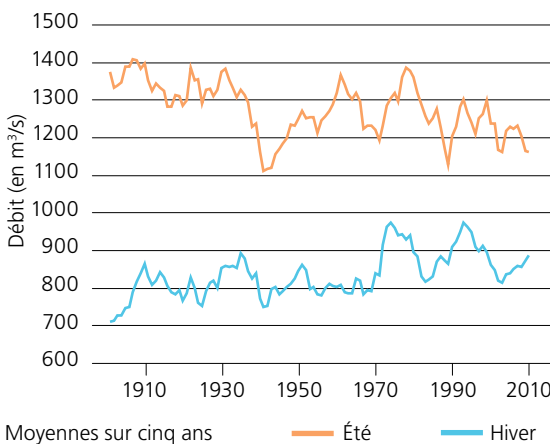


Faibles niveaux d'eau

Depuis 2000, la Suisse souffre plus souvent de phases de sécheresse durant plusieurs semaines, en particulier l'été. En 2018 par exemple, les pluies ont été inférieures d'un tiers aux valeurs usuelles entre avril et septembre. Les niveaux des cours d'eau, des lacs et des eaux souterraines ont diminué. L'eau s'est raréfiée dans certaines localités.

Débit du Rhin

Le graphique représente les moyennes des débits sur cinq ans pour la station de mesure de Bâle. Le débit estival et le débit hivernal évoluent de manière opposée.



Glaciers

Depuis 1850, les glaciers ont déjà perdu plus de la moitié de leur volume. En raison du réchauffement croissant, la quantité de masse glaciaire fondant au cours de la saison estivale est beaucoup plus importante que celle qui se forme en hiver. De plus, la fonte des glaces démarre toujours plus tôt dans l'année.



Pergélisol

À plus de 2500 m d'altitude, certaines parties du sous-sol restent gelées toute l'année. La teneur en glace du sol a considérablement baissé en raison du réchauffement.



Température de l'eau

Les cours d'eau et les lacs se sont fortement réchauffés au cours des dernières décennies. Depuis 1970, les températures moyennes des eaux dans les rivières, fleuves et ruisseaux suisses ont grimpé de plus d'un degré.

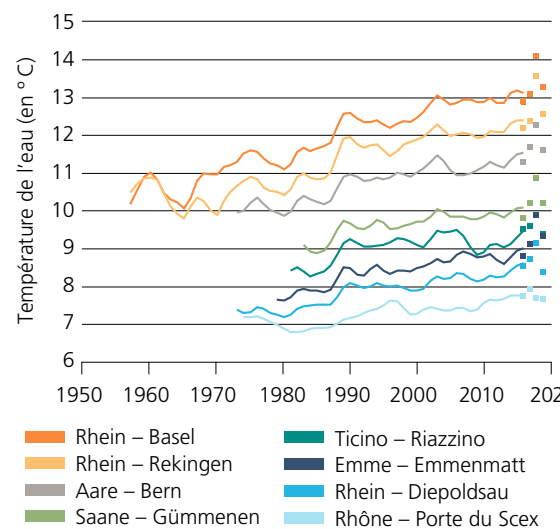


Eaux souterraines

Les eaux souterraines proches de la surface se sont déjà légèrement réchauffées à de multiples endroits. Durant de longues périodes de sécheresse, les quantités d'eaux souterraines disponibles dans certains captages de sources et puits de pompage ont connu un très net recul. Les eaux souterraines situées en profondeur ne sont pour l'instant presque pas concernées par les changements climatiques.

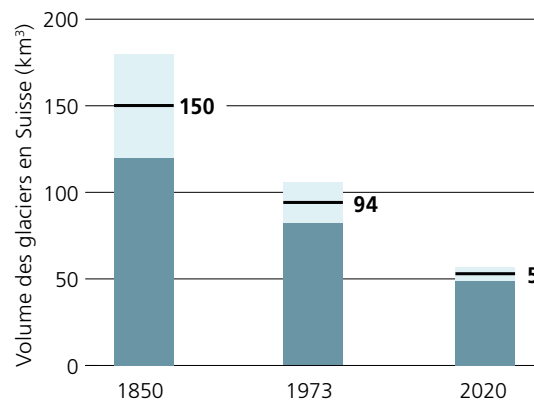
Température des cours d'eau

Sur la base de quelques exemples, le graphique montre que la température moyenne annuelle des cours d'eau suisses a considérablement augmenté durant les dernières décennies. Les lignes représentent les moyennes lissées sur sept ans, les points les quatre dernières moyennes annuelles.



Volumes des glaciers

Le graphique montre que la quantité totale de glace des glaciers suisses a considérablement diminué depuis 1850. Les surfaces claires représentent la marge d'incertitude.



Source : Réseau des relevés glaciologiques suisse GLAMOS

Les changements climatiques influencent déjà considérablement les débits et les ressources en eau.

ÉVOLUTION DES DÉBITS DES EAUX

La contribution de l'eau provenant de la fonte de la neige et de la glace aux débits continuera de baisser, entraînant une modification de la distribution saisonnière. À l'avenir, les eaux helvétiques charrieront davantage d'eau l'hiver et moins l'été. Cependant, la quantité annuelle ne diminuera que très peu.

Les changements climatiques ont un double effet sur le régime des eaux. D'une part, ils modifient la distribution saisonnière des précipitations et, d'autre part, ils font grimper la température de l'air. Les scénarios climatiques montrent que les précipitations augmenteront en hiver et diminueront en été. L'évaporation est en hausse à toutes les saisons.

En hiver, en raison du réchauffement, les précipitations tomberont plus souvent sous forme de pluie, même à haute altitude, et s'écouleront plus rapidement. La neige recouvrira une surface moindre du pays. De plus, le manteau neigeux se formera plus tard dans l'année et fondra plus tôt. Par conséquent, les débits et le renouvellement des eaux souterraines connaîtront une augmentation au cours des mois d'hiver. À l'inverse, l'eau de fonte viendra à manquer au printemps et en été.

En été, les températures élevées engendreront une fonte plus rapide des glaciers. Les eaux qui s'alimentent à partir de ces glaciers gagneront donc en volume. Ce phénomène est cependant temporaire, car la quantité d'eau de fonte diminue aujourd'hui déjà

dans les petits glaciers, et les glaciers de grande taille connaîtront un destin similaire au plus tard à partir de 2050.

Toutes ces évolutions entraîneront à l'avenir une augmentation quasi systématique des quantités d'eau charriées par les cours d'eau en hiver. Si aucune mesure de protection du climat n'est arrêtée, les débits hivernaux augmenteront de 10 à 50 % d'ici à la fin du siècle. À l'inverse, les débits estivaux et automnaux diminueront de 30 à 50 % par rapport à aujourd'hui.

L'évolution saisonnière des affluents aura également des répercussions sur les niveaux d'eau des lacs. Les débits annuels totaux devraient cependant afficher un recul estimé à 10 % environ.

La dynamique saisonnière des eaux souterraines et des débits des sources évoluera elle aussi : les phases hautes et les phases basses deviendront plus marquées. Les niveaux des eaux et les débits seront plus élevés en hiver et plus faibles en été. La gestion des eaux devra s'adapter à ces nouvelles conditions.

	Avec mesures de protection du climat Fin du siècle	Sans mesures de protection du climat Fin du siècle
Débit lié à la fonte des neiges	-0 à -30 %	-30 à -60 %
Débit hivernal	+0 à +20 %	+10 à +50 %
Débit annuel	-5 à +5 %	-0 à -20 %

Changements attendus pour 2070–2099 par rapport à 1981–2010 (plage des valeurs possibles sur l'ensemble des simulations)
Valeurs moyennes sur 30 ans pour l'ensemble de la Suisse avec une précision de 5%.

