Changements climatiques en Suisse

Indicateurs des causes, des effets et des mesures



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse

National Centre for Climate Services NCCS

Changements climatiques en Suisse

Indicateurs des causes, des effets et des mesures

Publié par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV),
l'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse)
et le National Center for Climate Services (NCCS)
Berne, 2020

Impressum

Éditeur
Office fédéral de l'environnement (OFEV)
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).
et
Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse)
MétéoSuisse est un office du Département fédéral de l'intérieur (DFI).
Collaboration sous l'égide du National Center for Climate Services (NCCS)

Direction de projet et rédaction
Alexandre Berset, Cornelia Schwierz et Carla Gross

Auteurs
Office fédéral de l'environnement (OFEV) : Alexandre Berset, Raphael Bucher, Guirec Gicquel, Carla Gross, Sabine Kleppek, Roger Ramer, Silvia Ruprecht-Martignoli, Andreas Schellenberger, Adrian Schilt, Martina Zoller (division Climat), Martin Barben, Thilo Herold, Petra Schmocker-Fackel, Marc Schürch, Adrian Jakob, Ronald Kozel (division Hydrologie), Ulrich Walter Sieber (division Eaux), Gudrun Schwilch Brünisholz, Rudolf Stähli (division Sols et biotechnologie), Diego Dagani, Markus Thommen, Gian-Reto Walther (division Espèces, écosystèmes, paysages), Sabine Augustin, Christoph Dürr (division Forêts), Carolin Monika Schärpf (division Prévention des dangers), Hannah Scheuthle (section Observation de l'environnement)
Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse) : Stephan Bader, Michael Begert, Olivier Duding, Anke Duguay-Tetzlaff, Andreas Fischer, Regula Gehrig, Francesco Isotta, Sven Kotlarski, Luca Panziera, Simon Scherrer, Cornelia Schwierz, Elias Zubler
Office fédéral du développement territorial (ARE) : Melanie Gicquel, Fiona Spycher
Office fédéral de l'énergie (OFEN) : Lukas Gutzwiller, Leoni Jossen, Aline Tagmann
Office fédéral de la protection de la population (OFPP) : Christoph Werner
GLAMOS : Matthias Huss
PERMOS : Jeannette Nötzli
SWISS TPH : Pie Müller, Martina Ragettli
Station ornithologique suisse : Thomas Sattler

Révision
Office fédéral de l'environnement (OFEV) : Roland Hohmann, Regine Röthlisberger (division Climat), Markus Wüest (division Observation de l'environnement)
MétéoSuisse : Mischa Croci-Maspoli, Sven Kotlarski
National Centre for Climate Services (NCCS) : Angela Michiko Hama

Relecture
dialog:umwelt GmbH : Markus Nauser

Référence bibliographique
OFEV et al., 2020 : Changements climatiques en Suisse. Indicateurs des causes, des effets et des mesures. État de l'environnement n° 2013 : 109 p.

Mise en page
Cavelti AG, medien. Digital und gedruckt, Gossau

Traduction
Service linguistique de l'OFEV

Photo de couverture
Sécheresse au lac des Brenets en octobre 2018
© Anthony Anex, Keystone

Téléchargement au format PDF
www.bafu.admin.ch/uz-2013-f
Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

Cette publication est également disponible en allemand et italien. Un résumé est disponible en anglais. La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2020

Table des matières

Abstracts		**5**
Avant-propos		**6**
Résumé		**7**
1	**Introduction**	**9**
1.1	Contexte	9
1.2	Données de base	10
1.3	Structure du rapport	10
2	**Émissions de gaz à effet de serre de la Suisse**	**12**
2.1	Émissions intérieures de gaz à effet de serre par gaz	12
2.2	Émissions intérieures de gaz à effet de serre par secteur	13
2.3	Intensité en gaz à effet de serre	24
2.4	Émissions intérieures de la Suisse en comparaison internationale	26
2.5	Émissions générées par la consommation de la Suisse	28
3	**Évolution du climat observée en Suisse**	**30**
3.1	Températures annuelle et saisonnière moyennes	31
3.2	Autres indicateurs de la température	34
3.3	Précipitations et sécheresse	37
3.4	Limite du zéro degré et couverture neigeuse	40
3.5	Durée d'ensoleillement et couverture nuageuse	42
3.6	Indicateurs climatiques ne mettant pas en évidence jusqu'ici une évolution perceptible	43
4	**Le climat futur de la Suisse**	**44**
4.1	Données de référence basées sur des scénarios d'émission et des modèles climatiques	44
4.2	Évolution de la température avec ou sans mesures de protection du climat	44
4.3	Vue d'ensemble des principaux résultats des scénarios CH2018	45
4.4	Autres études et activités	48
5	**Effets des changements climatiques sur les systèmes naturels**	**49**
5.1	Hydrosphère	49
5.2	Cryosphère	52
5.3	Pédosphère	56
5.4	Biosphère	56
6	**Effets des changements climatiques sur les systèmes anthropiques**	**65**
6.1	Santé humaine	65
6.2	Production d'énergie et consommation d'énergie	68
6.3	Gestion de l'eau	70
6.4	Tourisme d'hiver	71
6.5	Conséquences dans d'autres secteurs	73
6.6	Coûts économiques	73
6.7	Conséquences indirectes	74
7	**Réduction des émissions**	**77**
7.1	Objectifs de réduction internationaux	77
7.2	Objectifs de réduction nationaux	79
7.3	Mesures de réduction des émissions selon la loi sur le CO_2	81
7.4	Autres contributions importantes à la réduction des émissions	84
8	**Adaptation aux changements climatiques**	**90**
8.1	Plan d'action	90
8.2	Programme pilote « Adaptation aux changements climatiques »	91
8.3	Adaptation dans le secteur de la gestion des eaux	92
8.4	Adaptation dans le secteur du développement territorial	92
8.5	Adaptation aux événements naturels extrêmes	93
8.6	Gestion des forêts adaptée au climat	95
8.7	Adaptation dans le secteur du tourisme d'hiver	96
8.8	Adaptation dans d'autres secteurs	96
9	**Conclusion**	**98**
10	**Liste des abréviations**	**99**
11	**Bibliographie**	**100**

Abstracts

Human activity is changing the climate, and indicators show that Switzerland is particularly hard hit by climate change. Using selected examples, this report describes Switzerland's contribution to climate change (greenhouse gas emissions and their sources), the observed state of the climate and its expected future development, as well as the impacts of climate change on natural systems, society and the economy. It also presents the main policy responses and measures on emissions reduction and climate change adaptation.

Keywords:
Climate change, greenhouse gas emissions, climate policy, impacts, emissions reduction, adaptation, indicator, Switzerland.

Les activités humaines modifient le climat. Les indicateurs montrent que la Suisse est particulièrement touchée par les changements climatiques. Ce rapport décrit, à l'aide d'exemples choisis, la contribution de la Suisse à ces changements (émissions de gaz à effet de serre et leurs sources), les observations concernant l'état du climat et son évolution future attendue, ainsi que les effets des changements climatiques sur les systèmes naturels, la société et l'économie. Il présente également les principales réponses et mesures politiques dans une optique de réduction des émissions et d'adaptation aux changements climatiques.

Mots-clés :
changements climatiques, émissions de gaz à effet de serre, politique climatique, effets, réduction des émissions, adaptation, indicateur, Suisse.

Menschliche Aktivitäten führen zu einer Veränderung des Klimas. Indikatoren belegen, dass die Schweiz vom Klimawandel besonders stark betroffen ist. Dieser Bericht beschreibt anhand von ausgewählten Beispielen den Beitrag der Schweiz zum Klimawandel (Emissionen von Treibhausgasen und deren Quellen), den Zustand des beobachteten Klimas und seine erwartete, zukünftige Entwicklung sowie die Auswirkungen des Klimawandels auf die natürlichen Systeme sowie Gesellschaft und Wirtschaft. Ebenso werden die wichtigsten politischen Antworten und Massnahmen in den Bereichen Emissionsverminderung und Anpassung an den Klimawandel vorgestellt.

Stichwörter:
Klimawandel, Treibhausgasemissionen, Klimapolitik, Auswirkungen, Emissionsverminderung, Anpassung, Indikator, Schweiz.

Le attività antropiche provocano un mutamento climatico e, come dimostrano gli indicatori, la Svizzera ne è particolarmente colpita. Sulla base di una selezione di esempi, il presente rapporto illustra il contributo della Svizzera ai cambiamenti climatici (emissioni di gas serra e loro fonti), lo stato del clima osservato e l'atteso sviluppo futuro nonché gli effetti dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali, la società e l'economia. Sono inoltre presentate le principali risposte del mondo politico e le misure adottate negli ambiti della riduzione delle emissioni e dell'adattamento ai cambiamenti climatici.

Parole chiave:
cambiamenti climatici, emissioni di gas serra, politica climatica, effetti, riduzione delle emissioni, adattamento, indicatore, Svizzera.

Avant-propos

Les modifications du système climatique sont omniprésentes et touchent de nombreux secteurs. Tous les experts s'accordent désormais que ce sont les émissions de gaz à effet de serre générées par l'homme qui sont principalement responsables des changements climatiques. Sans mesures correctives, vu l'évolution démographique mondiale et l'accroissement des besoins en énergie, les émissions de gaz à effet de serre continueront d'augmenter. Qui plus est, une fois émis, ces gaz restent pendant plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, dans l'atmosphère, accentuant ainsi encore le réchauffement du climat. Même avec des mesures drastiques de protection du climat, les changements climatiques ne pourront plus être enrayés, mais tout au plus limités.

L'Accord de Paris, adopté en 2015, représente une étape décisive au plan international dans la lutte contre les changements climatiques. La réalité de ces changements ainsi que l'urgence d'une action coordonnée au niveau international ne sont aujourd'hui plus remises en question. Par ailleurs, de nombreuses initiatives en faveur de la protection du climat sont déjà en cours de réalisation.

La Suisse s'efforce aussi de mener une politique climatique basée sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'adaptation aux conséquences des changements climatiques. La Confédération dispose de longues séries de mesures qui lui permettent de mettre à disposition un large éventail d'indicateurs décrivant l'évolution du climat sur le long terme et mettant en évidence les changements liés au climat. Les indicateurs climatiques fournissent des données déterminantes pour réagir de manière appropriée aux niveaux économique et politique : ils permettent de reconnaître à temps les effets préjudiciables et de vérifier la pertinence et l'efficacité des mesures visant à les limiter.

Le présent rapport s'inscrit dans la continuité des publications antérieures, mais est publié pour la première fois sous l'égide du *National Centre for Climate Services* (NCCS). Il fournit des informations sur les causes et les effets des changements climatiques et souligne la nécessité de mettre en œuvre des mesures de réduction des émissions et d'adaptation.

Katrin Schneeberger, directrice
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Peter Binder, directeur
Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse)

Résumé

L'influence de l'homme sur le climat par le biais des rejets de gaz à effet de serre est considérée comme la principale cause du réchauffement mondial observé depuis 1850. En Suisse, la majeure partie des émissions de CO_2 sont issues de la consommation d'énergie. Selon l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre, les émissions de CO_2 ont été multipliées par six entre 1900 et 2018, l'augmentation la plus importante ayant été enregistrée entre 1945 et 1970, période après laquelle le niveau élevé auquel elles se situent depuis lors a été atteint. Cette évolution est principalement due à une forte croissance économique et à la progression rapide du trafic routier.

Les émissions totales de gaz à effet de serre de la Suisse ont légèrement diminué depuis 2005 et s'élevaient à 46,4 millions de tonnes d'équivalents CO_2 en 2018. Toutefois, ce chiffre n'inclut pas toutes les émissions imputables à la Suisse : si l'on considère l'impact global de la consommation suisse, en 2015, environ 70 % des émissions de gaz à effet de serre ont été générées à l'étranger.

La température moyenne a augmenté d'environ 2 °C en Suisse depuis l'ère préindustrielle, soit deux fois plus que la hausse mondiale moyenne. Les cinq années les plus chaudes de la série de mesures dont on dispose (1864-2019) ont toutes été enregistrées après 2010. Les vagues de chaleur ainsi que la fréquence accrue de journées et de nuits chaudes, tout comme la diminution de la couverture neigeuse sur le Plateau, attestent des changements climatiques. L'intensité et la fréquence des fortes précipitations se sont également accrues.

L'avenir climatique de la Suisse dépend en grande partie de l'évolution des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Les scénarios climatiques nationaux les plus récents (CH2018) indiquent que si l'on parvient à les réduire massivement au cours des prochaines décennies, le climat de la Suisse se réchauffera de 2,1 à 3,4 °C par rapport au niveau préindustriel d'ici la fin du siècle. En revanche, si les rejets de gaz à effet de serre continuent d'augmenter, la température moyenne en Suisse pourrait s'élever de 4,8 à 6,9 °C par rapport au niveau préindustriel au cours de la même période. Selon ce scénario pessimiste, les précipitations estivales moyennes pourraient diminuer de 25 % d'ici au milieu du 21e siècle (et jusqu'à 40 % d'ici la fin du siècle), la fréquence des fortes précipitations augmenterait de 10 % (et de 20 % d'ici la fin du siècle) et l'intensité et la fréquence des vagues de chaleur s'accroîtraient sensiblement. En revanche, une protection du climat appropriée permettrait d'éviter près de la moitié des conséquences possibles sur le climat en Suisse d'ici à 2060 et près des deux tiers d'entre elles d'ici à 2100.

Les effets des changements climatiques sont de plus en plus visibles, tout particulièrement dans les régions englacées. Les glaciers suisses reculent progressivement depuis plus de 100 ans. La perte de volume s'est accélérée au cours des dix dernières années, pour atteindre une moyenne de 2 % par an. Il est probable que d'ici la fin de ce siècle, il ne restera plus que de rares vestiges de glaciers dans l'espace alpin. C'est déjà le cas pour les plus petits glaciers : le glacier du Pizol ne fait plus l'objet de mesures depuis 2019, sa surface résiduelle étant trop réduite.

Depuis le début des mesures dans les années 1960, des températures en hausse sont enregistrées dans les grands cours d'eau de Suisse. Bien que les rejets d'eau de refroidissement influencent cette tendance, les changements climatiques jouent également un rôle important. Des modifications significatives peuvent aussi être observées au niveau de la flore et de la faune. Ainsi, la végétation de différentes espèces démarre de plus en plus tôt dans toute la Suisse. Entre 1951 et 2019, un début de printemps « très précoce » a été enregistré pour neuf années, dont sept depuis 1990.

Les changements climatiques ont également un impact sur la société. Les vagues de chaleur mettent l'organisme humain à rude épreuve ; elles peuvent entraîner une déshydratation ou une détérioration de la fonction cardiaque ou pulmonaire, ce qui se traduit également par une augmentation des admissions dans les services d'urgences des hôpitaux. Les personnes âgées et les nourrissons sont particulièrement à risque. Durant la canicule de 2003, on a dénombré en Suisse, entre juin et août, 975 décès de plus que les autres années à la même période. Des taux de mortalité accrus ont également été enregistrés au cours de l'été 2015 et, dans une moindre mesure, en 2018.

La Suisse participe à la deuxième période d'engagement du Protocole de Kyoto avec comme objectif de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 20 % par rapport à 1990 d'ici à 2020. Cependant, les données les plus récentes de l'inventaire national des gaz à effet de serre disponibles pour 2018 indiquent que cet objectif pourrait ne pas être atteint. La Suisse souhaite réduire ses émissions de 50 % d'ici à 2030 dans le cadre de l'Accord de Paris. Elle a, par ailleurs, annoncé son intention d'atteindre l'objectif de « zéro émission nette » d'ici à 2050. Pour être en mesure d'y parvenir, elle devra considérablement accroître ses efforts.

La loi sur le CO_2 est la principale base légale pour mettre en œuvre des mesures visant à réduire les émissions. Ainsi, le Programme Bâtiments a permis une réduction d'environ 0,5 million de tonnes de CO_2 par an depuis 2010 (état en 2017). Ce programme, financé en partie par la taxe sur le CO_2, encourage notamment les assainissements énergétiques et le remplacement des systèmes de chauffage à combustibles fossiles. Le 25 septembre 2020, le Parlement a adopté la révision de la loi sur le CO_2. Celle-ci prévoit de réduire les émissions d'au moins 50 % par rapport à 1990 d'ici à 2030.

En raison de l'inertie du système climatique, les changements se poursuivront, même en cas de cessation immédiate des émissions de gaz à effet de serre. La Suisse doit donc anticiper suffisamment tôt les conséquences prévisibles. Le Conseil fédéral a adopté, en 2012, une stratégie d'adaptation aux changements climatiques ayant pour objectif de minimiser les risques, d'exploiter les opportunités et d'accroître la capacité d'adaptation aux changements climatiques. Dans le domaine de la gestion de l'eau, par exemple, l'objectif poursuivi est une gestion de l'eau durable et axée sur l'offre. La Confédération encourage la mise en œuvre de cette stratégie par le biais du programme pilote « Adaptation aux changements climatiques ».

Afin de soutenir le développement et l'application de mesures de protection du climat ou d'adaptation, la Confédération a créé, en 2015, le *National Centre for Climate Services* (NCCS), un réseau au sein duquel les membres[1] regroupent leurs prestations climatologiques qu'ils mettent à disposition sur la plateforme *www.nccs.ch.* Le dialogue et le développement de services climatologiques en partenariat avec les producteurs et les utilisateurs en sont l'élément central. Le présent rapport est un exemple de la coopération et de l'échange d'expertise entre les différentes institutions et les acteurs qui traitent de questions liées aux changements climatiques.

1 *www.nccs.admin.ch/membres-et-partenaires.html*

1 Introduction

1.1 Contexte

Les gaz à effet de serre sont des gaz présents dans l'atmosphère où ils absorbent une partie du rayonnement thermique de la Terre qui irait, sinon, se perdre dans l'espace. Ils sont nécessaires à la vie sur Terre car ils exercent une influence considérable sur le bilan radiatif de la Planète et, par conséquent, sur les températures terrestres. Ils comprennent des gaz naturels, tels que la vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O), ainsi que des gaz créés par l'homme tels que les hydrofluorocarbures (HFC).