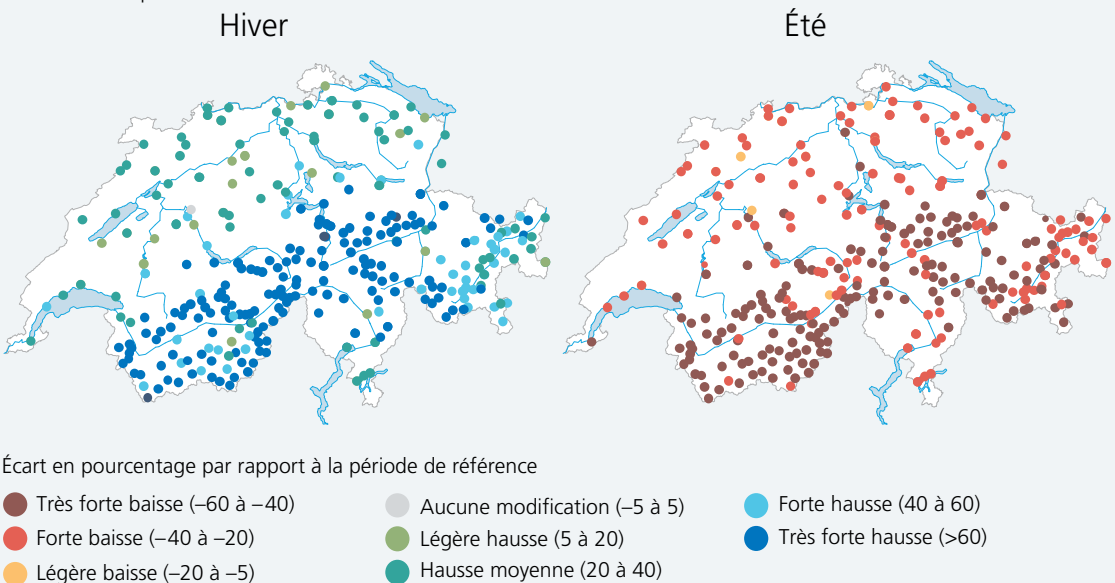


« En Suisse, presque 60 % de l'électricité provient des centrales hydroélectriques. Les centrales situées au bord de grands cours d'eau pourront produire davantage de courant en hiver, mais moins en été, ce qui est avantageux, car la consommation d'énergie est particulièrement élevée en hiver. Cependant, du fait de la disparition des glaciers et du léger recul des débits annuels, l'eau sera globalement disponible en moindre quantité pour la production d'électricité. »

Maja, ingénieure dans une centrale

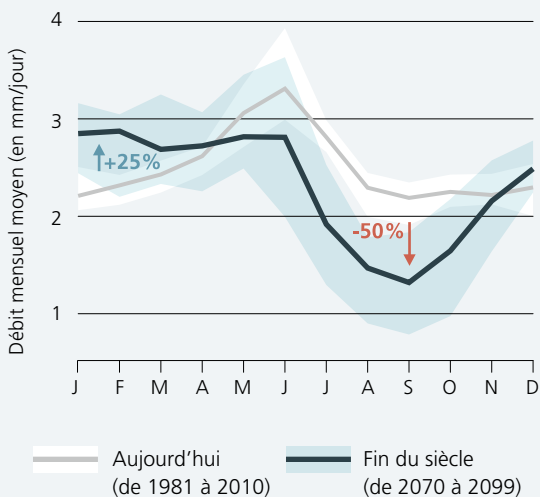
Évolutions attendues des débits

Les cartes montrent les modifications probables des débits saisonniers pour différents bassins versants d'ici à la fin du siècle (de 2070 à 2099) par rapport à la période de référence (de 1981 à 2010) si aucune mesure de protection du climat n'est prise.



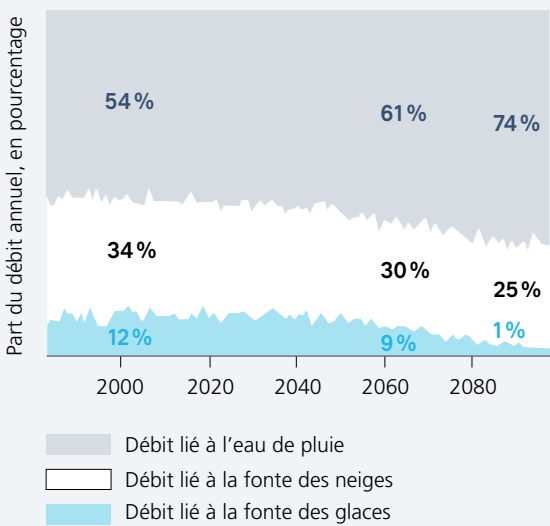
Évolution du Rhin en cours d'année

Les flèches illustrent comment les débits mensuels moyens du Rhin à Bâle évolueront d'ici à la fin du siècle si aucune mesure de protection du climat n'est prise. La surface de couleur claire représente la plage des modélisations.



Provenance des eaux de la Kander

Le graphique montre l'évolution de la répartition des eaux selon leur provenance – précipitations, eau issue de la fonte des neiges et des glaciers – dans le débit de la Kander si aucune mesure de protection du climat n'est prise. La part d'eaux pluviales croît considérablement, passant de 54 % à 74 %.



La neige et les glaciers perdront progressivement en importance dans le régime des eaux suisses.

PÉNURIES D'EAU ESTIVALES

En été, les fleuves, rivières et ruisseaux charrieront une quantité d'eau plus faible à l'avenir. De plus, les périodes de sécheresse seront plus fréquentes et dureront plus longtemps. Pendant ces événements extrêmes, certaines régions pourront connaître des pénuries d'eau temporaires.



« Les changements climatiques accentuent le phénomène de sécheresse et constituent ainsi une menace pour nos récoltes. Quand il fait chaud, les végétaux nécessitent davantage d'eau pour pousser, mais je n'ai pas le droit d'arroser plus, car l'eau est disponible en quantité limitée dans notre région en été. À l'avenir, je devrai donc revoir mes cultures et choisir des variétés qui résistent mieux à la chaleur et à la sécheresse. Je veille aujourd'hui déjà à économiser l'eau lors de l'arrosage. »

Simon, agriculteur

Globalement, les scénarios hydrologiques montrent que les niveaux d'eau en été et en automne diminueront nettement, non seulement pour les eaux de surface, mais aussi pour les eaux souterraines. Toutes les altitudes et toutes les régions seront concernées par cette évolution, mais les Alpes et les Préalpes seront les plus touchées. Si aucune mesure de protection du climat n'est mise en œuvre, les débits estivaux diminueront en moyenne de 30 % à 50 % d'ici à la fin du siècle, voire jusqu'à 60 % dans les ruisseaux glaciaires actuels.

Par ailleurs, les périodes de sécheresse et les vagues de chaleur estivales seront plus fréquentes et plus longues. Sans mesure de protection du climat, les débits d'étiage connaîtront un recul de l'ordre de 30 % en été d'ici à la fin du siècle dans les régions situées à moins de 1500 m d'altitude.

Ainsi, les sources, les zones humides, les ruisseaux et les rivières de petite taille risquent de s'assécher plus souvent durant les périodes pauvres en pluie. De plus, la vie aquatique dans et aux abords des eaux se verra plus fréquemment menacée par les faibles profondeurs et les températures élevées. Il faut s'attendre à un assèchement complet des ruisseaux

et des rivières pendant les périodes de sécheresse estivale avant tout pour les cours d'eau de taille petite ou moyenne ainsi que dans les régions karstiques telles que le Jura.

Les quantités d'eau utilisables diminueront en été en raison des changements climatiques. Si, en parallèle, l'eau des cours d'eau et des eaux souterraines est davantage exploitée pour l'irrigation en agriculture ou pour le refroidissement dans le secteur industriel, certaines régions pourraient faire face à des pénuries d'eau temporaires. Aujourd'hui déjà, ces deux types d'utilisation doivent être restreints au cours des périodes de sécheresse estivales.

Les ruisseaux et rivières alpins à haute altitude présentent actuellement un étiage en hiver, quand l'eau est stockée dans le manteau neigeux. À l'avenir, les débits augmenteront dans les régions situées au-dessus de 2000 m d'altitude durant les périodes d'étiage en hiver. Dans les zones comprises entre 1500 et 2000 m d'altitude, les changements climatiques pourraient entraîner un report de la saison des étiages de l'hiver à l'été et à l'automne. Cependant, les débits en situation d'étiage ne varient presque pas.

	Avec mesures de protection du climat Fin du siècle	Sans mesures de protection du climat Fin du siècle
Débit d'étiage dans les zones situées en dessous de 1500 mètres d'altitude.	−0 à −30 %	−10 à −50 %
Débit estival	−0 à −20 %	−30 à −50 %

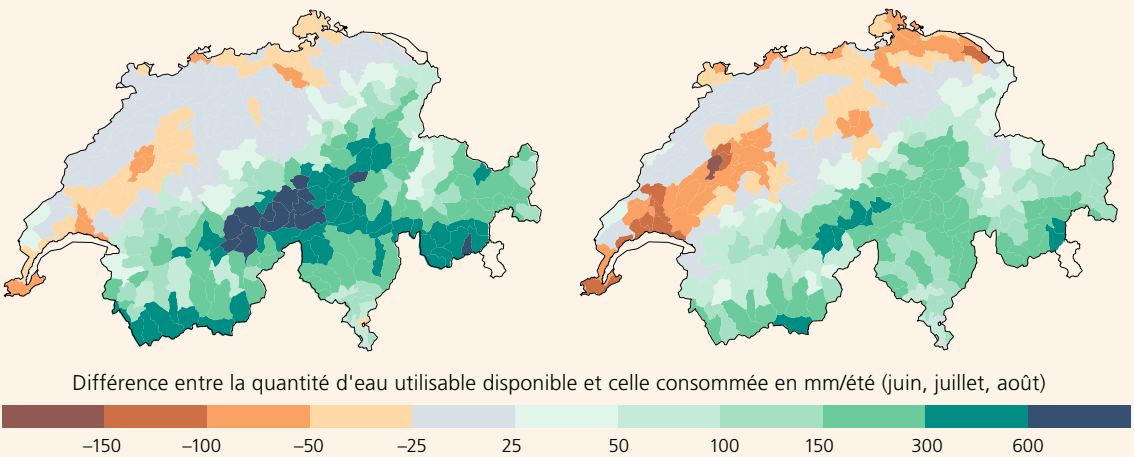
Éventail possible des modifications de 2070 à 2099 par rapport à la période allant de 1981 à 2010 (plage des simulations). Valeurs moyennes sur 30 ans pour la Suisse, indiquées avec une précision de 5 %.