Ces dernières années, les concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre (CO_2, N_2O et CH_4) ont atteint des niveaux sans précédent depuis au moins 800 000 ans (GIEC 2013/2014). L'analyse des carottes de glace montre qu'une concentration élevée de CO_2 dans l'atmosphère est toujours allée de pair avec des températures ambiantes relativement élevées (effet de serre). La concentration de CO_2 dans l'atmosphère n'a, en outre, jamais augmenté aussi rapidement au cours des 22 000 dernières années qu'au cours du siècle passé (GIEC 2013/2014). Cette augmentation rapide est principalement due aux activités anthropiques, en premier lieu l'utilisation de combustibles et de carburants fossiles et les changements d'utilisation des sols, qui ont fait passer la concentration de CO_2 du niveau préindustriel d'environ 280 ppm[2] en 1750 à plus de 415 ppm en 2019 (Scripps 2019).

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque et, depuis les années 1950, beaucoup de modifications observées n'étaient jamais apparues pendant des décennies, voire des millénaires (GIEC 2014b). Au cours du 20e siècle, et surtout depuis les années 1980, on observe une forte augmentation de la température. Le réchauffement planétaire enregistré depuis le début des relevés systématiques aux alentours de 1850 est d'environ 1 °C. La variabilité naturelle du climat ne suffit pas à expliquer ce changement très rapide. L'influence humaine et ses conséquences sur le climat sont aujourd'hui incontestables. La création, en 1988, du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et la publication de ses rapports d'évaluation, ainsi que l'adoption, en 1992, de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (Convention-cadre sur les changements climatiques, CCNUCC), marquent le début des efforts coordonnés au plan international en vue de protéger le système climatique. L'Accord de Paris[3], adopté en 2015 par 197 pays, a pour but de contenir l'élévation de la température mondiale bien en dessous de 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle. Dans le même temps, les flux financiers devront être axés sur un développement à faible émission de gaz à effet de serre et un renforcement de la capacité d'adaptation aux changements climatiques. La Suisse a ratifié cet accord le 6 octobre 2017.

Les services climatologiques au sens du Cadre mondial pour les services climatologiques (GFCS[4]) sont des informations concernant le climat passé, présent et futur, ainsi que ses conséquences pour l'environnement, l'économie et la société, qui reposent sur des bases scientifiques. Ils permettent de planifier et de mettre en œuvre des mesures ciblées et efficaces de protection du climat et d'adaptation et aident les autorités, les milieux politiques et le monde économique à prendre des décisions compatibles avec le climat. L'objectif visé est notamment de gérer plus efficacement les risques, d'identifier et d'exploiter les opportunités à un stade précoce et d'optimiser les coûts. Le présent rapport, élaboré conjointement par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et l'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse) dans le cadre du *National Centre for Climate Services* (NCCS), fournit des informations sous la forme d'indicateurs qui documentent les changements climatiques ainsi que leurs causes et leurs effets en Suisse.

2 Parties par million

3 Pour de plus amples informations cf.: *https://unfccc.int/fr/process-and-meetings/the-paris-agreement/l-accord-de-paris*

4 Global Framework for Climate Services (GFCS): *www.gfcs-climate.org*

1.2 Données de base

Ce rapport actualise et complète les rapports antérieurs publiés en 2007 (North et al. 2007) et en 2013 (Perroud et Bader 2013). Il fournit des informations sur les causes des changements climatiques, les modifications du climat observées en Suisse et leur impact sur la nature et la société, ainsi que sur les mesures de réduction des émissions et d'adaptation aux changements climatiques prises jusqu'ici. Par rapport aux éditions précédentes, il contient également des informations sur l'évolution future probable du climat. Le chapitre concernant l'impact sur la société a, par ailleurs, été étoffé.

Afin de pouvoir prendre des décisions fondées sur des faits et vérifier l'efficacité des mesures prises, il est nécessaire de disposer de données d'observation sur le long terme de haute qualité et de projections détaillées des changements climatiques et de leurs conséquences. Les données collectées à intervalles réguliers permettent de décrire et d'évaluer les causes et les effets des changements climatiques sur l'environnement naturel et de l'homme en Suisse. Les indicateurs contenus dans le présent rapport doivent notamment remplir les conditions suivantes : donner une image représentative des éléments du système climatique, permettre de suivre l'évolution dans le temps, être fondés sur une méthodologie scientifique, être compréhensibles et clairs, et permettre une interprétation univoque.

Les indicateurs des émissions de gaz à effet de serre sont principalement tirés de l'inventaire des gaz à effet de serre élaboré chaque année par l'OFEV conformément aux directives de la Convention-cadre sur les changements climatiques. Cet inventaire sert également à contrôler la mise en œuvre de la loi sur le CO_2. L'OFEV dispose ainsi de données détaillées sur l'évolution des émissions dans les différents secteurs.

S'agissant des données atmosphériques, MétéoSuisse exploite un réseau dense de stations d'observation. Son réseau de mesures climatiques enregistre des paramètres météorologiques en Suisse depuis 1864. Ces données sont utilisées pour étudier les variations passées du climat.

Les décideurs doivent également disposer d'estimations de l'évolution future du climat afin de planifier l'adaptation aux changements climatiques. Aussi, MétéoSuisse a en outre, depuis 2014, un mandat de la Confédération afin d'élaborer régulièrement des scénarios climatiques pour la Suisse, et ce dans le cadre de l'un des thèmes prioritaires du NCCS. Les scénarios les plus récents, CH2018, ont été publiés le 13 novembre 2018[5].

Les appréciations concernant l'impact des changements climatiques sur l'environnement naturel et la société se fondent sur des mesures et des relevés effectués par l'OFEV ainsi que sur des évaluations fournies par des réseaux de mesure et d'observation ou des enquêtes réalisées par d'autres offices fédéraux ou des instituts de recherche.

Les indicateurs relatifs aux mesures de réduction des émissions et à leurs effets sont principalement basés sur les données de l'OFEV et de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Les mesures d'adaptation sont prises à différents niveaux (Confédération, cantons, communes, secteur privé) et couvrent un grand nombre de domaines. Toutefois, un panorama complet des mesures n'est pour l'heure pas disponible. Des données qualitatives peuvent également constituer une source d'informations pertinente, notamment en ce qui concerne l'adaptation.

1.3 Structure du rapport

La structure du présent rapport est basée sur le modèle DPSIR[6] :

- Drivers (forces) ;
- Pressures (pressions) ;
- State (état) ;
- Impacts (impacts) ;
- Responses (réponses).

Ce modèle permet d'analyser les relations entre différents facteurs dans une chaîne causale. Le chapitre 2 décrit l'évolution des émissions de gaz à effet de serre et les activités qui en sont la cause et les chapitres 3

5 Pour de plus amples informations, cf. : *www./scenarios-climatiques.ch*

6 Pour de plus amples informations, cf. : *www.bafu.admin.ch/dpsir*

et 4, l'évolution passée et attendue du climat en Suisse. Les chapitres 5 et 6 présentent les impacts des changements climatiques sur les systèmes naturels et anthropiques. Les chapitres 7 et 8 portent sur les indicateurs qui fournissent des informations sur les mesures de réduction des émissions et d'adaptation prises et sur les effets de celles-ci.

2 Émissions de gaz à effet de serre de la Suisse

Les émissions de gaz à effet de serre générées par les activités humaines sont responsables des changements climatiques observés depuis le milieu du 20e siècle. Les émissions mondiales ont commencé à augmenter fortement au début des années 1950 avec l'utilisation généralisée du pétrole en tant que combustible et carburant (GIEC 2014b).

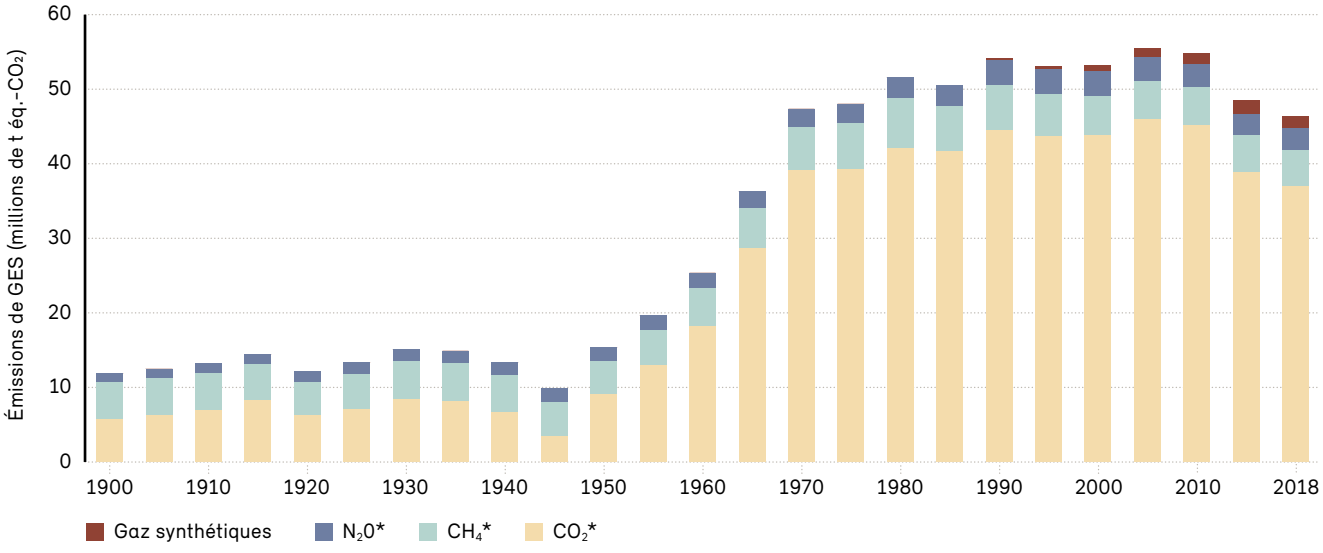
Ce chapitre est consacré à la Suisse en tant que responsable d'émissions de gaz à effet de serre et à sa contribution au réchauffement mondial. Les quatre premières sections portent sur les émissions intérieures, à savoir celles qui sont générées en Suisse. Les données sont basées sur l'inventaire des gaz à effet de serre que la Suisse s'est engagée à établir chaque année sous la Convention-cadre sur les changements climatiques. Les émissions sont présentées par gaz sous 2.1 et par activité sous 2.2 ; l'intensité des émissions en fonction de trois paramètres pertinents, à savoir l'évolution démographique, la croissance économique et la consommation d'énergie, est examinée sous 2.3. La perspective est élargie sous 2.4 par une analyse des émissions de la Suisse en comparaison internationale et les considérations sous 2.5 portent sur les émissions générées (directement ou indirectement) à l'étranger par la Suisse.

2.1 Émissions intérieures de gaz à effet de serre par gaz

Les gaz à effet de serre sont des gaz d'origine naturelle ou anthropique. Dans l'atmosphère, ils absorbent le rayonnement émis à la surface de la Terre provoquant ainsi le réchauffement planétaire (GIEC 2014a). Le CO_2, le CH_4, le N_2O et les gaz synthétiques (HFC, PFC, SF_6 et NF_3) ont une influence particulièrement forte sur le climat. En

Fig. 1 : Émissions totales de gaz à effet de serre

Émissions intérieures de CO_2, CH_4 et N_2O et émissions de gaz synthétiques (HFC, PFC, SF_6 et NF_3) de la Suisse, en équivalents CO_2, de 1900 à 2018.



* Au moment de la publication du présent rapport, l'OFEV révisait les chiffres des émissions antérieures à 1990. S'agissant des émissions de N_2O, l'hypothèse simplifiée selon laquelle, en 1900, les émissions de N_2O de l'agriculture correspondaient à la moitié de leur niveau en 1990 a été posée. Une interpolation linéaire a été effectuée entre ces deux années.

Source : OFEV (2020a)

Suisse, les émissions de ces gaz sont restées stables jusqu'en 1950 ; ensuite les émissions de CO_2 ont commencé à augmenter sensiblement (figure 1). Cette phase s'est achevée dans les années 1980. Jusqu'en 2010, le niveau des émissions est resté globalement stable, puis on observe une légère tendance à la baisse. Entre 1900 et 2018, les émissions totales de gaz à effet de serre de la Suisse ont été pratiquement multipliées par quatre, passant d'environ 12 à 46,4 millions de tonnes d'équivalents CO_2 (éq.-CO_2)[7] (OFEV 2020a). L'OFEV revoit actuellement les chiffres des émissions antérieures à 1990 ; les hypothèses posées pour les émissions de N_2O ont notamment dû être simplifiées.

Depuis le début du 20e siècle, la part des émissions de CO_2 par rapport aux émissions totales est passée de 48 % à 80 % (figure 1). Les émissions de CO_2 proviennent essentiellement des combustibles et des carburants fossiles. La hausse considérable des émissions de CO_2 depuis 1950 est principalement imputable à la forte croissance économique et à l'évolution rapide du trafic routier (cf. 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 et 2.2.5).

Les émissions de CH_4 et de N_2O sont essentiellement générées par l'agriculture, bien que de faibles quantités soient également libérées lors de l'utilisation de combustibles et de carburants fossiles, lors de la gestion des déchets (décharges, installations de traitement des eaux usées, compostage, installations de méthanisation) et lors de procédés industriels.

Les gaz synthétiques (HFC, PFC, SF_6 et NF_3) ne sont émis à des niveaux significatifs que depuis les années 1990. Leur utilisation a néanmoins augmenté depuis en raison de l'interdiction ou de la limitation, dans les pays industrialisés, des CFC et des HCFC, des gaz appauvrissant la couche d'ozone. En 2018, les émissions de gaz synthétiques représentaient à peine 4 % des émissions intérieures de gaz à effet de serre de la Suisse. Ces gaz ont toutefois un potentiel de réchauffement global très élevé (50 à 24 000 fois supérieur à celui du CO_2) et persistent dans l'atmosphère durant des siècles, voire des millénaires. Ils sont notamment utilisés dans les agents réfrigérants pour les systèmes de refroidissement stationnaires et les systèmes de climatisation mobiles, comme agents moussants dans la production de mousses, en tant que gaz isolants dans les appareils électriques, ainsi que dans les aérosols à usage médical.

7 Les différents gaz à effet de serre sont convertis en équivalents CO_2. La conversion tient compte des potentiels de réchauffement différents des gaz à effet de serre par rapport au CO_2. P. ex., un kg de CH_4 correspond à 25 kg d'équivalents CO_2 et un kg de N_2O à 298 kg d'équivalents CO_2.

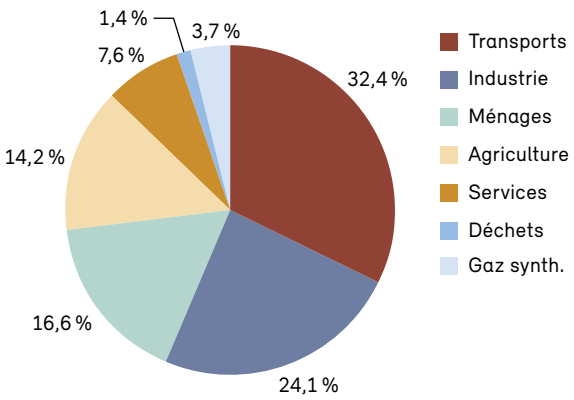
2.2 Émissions intérieures de gaz à effet de serre par secteur

L'homme génère des émissions de gaz à effet de serre dans tous les secteurs, que ce soit les bâtiments, les transports, l'industrie, l'agriculture ou les déchets. Les secteurs représentés ici sont définis conformément à l'ordonnance sur le CO_2, le secteur des bâtiments regroupant les ménages et les services (OFEV 2020b).

Les données de l'inventaire des gaz à effet de serre pour l'année 2018 montrent que le secteur des transports est celui qui génère le plus de gaz à effet de serre, avec une part de 32,4 % (figure 2). Viennent ensuite le secteur de l'industrie et les ménages, avec des parts respectivement de 24,1 % et de 16,6 %. Les secteurs de l'agriculture et des services sont responsables respectivement de 14,2 % et de 7,6 % des émissions totales de gaz à effet de serre, les parts des gaz synthétiques et du secteur des déchets représentant respectivement de 3,7 % et de 1,4 %.

Fig. 2 : Émissions de gaz à effet de serre par secteur

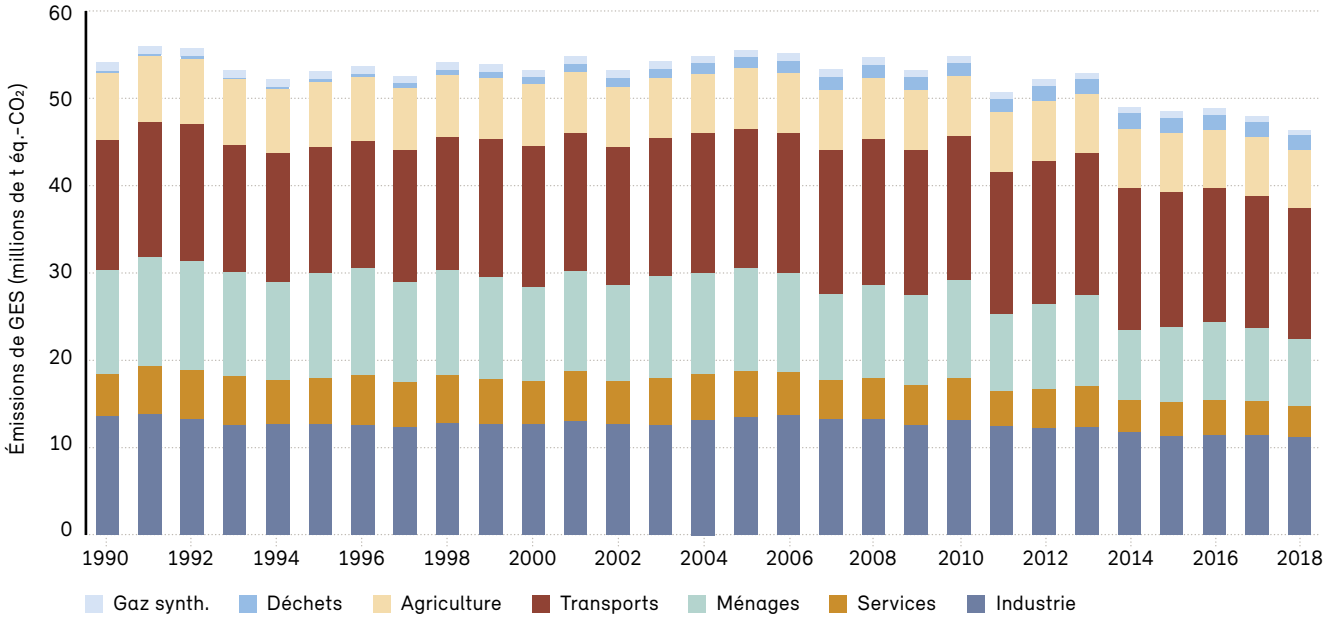
Part des différents secteurs par rapport aux émissions intérieures totales de gaz à effet de serre de la Suisse en 2018.