Bilan du volume d'eau total disponible et de la consommation

Les cartes illustrent l'écart entre le volume d'eau total disponible et la consommation en été pour une année pauvre en précipitations, d'abord aujourd'hui puis à la fin du siècle, si aucune mesure de protection du climat n'est mise en œuvre. Les bassins versants colorés en orange et brun connaissent des pénuries d'eau : en été, le besoin en eau excède le volume disponible dans les ruisseaux, les fleuves, les rivières et les lacs. Aujourd'hui déjà, quelques régions affichent un déficit d'eau durant les années sèches. Ces manques ne feront que s'accroître à l'avenir.

Aujourd'hui (de 1981 à 2010)

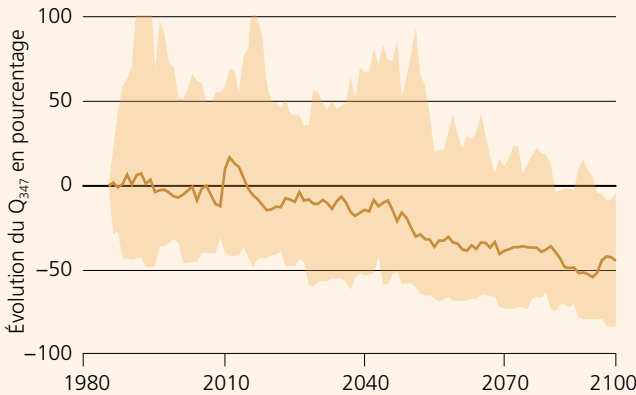
Fin du siècle (de 2070 à 2099)



Situation d'étiage dans la Thur

Le graphique montre, à l'exemple de la Thur près de Halden (TG), l'évolution potentielle de l'étiage si aucune mesure efficace de protection du climat n'est prise. La valeur Q_{347} représente le débit que le cours d'eau dépasse en moyenne 347 jours par an.

Dans les régions situées à moins de 1500 mètres d'altitude, les débits d'étiage seront donc bien moindres à l'avenir. La surface de couleur claire représente la plage des modélisations.



Les ressources en eau se raréfieront au niveau régional en raison de la sécheresse en été et en automne.

HAUSSE DU POTENTIEL DE DANGER

À l’avenir, les épisodes de pluie violente entraîneront localement davantage d’inondations et de ruissellement. Certaines données laissent par ailleurs penser que les crues d’ampleur seront elles aussi plus fréquentes. Par ailleurs, le réchauffement engendrera la fonte des glaciers et une déstabilisation des sous-sols gelés dans les régions de haute altitude.

Si l’atmosphère est plus chaude, elle contient davantage d’énergie et peut accueillir davantage d’humidité. Le potentiel d’épisodes violents de pluie et de tempête augmente donc. Par conséquent, si aucune mesure de protection du climat n’est prise, les plus fortes précipitations tombées en une journée seront 20 % plus intenses d’ici à la fin du siècle. En d’autres termes, à l’avenir, un orage d’été pourra s’accompagner d’une quantité de pluie beaucoup plus importante qu’aujourd’hui. Les fortes précipitations seront également plus fréquentes.

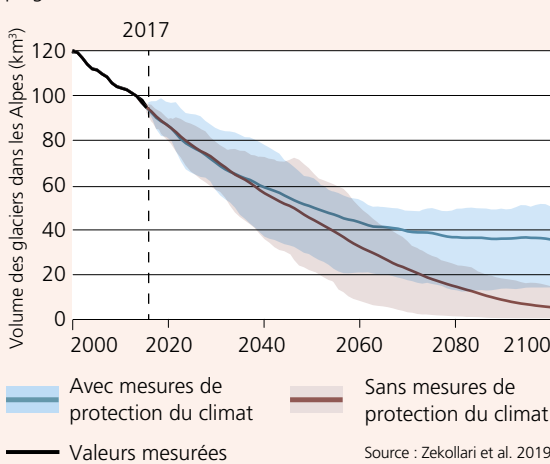
Il s’ensuivra une hausse des inondations locales liées aux crues et au ruissellement. En cas de ruissellement, les précipitations ne sont pas absorbées par le sol, mais s’écoulent à la surface et peuvent causer des dégâts aux bâtiments, aux infrastructures et aux champs. Deux tiers de tous les bâtiments de Suisse se situent dans des zones potentiellement menacées par ces ruissellements.

Certains éléments indiquent également que la fréquence des crues dues à des précipitations persistantes pourrait augmenter, causant des inondations à large échelle et des dégâts. Bien qu’il soit clair que les épisodes locaux de fortes précipitations s’accroîtront, l’évolution future des épisodes de crues de grande ampleur, moins fréquents, reste difficile à évaluer.

Comme la hausse des températures provoque un dégel du sous-sol gelé en permanence (pergélisol) en montagne et la disparition des glaciers, la stabilité des pentes s’affaiblira. Les glissements de terrain, les éboulements et les laves torrentielles se multiplieront. La quantité de roches meubles et d’éboulis augmentera. Durant les crues, ces matériaux meubles seront transportés vers des altitudes moins élevées, où ils pourront causer des dégâts.

Fonte des glaciers

Le graphique montre l’évolution du volume des glaciers en milieu alpin à l’avenir. Les surfaces claires représentent la plage des simulations.



Étant donné que la population augmente et que l’exploitation agricole s’intensifie, de plus en plus de biens matériels sont sous la menace de dangers naturels. Pour prévenir les dégâts, une carte des dangers naturels ainsi qu’une carte de l’aléa ruissellement sont disponibles en ligne (www.bafu.admin.ch/dangers-naturels). Ces cartes montrent les zones qui pourraient être touchées par des événements.

En matière de gestion des risques liés aux dangers naturels en Suisse, la gestion intégrée des risques a fait ses preuves. En adoptant cette approche globale, les responsables sont en mesure de tenir compte de manière systématique des évolutions découlant des changements climatiques, par exemple en élaborant des plans d’affectation, des règlements sur les constructions ou des plans d’intervention.

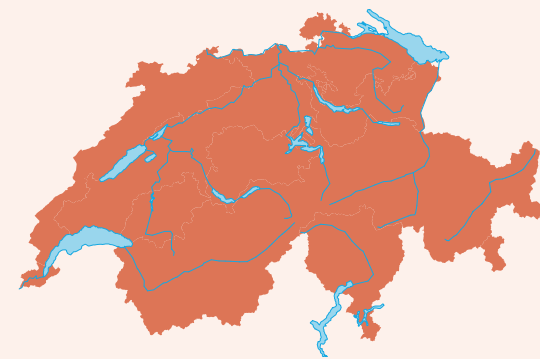
	Avec mesures de protection du climat Fin du siècle	Sans mesures de protection du climat Fin du siècle
Cumul journalier maximal de précipitations sur 100 ans	+5 %	+20 %
Volume des glaciers des Alpes	–50 à –80 %	–90 à –100 %



« Nous devons nous adapter, sachant que les eaux ruisselant en surface lors d’épisodes pluvieux violents engendrent davantage de dégâts. De nombreux bâtiments du pays sont menacés. Tout propriétaire devrait impérativement consulter la carte de l’aléa ruissellement pour voir si ses biens immobiliers se situent dans une zone concernée. De simples mesures suffisent parfois à éviter que de l’eau pénètre dans des garages souterrains ou des caves. »

Renato, pompier

Facteurs ayant une influence sur les crues et leur évolution avec les changements climatiques



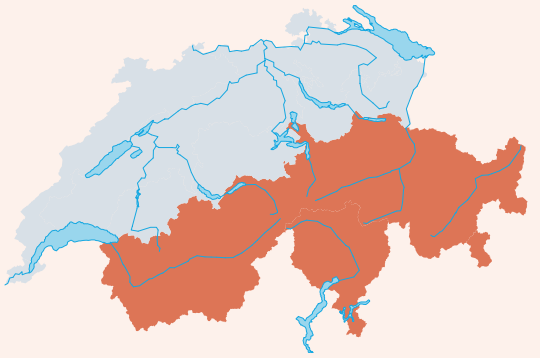
Davantage d’énergie et d’humidité dans l’atmosphère

- Augmentation de la fréquence et de l’intensité des fortes précipitations
- Augmentation du ruissellement
- Davantage de crues et d’inondations locales



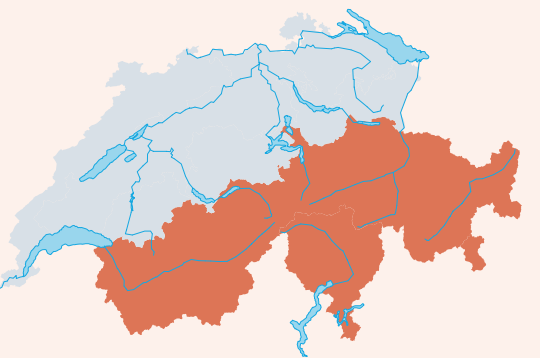
Modifications de la circulation atmosphérique

- Variabilité naturelle restant élevée
- Augmentation potentielle des crues d’ampleur en raison des fortes précipitations persistantes
- Encore aucune affirmation fiable disponible



Élévation de l’isotherme du zéro degré

- Davantage de précipitations sous forme pluvieuse
- Prolongation de la saison des crues



Présence élevée de matériaux meubles

- Augmentation du danger lié aux roches meubles et aux éboulis
- Transport accru de matériaux solides dans les eaux alpines

Conséquence spatiale sur les crues

■ Hausse attendue
■ Aucune modification

Les dangers naturels tels que les crues, les inondations et les glissements de terrain augmenteront.