Source : OFEV (2020a)

Fig. 3 : Parts des émissions de gaz à effet de serre par secteur

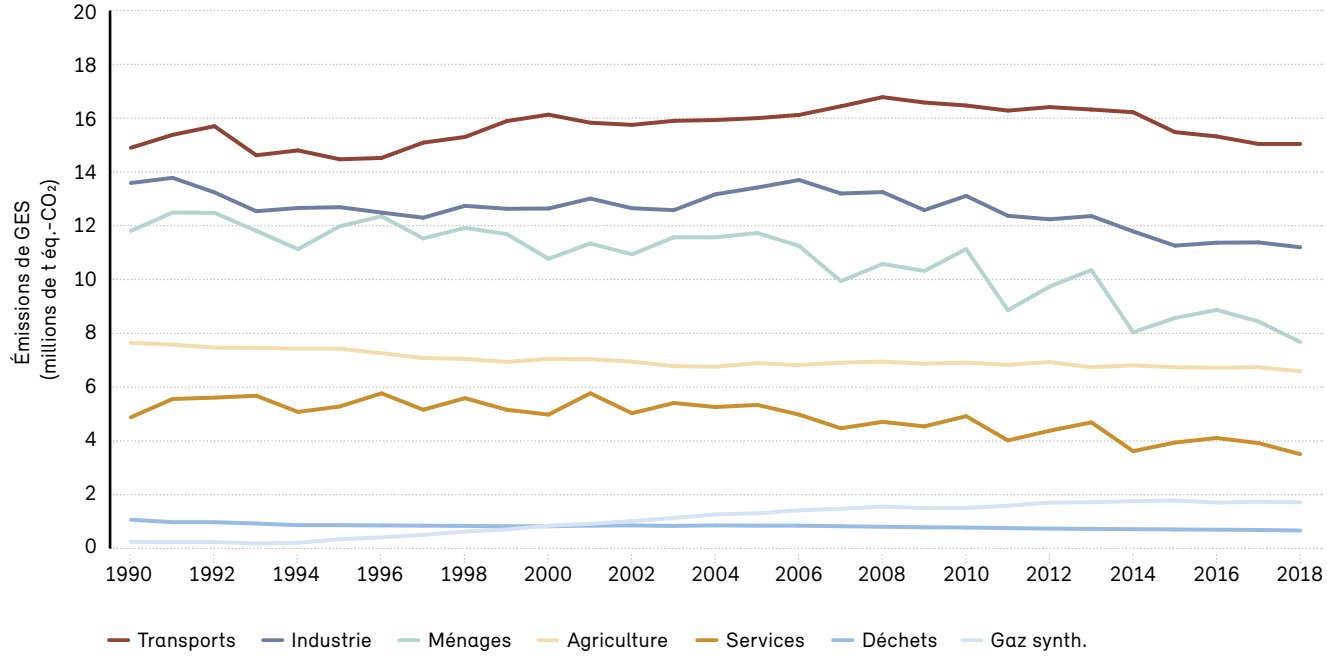
Parts des différents secteurs, en équivalents CO_2, par rapport aux émissions intérieures totales de gaz à effet de serre en Suisse de 1990 à 2018.



Source : OFEV (2020a)

Fig. 4 : Évolution des émissions de gaz à effet de serre par secteur

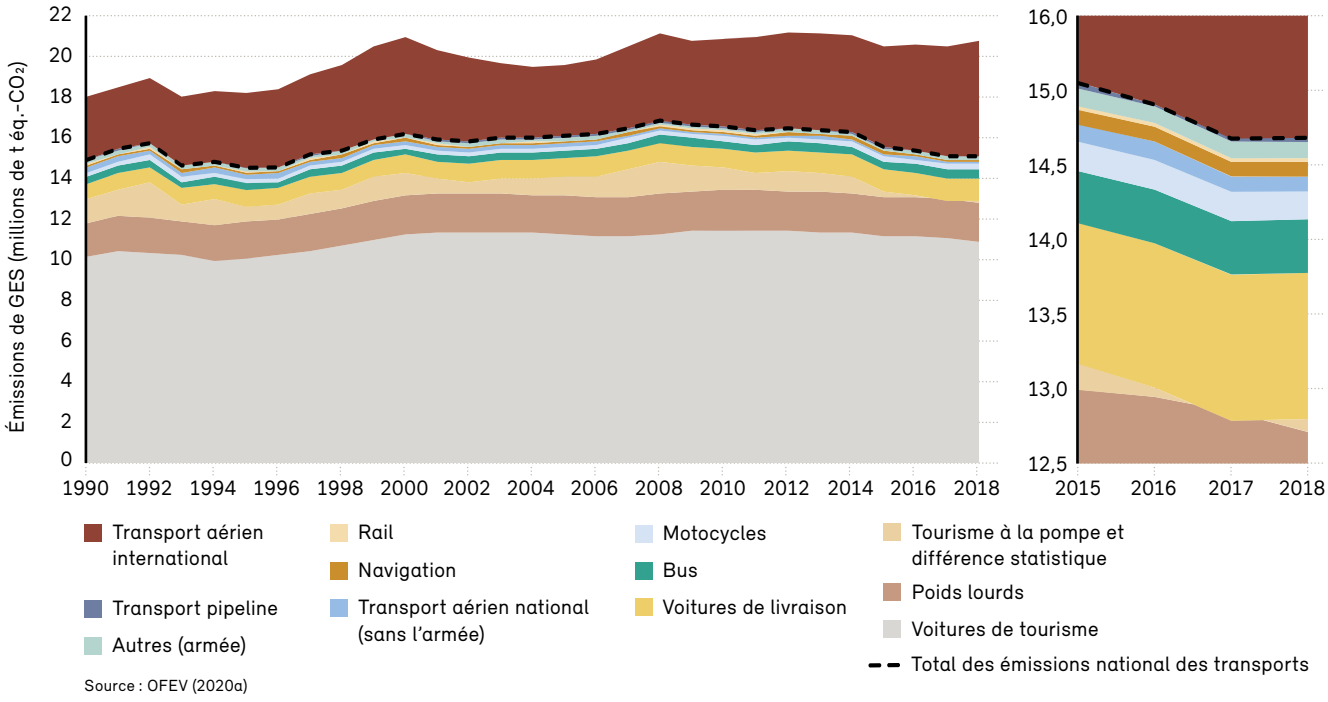
Évolution des émissions intérieures de gaz à effet de serre par secteur, en équivalents CO_2, en Suisse de 1990 à 2018.



Source : OFEV (2020a)

Fig. 5 : Émissions de gaz à effet de serre des transports

Évolution des émissions de gaz à effet de serre du secteur des transports en Suisse de 1990 à 2018. La ligne noire en pointillé représente la somme des émissions intérieures totales de gaz à effet de serre du secteur des transports (sans le transport aérien et maritime international).



Source : OFEV (2020a)

Les émissions de gaz à effet de serre des différents secteurs font l'objet d'analyses plus approfondies ci-après, le dernier point portant sur les émissions et les puits de carbone liés à l'utilisation des sols.

2.2.1 Transports

Le secteur des transports regroupe les émissions issues du transport routier, du transport par bateau, du transport par rail ainsi que du transport aérien intérieur, de la consommation de carburant de l'armée, du tourisme à la pompe[8] et de l'exploitation des gazoducs. En 2018, la contribution de ce secteur aux émissions totales de gaz à effet de serre correspondait à 15 millions de tonnes d'éq.-CO_2 (32 %) (figure 4) et les émissions liées aux transports étaient supérieures de 1 % à leur niveau de 1990.

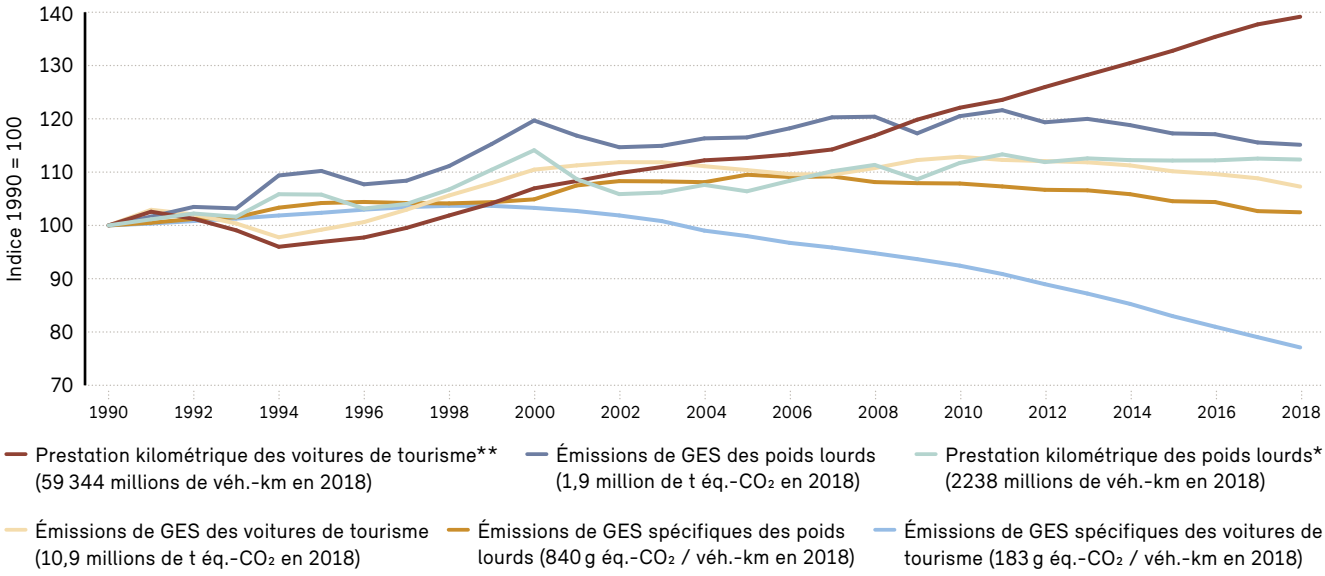
La contribution du transport routier (voitures de tourisme, poids lourds, voitures de livraison, bus et motocycles) aux émissions du secteur des transports est dominante. Les voitures de tourisme sont à elles seules responsables de 72 % des émissions de ce secteur. Entre 1990 et 2018, les émissions des voitures de tourisme et des poids lourds ont augmenté respectivement de 7 % et de 15 %. Bien que l'augmentation des émissions des voitures de livraison et des bus ait été plus importante encore durant la même période (respectivement 46 % et 36 %), leur incidence sur l'ensemble des émissions du transport routier est relativement faible. Comparés au transport routier, le transport par rail et par bateau, le transport aérien intérieur (y compris militaire) et le transport par gazoduc ne contribuent que dans une très faible mesure aux émissions du secteur des transports (figure 5).

Les émissions du transport aérien et maritime international ne sont pas comptabilisées dans les émissions nationales. Le transport aérien au départ d'aéroports suisses est néanmoins responsable d'une quantité importante de

8 Le calcul des émissions de gaz à effet de serre s'effectue selon le principe de la quantité vendue. S'agissant des transports routiers, la totalité des carburants vendus dans les stations-services suisses est prise en compte. L'essence étant généralement moins chère en Suisse que dans les pays limitrophes, bon nombre de frontaliers faisaient le plein en Suisse, ce qui avait pour effet d'y augmenter la quantité vendue. Cette exportation d'essence est recensée sous le terme de « tourisme à la pompe ».

Fig. 6 : Émissions de gaz à effet de serre des voitures de tourisme et des poids lourds

Prestations kilométriques, émissions intérieures absolues et spécifiques des voitures de tourisme et des poids lourds en Suisse de 1990 à 2018.



* Sont regroupés sous poids lourds tous les véhicules utilitaires lourds (> 3,5 tonnes).
** Extrapolation pour 2016, 2017 et 2018

Sources : OFEV (2020a), OFS (2020c)

gaz à effet de serre (5,47 millions de tonnes d'éq.-CO_2 en 2018). Ces émissions ont augmenté de 83 % entre 1990 et 2018, ce qui représente la hausse la plus significative par rapport à tous les autres moyens de transport mentionnés ci-dessus.

S'agissant du transport routier, on constate une augmentation importante du nombre de véhicules. En 2018, le parc de véhicules routiers à moteur[9] comptait 6,2 millions de véhicules, soit une progression de 48 % par rapport à 1990. Les voitures de tourisme, dont le nombre s'élevait à 4,6 millions en 2018, représentaient à peu près les trois quarts de l'ensemble des véhicules immatriculés. Leur nombre a augmenté de 54 % entre 1990 et 2018. Cette évolution est en grande partie imputable à la hausse significative du taux de motorisation (nombre de véhicules pour 1000 habitants) (OFS 2020c).

La prestation kilométrique[10] des voitures de tourisme s'est élevée à 59 344 millions de véhicules-kilomètres en 2018 (soit une augmentation de 39 % par rapport à 1990) (figure 6). Les voitures de tourisme ont rejeté près de 11 millions de tonnes d'éq.-CO_2 en 2018 ; la hausse de leurs émissions de gaz à effet de serre a toutefois été sensiblement plus faible depuis 1990 (+7 %) malgré un accroissement du parc de voitures et de la prestation kilométrique. Cette évolution peut en partie s'expliquer par la proportion plus grande de véhicules diesel, qui rejettent moins de CO_2. La consommation d'essence de l'ensemble du secteur a diminué de 38,7 % entre 2000 et 2018, alors que celle de diesel a presque doublé (+96,4 %) (Prognos, TEP, Infras 2019a).

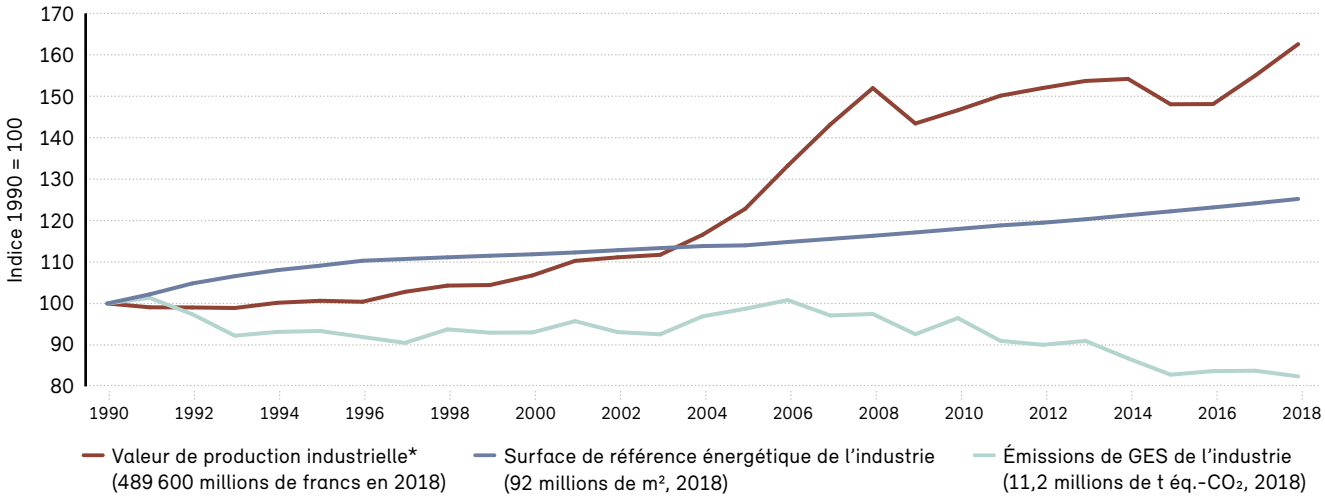
Parallèlement à l'utilisation accrue de diesel en remplacement de l'essence, l'amélioration de l'efficacité des moteurs des véhicules a également contribué au recul des émissions spécifiques (émissions par distance parcourue). Les émissions spécifiques des voitures de tourisme, par exemple, ont diminué de 23 % entre 1990 et 2018. En

9 Véhicules routiers à moteur (selon l'OFS) = voitures de tourisme, véhicules de transport de personnes, véhicules de transport de choses, véhicules agricoles, véhicules industriels et motocycles

10 On entend par prestation kilométrique la distance annuelle parcourue par les véhicules sur le territoire suisse (OFS 2020c).

Fig. 7 : Émissions de gaz à effet de serre de l'industrie

Évolution de la production, de la surface de référence énergétique et des émissions intérieures totales de gaz à effet de serre de l'industrie en Suisse de 1990 à 2018.



* Valeur ajoutée brute de l'industrie (selon les catégories 05 à 43 de la NOGA), en francs suisses, en prix courants. Les données concernant les valeurs de production ne sont disponibles qu'à partir de 1995. Les valeurs pour la période de 1990 à 1994 ont été complétées sur la base du PIB. Les valeurs pour 2017 et 2018 sont provisoires.

Sources : OFEV (2020a), OFEN (2019b), OFS (2020a)

revanche, les émissions spécifiques des poids lourds accusent une hausse de plus de 2 % depuis 1990 en raison de l'immatriculation de véhicules plus lourds sur les routes suisses[11] (figure 6).