Changements attendus pour 2070–2099 par rapport à 1981–2010. Valeurs moyennes sur 30 ans pour l’ensemble de la Suisse avec une précision de 5 %. La fourchette d’incertitude concernant les fortes précipitations n’est pas prise en compte, car elle est en grande partie déterminée par les fluctuations naturelles.

LA VIE AQUATIQUE EN DIFFICULTÉ

L'utilisation intensive et les vastes aménagements des eaux ainsi que les apports de polluants affectent de nombreux animaux et de nombreuses plantes vivant dans ou au bord de l'eau. Les changements climatiques entraînent une augmentation des températures de l'eau et une modification des débits, ce qui représente une charge pour les eaux. La diversité biologique dans et aux abords des eaux diminuera à l'avenir.



« Pour les truites, la meilleure température est de 13 °C. À partir de 20 °C, ces poissons sont stressés. Ils ne supportent que peu de temps les températures supérieures à 25 °C, seuil à partir duquel de grandes populations sont gravement menacées. Les changements climatiques menacent également des espèces autres que les truites. D'autres animaux habitués à des eaux froides et riches en oxygène disparaîtront à l'échelle régionale, et pour certains d'entre eux sans même qu'on le remarque»

Aline, biologiste

La température continuera d'augmenter dans tous les fleuves, rivières et ruisseaux de Suisse. Si les émissions de gaz à effet de serre se poursuivent à leur niveau actuel, les températures des cours d'eau pourraient, en été, afficher trois à neuf degrés supplémentaires d'ici à la fin du siècle. Des mesures de protection du climat devraient permettre de maintenir le réchauffement estival en deçà de trois degrés. L'hiver, le réchauffement sera moins prononcé.

En raison des changements climatiques, la fréquence des périodes d'étiage estivales augmentera aussi. Les ruisseaux se tariront de plus en plus fréquemment, et certains tronçons de cours d'eau s'assècheront. Il est probable que les effets cumulés du réchauffement et du manque d'eau engendrent très rapidement des modifications importantes des écosystèmes.

Les températures annuelles moyennes de l'eau à la surface des lacs pourraient enregistrer trois à quatre degrés supplémentaires d'ici à la fin du siècle en raison des changements climatiques. Les échanges entre les eaux de surface et les eaux profondes en seront

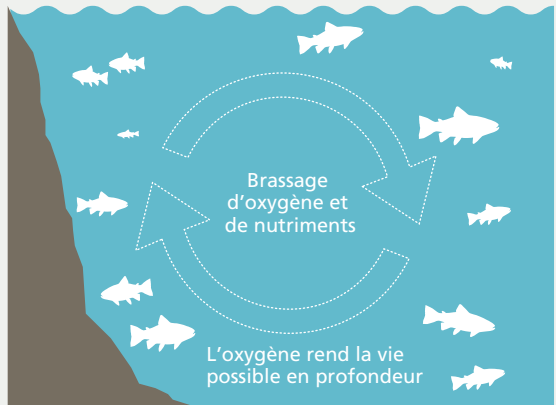
entravés. Il s'ensuivra une modification de la répartition de l'oxygène et des nutriments dans les lacs, ce qui affectera l'entier du réseau alimentaire.

De nombreux organismes aquatiques sont capables de s'adapter aux changements climatiques en se déplaçant vers des eaux plus froides, en général à plus haute altitude. Cela présuppose cependant l'absence d'obstacles tels que des centrales hydro-électriques ou des seuils. Le nouvel habitat doit par ailleurs être adapté. À titre d'exemple, les ombres trouveraient dans les ruisseaux de montagne une température optimale, mais ne pourraient pas supporter leurs forts courants.

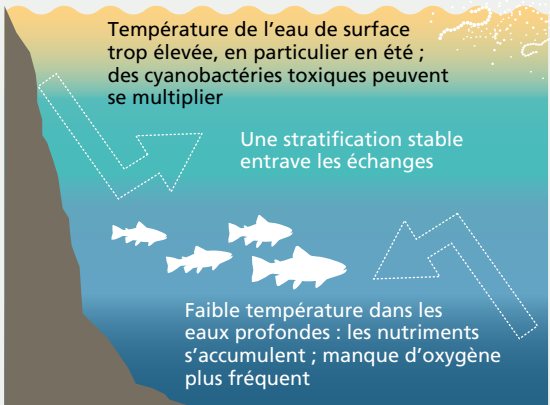
La diversité des poissons et des écrevisses, qui font partie des espèces les plus menacées de Suisse, n'est pas la seule en danger. Les changements climatiques pèsent sur toute la biodiversité aquatique indigène, déjà soumise à une forte pression. De plus, les espèces exotiques envahissantes peuvent bénéficier de ces nouvelles conditions et, partant, se propager plus facilement.

Effets du réchauffement climatique sur les lacs

Les illustrations montrent comment les changements climatiques impactent les processus naturels se déroulant dans les lacs.



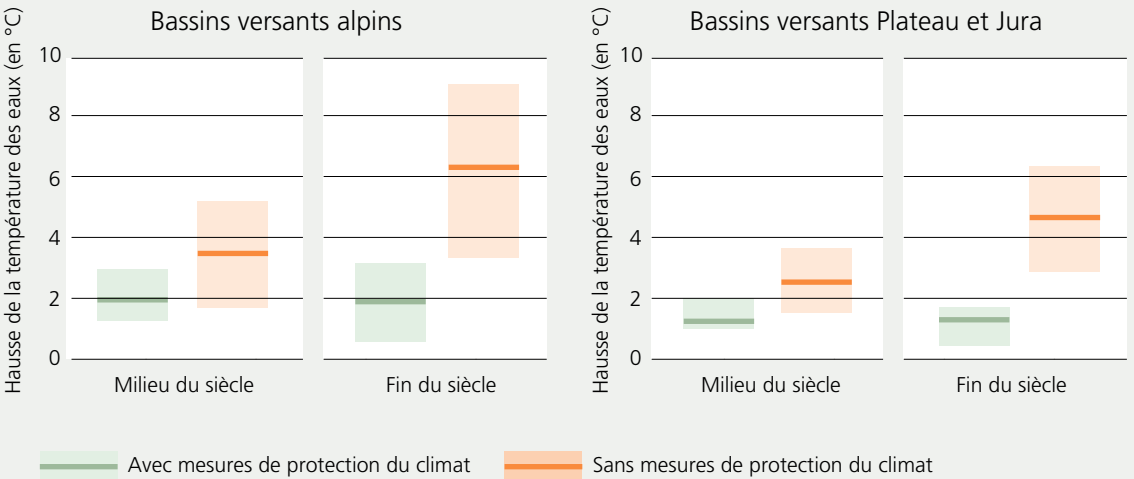
Aujourd'hui, dans la plupart des lacs suisses, un brassage entier s'effectue soit une fois en hiver, soit deux fois l'an, au printemps et à l'automne.



Du fait des changements climatiques, il se pourrait que le brassage se fasse plus rarement en entier à l'avenir dans certains lacs. Dans tous les lacs, la durée de la stratification stable de l'eau en été se prolongera, et les températures des eaux grimperont.

Températures des cours d'eau

Les deux graphiques illustrent l'évolution probable des températures moyennes des cours d'eau suisses en été. Les surfaces claires représentent la plage des modélisations.



L'augmentation des températures des eaux menacera la diversité biologique dans les eaux et aux abords de celles-ci.

Changements attendus pour 2081–2090 par rapport à 1991–2000 pour les cours d'eau et pour 2070–2099 par rapport à 1981–2010 pour les lacs. Valeurs moyennes sur 10 et 30 ans pour l'ensemble de la Suisse avec une précision de 0.5 degré Celsius.