2.2.2 Industrie

En 2018, l'ensemble du secteur de l'industrie a contribué à raison de 11 millions de tonnes d'éq.-CO_2 (24 %) aux émissions totales de gaz à effet de serre. Près de la moitié des émissions de ce secteur provient de la consommation d'énergie de l'industrie manufacturière et de la construction, bien que certains déchets soient également utilisés en tant que combustibles de substitution. Un tiers des émissions du secteur de l'industrie est imputable aux usines d'incinération des ordures ménagères, à la production de chaleur à distance et aux raffineries. Les émissions restantes sont principalement générées lors de la production de ciment et dans l'industrie chimique. En 2018, plus de 71 % des quantités de combustibles utilisées dans ce secteur servaient à la production de chaleur industrielle, alors que la consommation d'énergie pour le chauffage des bâtiments n'a eu qu'une influence secondaire (Prognos, TEP, Infras 2019a). Les variations de la production industrielle impactent donc directement les émissions de ce secteur.

Des tendances opposées peuvent être observées au sein du secteur de l'industrie entre 1990 et 2018 : si les émissions dues à la consommation d'énergie dans l'industrie manufacturière et la construction ont diminué de 27 %, celles des usines d'incinération des ordures ménagères, de la production de chaleur à distance et des raffineries ont augmenté de 33 %, principalement en raison de la hausse de l'incinération de déchets (en grande partie induite par la croissance démographique et économique). Enfin, les émissions générées par les processus industriels ont progressé de 3 %[12]. Dans l'ensemble, le secteur de l'industrie enregistre un recul de 18 % de ses émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2018, et ce alors que, dans le même temps, la valeur ajoutée brute de l'industrie et la surface de référence énergétique[13] des bâtiments industriels ont augmenté de 25 % (figure 7). Ce

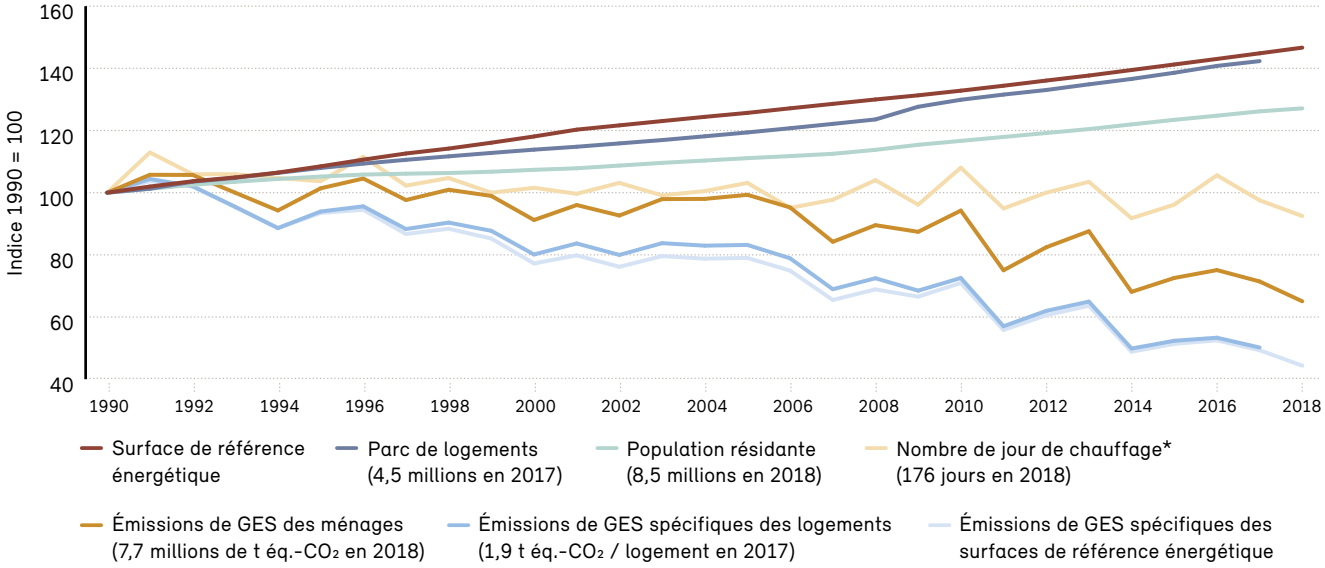
11 Relèvement progressif du poids maximal admissible de 28 à 40 tonnes au début des années 2000

12 Émissions de gaz à effet de serre des processus industriels sans l'utilisation énergétique et sans les émissions de gaz synthétiques

13 La surface de référence énergétique correspond à la somme de toutes les surfaces de plancher chauffées ou climatisées.

Fig. 8 : Émissions de gaz à effet de serre des ménages

Évolution démographique, évolution du nombre de logements et des surfaces de référence énergétique, ainsi que nombre de jours de chauffage en Suisse de 1990 à 2018. Émissions intérieures annuelles de gaz à effet de serre totales et spécifiques (par logement et par surface de référence énergétique) issues des combustibles fossiles utilisés par les ménages.



* Jours de chauffage : moyenne des données de Locarno Monti, Genève Cointrin et Zurich Fluntern.

Sources : OFEV (2020a), OFEN (2019e, 2019f), OFS (2020b), MétéoSuisse (2020a)

recul reflète l'efficacité accrue de ce secteur, mais aussi la délocalisation des branches de production à forte intensité énergétique à l'étranger.

2.2.3 Ménages

En 2018, les ménages ont contribué à hauteur de 7,7 millions de tonnes d'éq.-CO_2 (17 %) aux émissions totales de gaz à effet de serre. Les émissions sont principalement imputables aux surfaces habitables chauffées (la mobilité des ménages privés étant recensée dans le secteur des transports). Le chauffage représentait 65 % de la consommation d'énergie des ménages (électricité comprise), le reste étant imputable à la production d'eau chaude (14 %) et à d'autres équipements, tels que les appareils électroménagers et la climatisation. Dans la majorité des ménages, la chaleur est produite à partir de combustibles fossiles (37 % de la surface de référence énergétique étant chauffée au mazout et 26 % au gaz naturel) (Prognos, TEP, Infras 2019a).

L'évolution des émissions de gaz à effet de serre provenant de la consommation d'énergie des ménages est interprétée ci-après à l'aide de quatre indicateurs : la croissance démographique, le parc de logements, la surface de référence énergétique et les jours de chauffage[14] (figure 8). Entre 1990 et 2018, la population de la Suisse a augmenté de 27 % (OFS 2020b), d'où une demande croissante d'énergie. L'augmentation de la surface de référence énergétique des logements (+47%) a été encore plus prononcée que la croissance démographique (OFS 2019f). Malgré cette progression, les émissions des ménages ont diminué de 35 % au cours de cette période. Cette tendance est principalement imputable au remplacement des systèmes de chauffage au mazout par des systèmes au gaz naturel qui rejettent moins d'émissions (hausse de 92 % de la surface de référence énergétique chauffée au gaz naturel entre 2000 et 2018). L'augmentation de la surface de référence chauffée par des énergies non fossiles (+532 % pour les pompes à chaleur, +580 % pour l'énergie solaire et +40 % pour le bois entre 2000 et 2018) a elle aussi contribué à la réduc-

14 Jours durant lesquels la température extérieure moyenne ne dépasse pas 12 °C et où il faut généralement chauffer pour maintenir une température ambiante de 20 °C.

tion des émissions (Prognos, TEP, Infras 2019a). Enfin, l'amélioration des normes d'isolation et l'assainissement énergétique des bâtiments ont permis de réaliser des économies d'énergie. Dans l'ensemble, la consommation d'énergie pour le chauffage des logements a diminué de 13 % entre 2000 et 2018, malgré une augmentation significative de la surface de référence énergétique (Prognos, TEP, Infras 2019a).

Les conditions météorologiques saisonnières sont un autre facteur ayant une incidence sur les émissions qui explique aussi les fortes fluctuations annuelles des émissions (figure 8). En Suisse, les émissions de CO_2 et le nombre de jours de chauffage (OFEV 2018a) sont très étroitement corrélés. Lors d'hivers longs et froids, les besoins en chauffage sont plus élevés que lors d'hivers courts et doux. Les valeurs d'émission enregistrées en 2011 et en 2014 et les niveaux élevés en 2010 et en 2013 illustrent ce phénomène. Le nombre de jours de chauffage tend néanmoins à diminuer en Suisse (cf. 6.2).

2.2.4 Agriculture

En 2018, le secteur de l'agriculture a contribué à hauteur de 6,6 millions de tonnes d'éq.-CO_2 (14 %) aux émissions totales de gaz à effet de serre de la Suisse. Les principales émissions provenant de l'agriculture sont le CH_4 et le N_2O. Ce secteur est également responsable de la plus grande part des émissions intérieures totales de CH_4 et de N_2O (respectivement 83 % et 66 %). Cependant, sa contribution aux émissions totales de CO_2 (consommation énergétique de l'agriculture et de la sylviculture) est faible.