	Avec mesures de protection du climat Fin du siècle	Sans mesures de protection du climat Fin du siècle
Température des cours d'eau en été	+1,5 à +3 °C	+3 à +9 °C
Température annuelle de la surface de l'eau des lacs	Ca. +1 °C	+3 à +4 °C



Gagnants et perdants
Les différentes formes de vie aquatiques ne réagissent pas toutes de la même manière aux changements climatiques. Tandis que certains organismes bénéficient des nouvelles conditions environnementales, d'autres ont du mal à s'adapter, voire en sont incapables. Globalement, la diversité biologique des communautés autochtones diminuera.

RESPECT DES LIMITES D'UTILISATION

Les changements climatiques ont des conséquences considérables sur les utilisations humaines des eaux. L'approvisionnement en eau potable, l'irrigation, la production d'électricité, la production de chaleur et le refroidissement atteindront parfois leurs limites. Il s'agira d'équilibrer les différentes utilisations et de prévenir toute surcharge des écosystèmes.



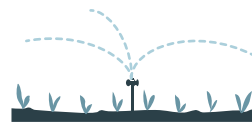
Approvisionnement en eau potable

Quatre cinquièmes de l'eau potable en Suisse proviennent des eaux souterraines : les apports de polluants issus de l'agriculture et des zones bâties dans les eaux souterraines représentent un problème majeur pour l'approvisionnement en eau potable, en particulier dans les régions à utilisation intensive et à forte densité de bâti.

Les changements climatiques entraîneront de longues périodes de sécheresse, avant tout en été et en automne. Au cours de ces périodes, les personnes chargées de l'approvisionnement en eau potable devront donc s'adapter à une réduction de l'offre à certains puits de pompage ou certains captages de sources, également du fait que les concentrations en polluants dans l'eau augmenteront, car la dilution sera plus faible.

Une importante mesure d'adaptation consiste à faire en sorte que chaque système d'approvisionnement s'alimente dans au moins deux régions indépendantes (un lac et une eau souterraine, par exemple) et se mette en réseau avec des systèmes voisins. Ce type de précautions permettra à la Suisse de garantir son approvisionnement en eau à l'avenir.

Les autres utilisations des eaux telles que les prélèvements destinés au refroidissement ou au chauffage de bâtiments, aux processus industriels ou à l'irrigation ne doivent en aucun cas affecter ni concurrencer les ressources en eau potable. Il est par ailleurs nécessaire d'améliorer encore la protection des eaux souterraines contre les risques de pollution résultant de l'agriculture en particulier.



Irrigation

En général, les précipitations en Suisse ont jusqu'ici suffi à couvrir les besoins en eau de la plupart des cultures agricoles. Cependant, les changements climatiques entraîneront une diminution des précipitations en été. Par ailleurs, lorsque les températures s'accroissent, davantage d'humidité s'évapore à partir des sols, et les besoins en eau des végétaux augmentent.

Si aucune mesure efficace de protection du climat n'est mise en œuvre, les cultures irriguées aujourd'hui auront besoin d'environ deux fois plus d'eau d'ici à la fin du siècle. Toutefois, par temps chaud et sec, de nombreux cours d'eau et eaux souterraines de petite taille ne fournissent, déjà à l'heure actuelle, presque plus d'eau pour l'irrigation.

Les exploitants seront contraints, à moyen terme, de s'adapter aux nouvelles conditions, l'objectif fondamental étant de pratiquer une agriculture adaptée à chaque région. L'agriculture doit pour ce faire tenir compte d'autres risques liés au climat tels que le stress thermique, la pression accrue des ravageurs et les dommages causés par les fortes précipitations ou la grêle. Il s'agit de repenser entièrement les méthodes de culture, les produits et les sites. Il faudra impérativement cultiver des espèces et des variétés résistantes à la sécheresse.

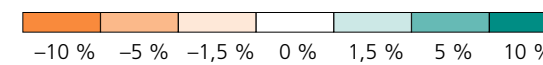
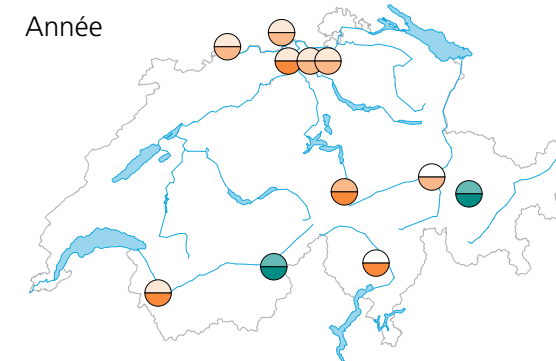
Des infrastructures d'irrigation sont en cours de planification et de construction dans de nombreuses régions de production agricole. La raréfaction des ressources en eau à l'avenir ne permettra cependant pas d'étendre les systèmes d'irrigation actuels, peu économes en eau, ni d'intensifier l'agriculture (en cultivant davantage de légumes, par exemple). Pour éviter toute surexploitation des ressources en eau, il sera par ailleurs nécessaire de procéder à une planification des ressources au niveau régional. Pour prévenir les incitations économiques contre-productives, il serait en outre judicieux d'établir une représentation transparente des coûts liés à l'eau.

En raison des changements climatiques, il faut revoir l'ensemble des utilisations de l'eau et planifier les ressources en eau au niveau régional.

Production des centrales hydroélectriques

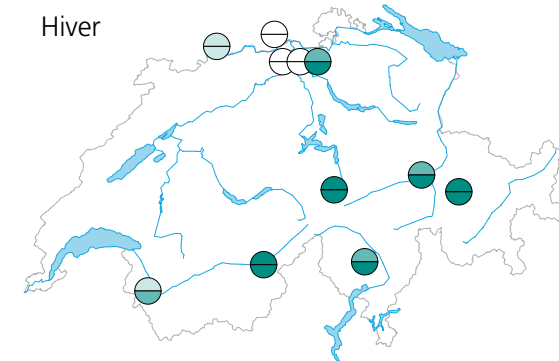
À l'exemple de onze centrales au fil de l'eau suisses, l'illustration montre comment la production d'électricité évoluera jusqu'à la fin du siècle, selon la configuration des installations et les débits résiduels actuels. On constate que les installations produisent davantage d'électricité en hiver, mais moins en été et sur l'année.

Année



Évolution de la production

Hiver



Avec mesures de protection du climat
Sans mesures de protection du climat

Source : SCCER-SoE 2019



Force hydraulique

En Suisse, une grande partie du potentiel hydroélectrique utilisable est exploitée. Renouvelable et importante pour la transition énergétique, la force hydraulique produit 60 % de l'électricité suisse. Elle soutient la décarbonation du système énergétique du pays. Cependant, son exploitation porte atteinte aux eaux sur le plan écologique. C'est pourquoi il est nécessaire de maintenir et de développer la force hydraulique en réduisant au minimum ses répercussions négatives sur les écosystèmes aquatiques. Les aménagements futurs devraient donc se focaliser sur l'optimisation des installations existantes et garantir la conservation des rares eaux encore intactes.

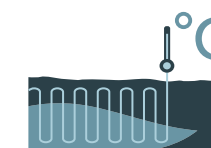
L'exploitation de la force hydraulique sera elle aussi touchée par les changements climatiques. Les lacs de retenue alpins continueront à se remplir, et leurs volumes de stockage seront en grande partie en mesure d'amortir les évolutions saisonnières des débits. Pour ce faire, il faudra cependant adapter les modes de stockage.

À long terme, comme les glaciers disparaîtront, les quantités d'eau disponibles pour les lacs de retenue dont les bassins versants sont fortement englacés diminueront. Par ailleurs, le ruissellement superficiel de matériaux meubles augmentera. Des mesures spécifiques seront nécessaires afin d'éviter que les dépôts ne fassent baisser les volumes de stockage.

La production d'électricité des centrales au fil de l'eau est directement tributaire du débit. Comme il faut s'attendre à un recul des débits en été, les centrales devraient produire moins d'électricité durant les mois

chauds. À l'inverse, en hiver, lorsque les besoins en énergie sont élevés, elles pourront fournir davantage de courant, car les cours d'eau charrieront plus d'eau.

Si des mesures d'atténuation des changements climatiques sont prises, la production annuelle d'électricité hydraulique restera presque constante à long terme. Elle pourrait tout au plus légèrement diminuer. Si toutefois aucune mesure n'est mise en œuvre, les quantités d'énergie produites pourraient connaître une diminution allant jusqu'à 7 % d'ici à la fin du siècle.



Utilisation thermique

L'eau possède une bonne capacité d'accumulation de l'énergie sous forme de chaleur, énergie qu'elle peut ensuite libérer. C'est pourquoi, depuis des décennies, les cours d'eau jouent un rôle majeur dans le refroidissement des grandes installations. De plus, de nombreuses régions utilisent, les eaux souterraines de manière intensive pour le chauffage et le refroidissement.

En été, les cours d'eau atteindront de plus en plus souvent des températures qui menacent certaines formes de vie aquatique. À l'avenir, il ne sera donc presque plus possible d'utiliser l'eau des cours d'eau à des fins de refroidissement, si l'exploitation réchauffe le cours d'eau concerné. Cependant, comme leur volume est important, les lacs de grande taille resteront, eux, disponibles. Pour prévenir toute atteinte aux écosystèmes, le prélèvement et la restitution de l'eau devront être pensés de manière à ne pas modifier les conditions de stratification des lacs.



Tourisme

Pour le tourisme hivernal, le réchauffement représente un défi majeur. Pour compenser la baisse de l'enneigement, la plupart des destinations se servent de canons à neige. En effet, en 2016, la moitié des quelque 22 500 ha de pistes en Suisse ont été enneigés par des moyens techniques. L'enneigement artificiel nécessite cependant beaucoup d'eau. Ces quantités ne sont la plupart du temps pas disponibles de manière naturelle à haute altitude en automne et en hiver.

Les entreprises de remontées mécaniques construisent toujours plus de réservoirs pour stocker l'eau de fonte et les précipitations, ce qui peut porter atteinte à la qualité du paysage. Sur de nombreux sites cependant, l'eau destinée à l'enneigement artificiel doit être pompée depuis des altitudes plus basses, processus très énergivore. Quelques stations de sports d'hiver de basse altitude ont déjà dû arrêter leurs activités, parce que l'enneigement artificiel n'est pas rentable ou que les températures sont trop élevées. D'autres régions connaîtront le même destin.

Le paysage va se modifier en raison de la fonte des glaciers. Les destinations prisées des visiteurs du fait de leurs glaciers ou d'activités associées perdront de leur attractivité. L'avenir révèlera dans quelle mesure les vacanciers sont intéressés par les paysages de haute montagne privés de glaciers.

Néanmoins, pour les régions touristiques de montagne, les changements climatiques sont également synonymes d'opportunités : davantage de personnes vivant dans la chaleur des zones à forte concentration urbaine pourraient chercher refuge en altitude. De plus, la saison estivale se prolongera, car la neige arrivera toujours plus tard. Globalement, les cours d'eau et les lacs continueront à gagner en importance pour les loisirs de proximité et le tourisme, car ils offriront une possibilité de se rafraîchir en été.



Coopération internationale

Les pays voisins et les riverains de l'aval de la Suisse utilisent l'eau s'écoulant au-delà des frontières. Il existe donc, depuis des décennies, des conventions internationales, des traités entre États et des organismes spécifiques qui définissent les modalités de la coopération et fixent des objectifs relatifs aux eaux transfrontalières.

Les riverains de l'aval sont également concernés par les répercussions des changements climatiques. Par exemple, dans le Rhin en aval de Bâle, il faut s'attendre à des situations d'étiage plus fréquentes, ce qui causera des problèmes d'approvisionnement en eau, d'irrigation ou encore des pertes sur la production d'énergie hydraulique en Allemagne, en France et aux Pays-Bas.

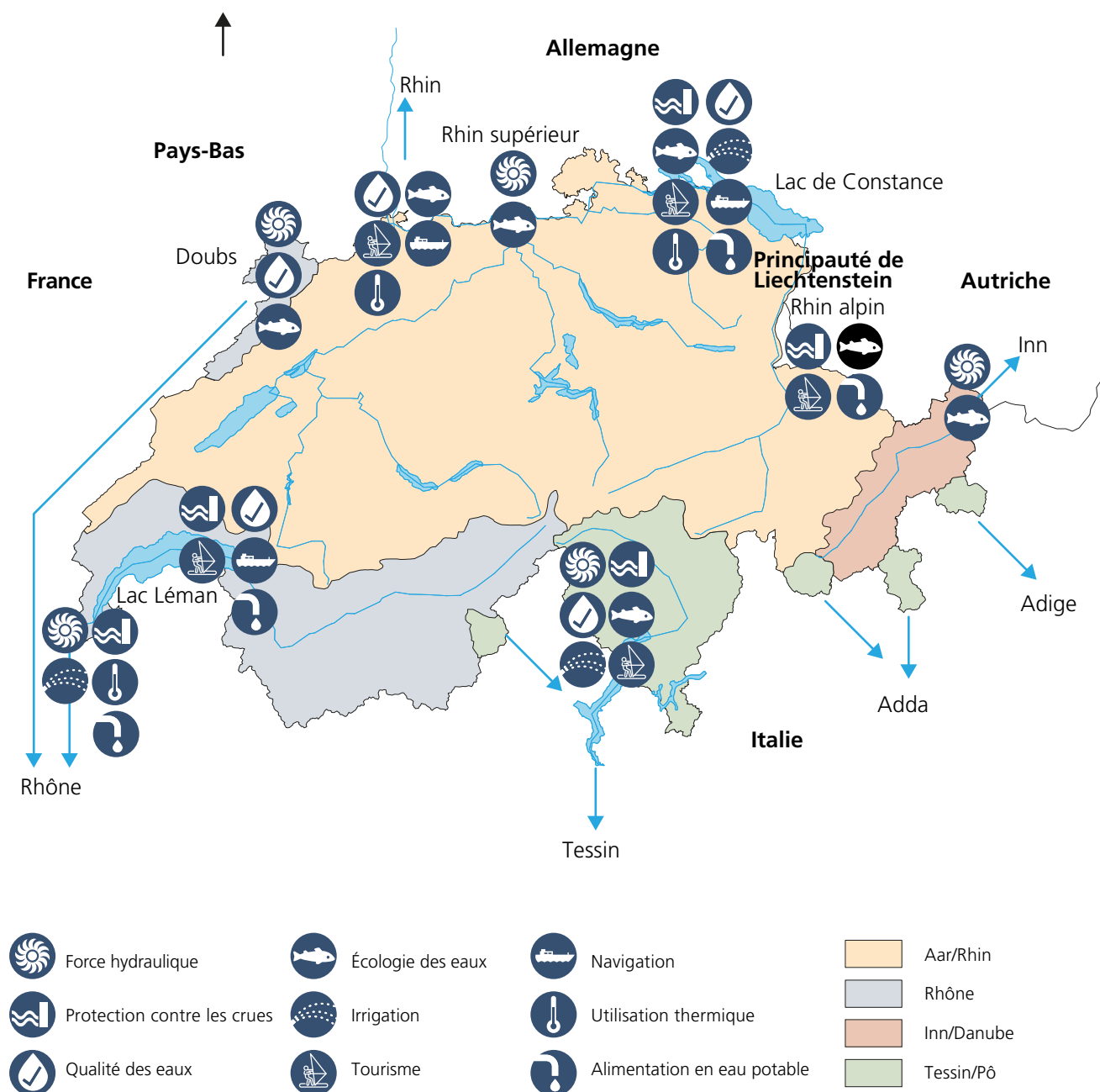
Toutefois, les situations d'étiage dans le Rhin inférieur et le Rhin moyen affectent également la Suisse, en particulier son économie. Plus de 10 % des volumes d'exportation suisses (environ 7 millions de tonnes de marchandises chaque année) sont transportés par ce fleuve. Si le niveau d'eau vient à baisser, les bateaux doivent transporter une quantité moindre de marchandises, voire renoncer à naviguer.

Le lac Majeur connaît un conflit d'objectifs transfrontalier. Les régions de Lombardie et du Piémont sont d'avis que le lac doit être si possible copieusement rempli en été pour servir de réserve d'eau d'irrigation. Les villes et communes situées sur les rives, côté italien comme côté suisse, estiment quant à elles que le lac doit être maintenu à un bas niveau pour pouvoir accueillir les crues estivales sans inonder les rives.

L'adaptation aux changements climatiques nécessite donc également une gestion durable et consensuelle des cours d'eau et des lacs au niveau international. Il s'agit de continuer à améliorer la qualité de l'eau, par exemple en recourant à des technologies d'épuration modernes et à des mesures dans le secteur agricole. Il est tout aussi important de trouver des consensus internationaux sur la gestion des eaux. Nombre de conflits peuvent être évités également en utilisant l'eau de manière efficace et en se concentrant sur les utilisations les plus importantes pour la société.

Coopération transfrontalière

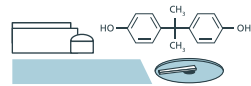
La carte illustre les principales eaux et les principaux bassins versants de Suisse. Les symboles indiquent quelles utilisations et quels aspects des eaux sont réglementés dans le cadre de la coopération internationale



Les ressources helvétiques en eau gagneront encore en importance pour les pays limitrophes. Leur exploitation nécessite une étroite coopération internationale.

PRÉPARER LES EAUX AUX CHANGEMENTS

Les eaux écologiquement intactes résistent mieux aux changements climatiques et répondent également mieux aux diverses exigences sociétales. Il faut donc protéger les ressources en eau contre les prélèvements excessifs ainsi que les contaminations par des polluants et des engrais. Par ailleurs, il est nécessaire de maintenir ou de restaurer l'état naturel des ruisseaux, des fleuves et rivières, des lacs et des eaux souterraines.



Protection contre la pollution

Un réseau de canalisations étendu collecte plus de 97 % des eaux usées communales de Suisse. Ces eaux sont traitées dans quelque 800 stations d'épuration des eaux (STEP), puis rejetées dans les cours d'eau et les lacs. Dans le contexte des changements climatiques, ce système atteint ses limites : si, lorsque les débits des cours d'eau sont faibles, les effluents des STEP sont moins dilués, la charge pour les eaux est élevée, malgré le traitement.

Il est donc essentiel que les zones habitées rejettent encore moins de polluants dans les eaux. Pour réduire la charge chimique des cours d'eau accueillant une part importante d'eaux usées, une sélection stratégique d'environ 140 STEP devraient se doter d'étapes de traitement supplémentaires d'ici à 2040.

Les épisodes de pluie intenses seront amenés à se multiplier à l'avenir, transportant une quantité d'eau telle dans les canalisations que les stations d'épuration ne pourront plus la traiter. Une partie des eaux usées rejoindra les cours d'eau sans traitement préalable. Pour éviter un tel phénomène, il s'agira si possible de ne plus faire passer dans les canalisations l'eau de pluie présente sur les surfaces imperméabilisées, mais de procéder de manière encore plus systématique, en absorbant ou en retenant l'eau dans la zone habitée concernée. De telles mesures peuvent par ailleurs contribuer à réduire l'accroissement des fortes chaleurs dans les villes.

Il est nécessaire de renforcer les fonctions naturelles des eaux afin que celles-ci puissent s'adapter aux changements climatiques.

Les apports de polluants dus à l'agriculture constituent également un défi pour les eaux : les résidus des produits phytosanitaires et des engrais se retrouvent dans les eaux souterraines, les cours d'eau et les lacs. Ils affectent dans de nombreux endroits l'approvisionnement en eau potable et l'écologie des eaux. L'augmentation des épisodes de fortes précipitations aggravera le ruissellement superficiel des polluants et des nutriments en provenance des champs vers les eaux. En outre, les précipitations hivernales plus importantes transporteront davantage de nitrates issus des engrais vers les eaux souterraines. Il est ainsi primordial de réduire les quantités de polluants utilisés, conformément aux objectifs du plan d'action Produits phytosanitaires adopté par le Conseil fédéral en 2017.



Prévenir toute surexploitation

Des prélèvements d'eau pour les zones habitées, l'industrie et l'artisanat ou encore l'agriculture ont lieu sur de nombreux sites, dans les eaux souterraines comme dans les cours d'eau et les lacs de Suisse. Concernant les volumes, les quantités les plus importantes sont celles des quelque 1500 sites de prélèvements des centrales hydroélectriques. La loi fédérale sur la protection des eaux définit quelle quantité d'eau doit rester dans les eaux en aval du site de prélèvement et permet ainsi d'éviter tout assèchement partiel ou total.

Les zones humides, mais aussi de nombreux ruisseaux ainsi que les fleuves et rivières ont besoin de niveaux d'eau suffisamment élevés pour ne pas s'assécher complètement ni charrier une quantité insuffisante d'eau durant les périodes de sécheresse. Un usage mesuré des eaux est donc nécessaire lors des prélèvements réalisés à partir des eaux souterraines.



Viser un état proche de la nature

En Suisse, certains obstacles limitent considérablement la mobilité de nombreux organismes aquatiques. Par exemple, des centrales hydroélectriques et des seuils entravent, voire empêchent la migration des poissons et d'autres animaux tels que les écrevisses.

Au XX^e siècle, de nombreuses eaux ont été rectifiées et aménagées au titre de la protection contre les crues. En parallèle, la plupart des zones humides du pays ont été asséchées pour gagner des surfaces de terre. Pas moins de 16 000 km (soit un quart de tous

les tronçons de cours d'eau helvétiques) se voient aujourd'hui affectés dans leur structure, voire déplacés dans des conduites souterraines.

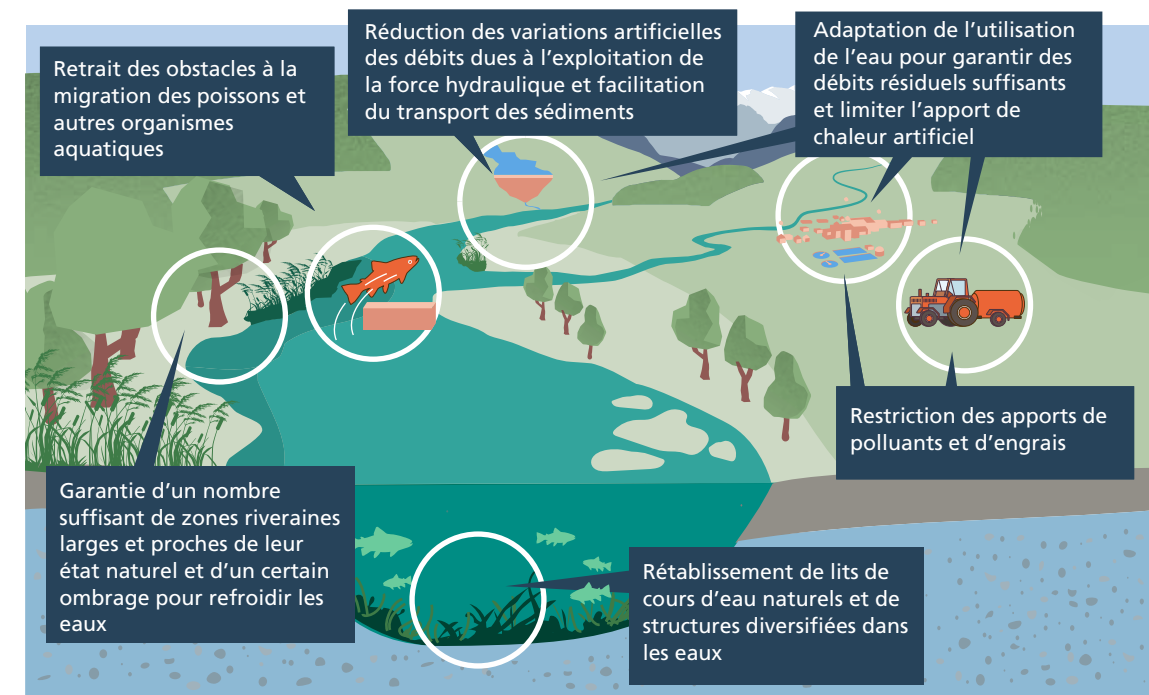
Avec la révision de la loi fédérale sur la protection des eaux en 2011, la Suisse a entamé deux projets s'étendant sur plusieurs générations pour assainir les eaux.

D'ici à 2030, la migration des poissons doit être améliorée au niveau de 1000 barrages environ, les variations excessives de débit seront éliminées pour près de 100 centrales hydroélectriques, et 500 installations occasionnant des déficits de charriage seront assainies. En outre, des travaux ont commencé dans tout le pays pour redonner aux eaux sur 4000 km, d'ici à 2090, davantage d'espace et de naturel ainsi qu'un meilleur ombrage.

Les assainissements écologiques et les renaturations accroissent la capacité des formes de vie aquatiques à résister aux changements climatiques. Il faut aussi noter qu'ils contribuent à améliorer la connectivité de la nature ainsi que le paysage. Les mesures de protection du climat sont cependant tout aussi importantes pour contenir autant que possible l'augmentation des températures des eaux et les modifications des débits.

Graphique sur les mesures de renforcement des eaux

Les eaux proches de leur état naturel sont plus aptes à répondre aux défis découlant des changements climatiques que celles qui ont été considérablement aménagées par l'être humain. Il est d'autant plus important de mettre en œuvre des mesures de protection des eaux. Pour que les eaux soient proches de leur état naturel, toute une série de mesures sont nécessaires, par exemple :



COUP D'ŒIL SUR LES SCÉNARIOS

Les scénarios hydrologiques Hydro-CH2018 se fondent sur des simulations réalisées par les principales institutions de recherche suisses. Ils prennent en compte les scénarios climatiques les plus récents.

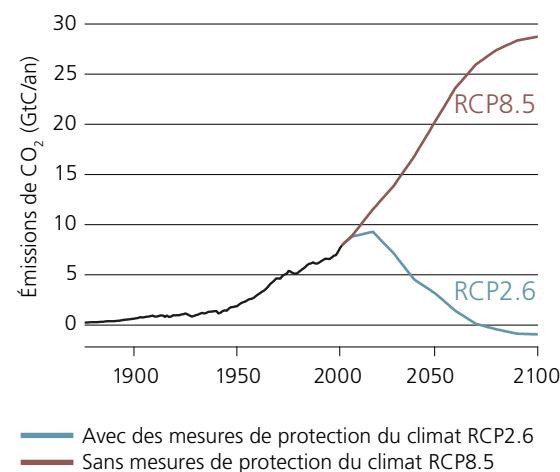
Des connaissances détaillées des effets des changements climatiques sur les eaux et le régime des eaux sont nécessaires pour que la Suisse puisse s'adapter. Le Conseil fédéral a ainsi donné pour mandat à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) d'établir des bases hydrologiques en vue d'élaborer des mesures d'adaptation.

L'OFEV s'intéresse à cette question dans le cadre du thème prioritaire « Hydro-CH2018 : Bases hydrologiques pour le changement climatique » du *National Center for Climate Services* (NCCS). Le NCCS est le réseau de la Confédération dédié aux services climatiques. Hydro-CH2018 s'articule autour de onze projets de recherche ainsi que des revues de la littérature scientifique. Les participants sont de grandes institutions suisses spécialisées dans la recherche sur l'eau (voir p. 26).

Par rapport aux précédentes recherches sur les conséquences des changements climatiques sur l'hydrologie, Hydro-CH2018 a utilisé de meilleures bases de données et méthodes. Le projet se fonde sur les scénarios climatiques CH2018 à haute résolution qui, pour la première fois, présentent des données journalières continues à l'échelle locale pour la période allant de 1981 à 2099.

Trajectoires d'émissions

Les courbes montrent l'évolution attendue des émissions de CO₂ au niveau mondial conformément à deux scénarios de référence : « sans mesures de protection du climat » (RCP8.5) et « avec des mesures significatives de protection du climat » (RCP2.6).



Source : Adapté de IPCC 2013/WGI/Box 1.1/Figure 3b

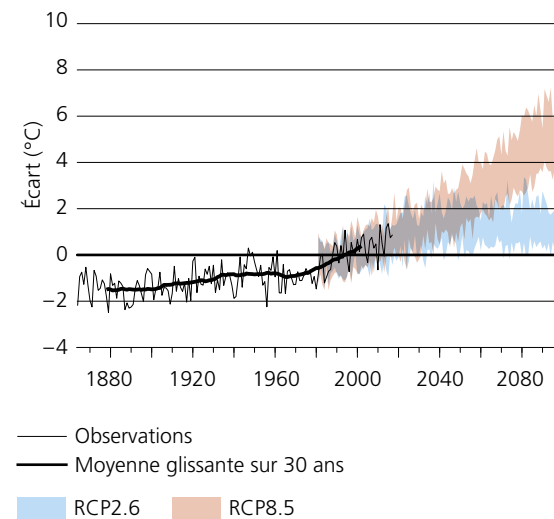
Scénarios hydrologiques

Les scénarios hydrologiques font partie de ce qu'on appelle une chaîne de modèles : au début de la chaîne, on trouve différents scénarios d'émissions décrivant les évolutions possibles des émissions de gaz à effet de serre à l'avenir ; à la fin se trouvent des modèles qui calculent les répercussions sur la gestion des eaux ou l'agriculture.

Les scénarios climatiques CH2018 sont nés de l'association de scénarios d'émissions d'une part et de modèles climatiques globaux et régionaux d'autre part. Les modèles hydrologiques utilisent des résultats issus des scénarios climatiques pour calculer des scénarios hydrologiques. Ils montrent comment le régime des eaux et les eaux évoluent en Suisse. Hydro-CH2018 tient compte de tous les éléments hydrologiques importants tels que le débit et le renouvellement des eaux souterraines, la fonte des glaciers et des neiges, l'évapotranspiration et les températures des eaux.

Réchauffement de l'atmosphère

L'illustration montre l'évolution à ce jour (ligne continue) ainsi que les valeurs futures modélisées (surfaces en couleur) de la température de l'air au niveau du sol en Suisse. Elle représente les écarts attendus de la température annuelle moyenne par rapport à la période de référence, allant de 1981 à 2010.



Source : Scénarios climatiques CH2018 (NCCS, 2018)

Mesures de protection du climat

Pour mettre en lumière l'efficacité des mesures internationales de protection du climat et montrer la gamme des évolutions futures possibles, Hydro-CH2018 tient compte des conséquences de deux trajectoires d'émissions de référence : « avec mesures de protection du climat » (RCP2.6) et « sans mesures de protection du climat » (RCP8.5). RCP est une abréviation internationale courante signifiant *Representative Concentration Pathway*. Elle se rapporte aux trajectoires d'émissions définies au niveau mondial.

La trajectoire « avec mesures de protection du climat » (RCP2.6) représente un avenir dans lequel la communauté internationale met en œuvre des mesures efficaces de protection du climat telles que prévues par l'Accord de Paris. Grâce à une réduction drastique des émissions, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère cesse en l'espace de vingt ans environ. La trajectoire « sans mesures de protection du climat » (RCP8.5) décrit quant à elle un avenir sans mesures efficaces de protection du climat, dans lequel les émissions de gaz à effet de serre mondiales continuent à croître fortement.

Incertitudes

Les modèles informatiques modernes et les superordinateurs permettent de créer une représentation mathématique des processus se déroulant dans la nature ainsi qu'une simulation de l'évolution future. CH2018 et Hydro-CH2018 se sert aussi de ce type de processus.

Il faut émettre des hypothèses à chaque étape de calcul, par exemple concernant le degré de précision avec lequel les processus sont représentés et calculés. Ces hypothèses, qui dépendent largement de la disponibilité des données, sont entachées d'incertitudes, qui se propagent tout au long de la chaîne de modèles.

Pour rendre compte des incertitudes lors de la modélisation, on procède à des comparaisons des modèles des différentes universités et instituts de recherche. Il est ainsi possible de faire ressortir les différences entre les modèles et les hypothèses employées, ce qui permet de vérifier les résultats et leur plausibilité, et d'estimer leur précision.

Termes et définitions

Le périmètre étudié dans le cadre d'Hydro-CH2018 comprend toute la Suisse, la Principauté de Liechtenstein et d'autres régions limitrophes dont les cours d'eau se déversent sur le territoire suisse. Les spécialistes nomment cet ensemble la « Suisse hydrologique ».

Lorsque le texte parle de l'état actuel (« aujourd'hui »), il fait référence à l'état hydrologique moyen au cours de la période de référence allant de 1981 à 2010. Ces trois décennies ont servi de point de départ au calcul des scénarios. Toutes les données concernant les évolutions futures se réfèrent à cette période.

Les scénarios décrivent des moyennes attendues ainsi qu'un éventail de modifications possibles sur le plan hydrologique pour des périodes de 30 ans. Les formulations « fin du siècle » et « 2085 » se rapportent à la période allant de 2070 à 2099 ; « milieu du siècle » et « 2060 » se rapportent à la période allant de 2045 à 2074.

Les valeurs moyennes établies pour des périodes de 30 ans ne donnent aucune indication sur les conditions hydrologiques futures pour des années précises. Du fait de la variabilité naturelle, les valeurs annuelles peuvent sensiblement s'éloigner des valeurs moyennes.

Il n'existe aucun doute sur le type de changements climatiques et hydrologiques à venir ni sur la direction qu'ils prendront, mais des incertitudes persistent quant à l'ampleur des phénomènes.

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES CONCERNANT HYDRO-CH2018



Plateforme internet NCCS
Toutes les informations générales sur les changements climatiques, les mesures et les scénarios climatiques. Accès centralisé à tous les produits et toutes les publications en lien avec Hydro-CH2018.
www.nccs.admin.ch



Rapport de synthèse scientifique
« Effets des changements climatiques sur les eaux suisses. Hydrologie, écologie et gestion des eaux. » Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement no 2101 : 140 p.
www.nccs.admin.ch/hydro_fr



Atlas hydrologique de la Suisse
Données : graphiques, cartes et indicateurs dans l'Atlas hydrologique de la Suisse et sur la plateforme cartographique de la Confédération.
www.hydromapscc.ch
www.map.geo.admin.ch



BROCHURES NCCS



NCCS (éditeur) 2018 :
CH2018 – Scénarios climatiques pour la Suisse.
National Centre for Climate Services, Zurich. 24 p.
ISBN 978-3-9525031-1-9.



NCCS (éditeur) 2021 :
Eaux suisses et changements climatiques.
National Centre for Climate Services, Zurich. 28 p.
ISBN 978-3-9525413-2-6.

INSTITUTS DE RECHERCHE AYANT PARTICIPÉ AU PROJET HYDRO-CH2018

- Agroscope
- Albert-Ludwigs-Universität, Fribourg-en-Brisgau
- Eawag : Institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologies de l'Eau du domaine des EPF
- Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL)
- École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
- École Polytechnique Fédérale de Zurich (EPFZ)
- Haute école technique de Rapperswil (HSR)
- Institut suisse de spéléologie et de karstologie (ISSKA)
- Université de Bâle
- Université de Berne
- Université de Fribourg
- Université de Genève
- Université de Lausanne
- Université de Neuchâtel
- Université de Zurich



La Suisse est un pays riche en eau. Cependant, depuis plus d'un siècle, ses eaux sont affectées par des prélèvements, des polluants chimiques et des aménagements. Depuis quelque temps, un nouveau problème prend toujours davantage d'ampleur : les changements climatiques. La présente brochure illustre le fonctionnement du régime des eaux suisses ainsi que les évolutions à prévoir.