Les émissions de CH_4 proviennent de la digestion[15] des animaux de rente ou sont libérées lors de l'épandage des engrais de ferme. 82 % des émissions de CH_4 provenant de l'agriculture et 68 % des émissions totales de CH_4 sont imputables à l'élevage. Les émissions de N_2O sont principalement issues de la dégradation des engrais commerciaux et de ferme sur les terres agricoles.

Un recul de 9,9 % des émissions de CH_4 a été enregistré pour l'ensemble du secteur agricole entre 1990 et 2018 (figure 9), cette baisse s'étant principalement produite entre 1990 et le début des années 2000 ; les émissions sont ensuite restées plus ou moins constantes. Le cheptel bovin, en particulier celui des vaches laitières, a diminué depuis 1990 (figure 10) ; en revanche, le rendement laitier moyen par vache a augmenté de 44 % grâce aux progrès en matière d'élevage. En 2018, une vache laitière adulte produisait en moyenne environ 7000 kg de lait par an. Cet accroissement du rendement a également entraîné une hausse des émissions de CH_4 par vache laitière (+17 %), alors que les émissions spécifiques de CH_4 (c'est-à-dire les émissions par volume de lait) ont diminué de 19 % entre 1990 et 2018 (figure 10).

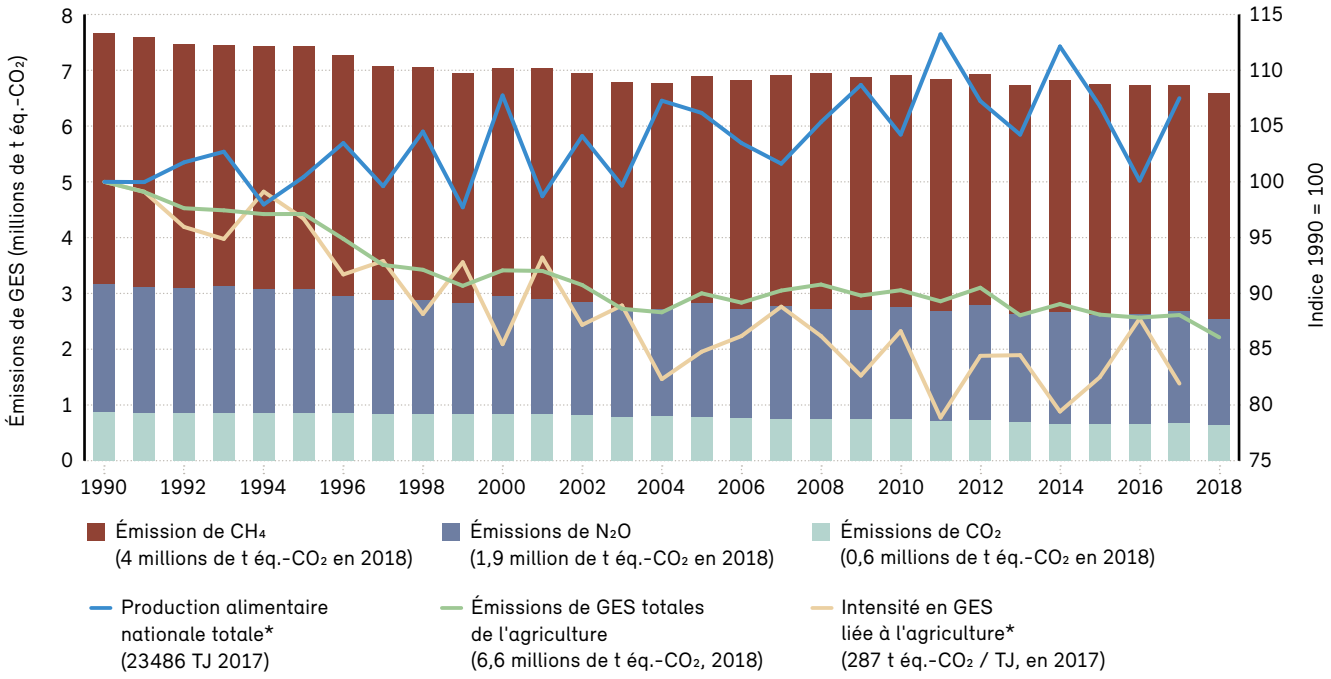
Le recul de 17 % des émissions de N_2O du secteur agricole depuis 1990 est le reflet de la diminution de l'utilisation d'engrais commerciaux et de ferme. Il a principalement été enregistré jusqu'au tournant du millénaire ; les émissions se sont ensuite largement stabilisées. L'utilisation d'engrais commerciaux et de ferme est réglementée par de nombreuses dispositions de la législation environnementale. Les engrais minéraux ne peuvent être épandus que lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'engrais de ferme. La superficie agricole est restée relativement stable au cours de la période considérée ; la baisse des quantités d'engrais épandues est donc indépendante de celle-ci.

Le secteur de l'agriculture a réduit ses émissions totales de gaz à effet de serre de 14 % par rapport à 1990. La production alimentaire indigène (en TJ) fluctue fortement d'une année à l'autre mais accuse une légère tendance à la hausse (avec une diminution des denrées d'origine animale et une augmentation de celles d'origine végétale). L'intensité en gaz à effet de serre de la production agricole (exprimée en tonnes d'éq.-CO_2 par TJ) a diminué par rapport à 1990 (figure 9).

15 Les émissions de CH_4 sont libérées lors des processus de digestion des bovins (fermentation entérique).

Fig. 9 : Émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture

Évolution des émissions intérieures de CO_2, de N_2O et de CH_4 de l'agriculture (échelle de gauche) ; évolution indexée de la production alimentaire animale et végétale indigène, des émissions totales de gaz à effet de serre de l'agriculture et des émissions de gaz à effet de serre spécifiques (intensité en gaz à effet de serre) de l'agriculture (échelle de droite) en Suisse de 1990 à 2018.

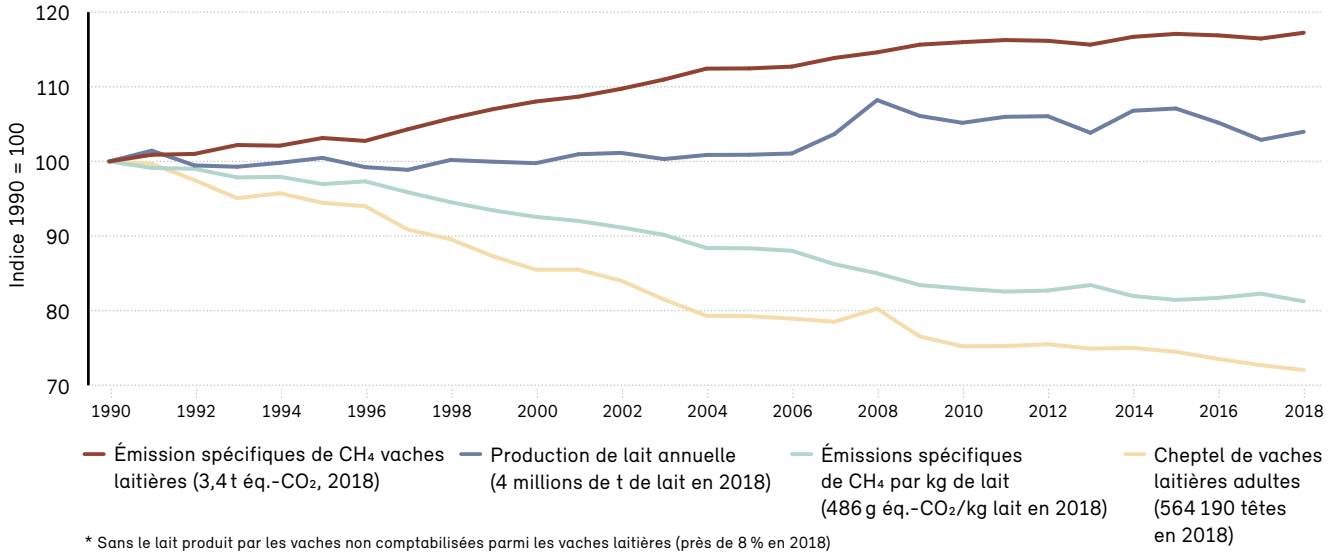


* Les données de 2018 ne sont pas encore disponibles.

Sources : OFEV (2020a), USP (2019)

Fig. 10 : Émissions de CH_4 issues de la détention d'animaux de rente

Évolution du cheptel de vaches laitières adultes, de la production annuelle de lait et des émissions de CH_4 (libérées par les vaches laitières lors de la digestion) par vache laitière et par kg de lait en Suisse de 1990 à 2018.



* Sans le lait produit par les vaches non comptabilisées parmi les vaches laitières (près de 8 % en 2018)

Source : OFEV (2020a)

2.2.5 Services

Le secteur des services, dont les principales branches sont en Suisse le tourisme, la banque et l'assurance, a contribué à hauteur de 3,5 millions de tonnes d'éq.-CO_2 (7,6 %) aux émissions totales de gaz à effet de serre en 2018. Les émissions intérieures liées à la consommation d'énergie (telles que prises en compte dans l'inventaire national) sont en grande partie imputables au chauffage des immeubles occupés et par conséquent influencées à court terme par les conditions météorologiques (Prognos, TEP, Infras 2019a).

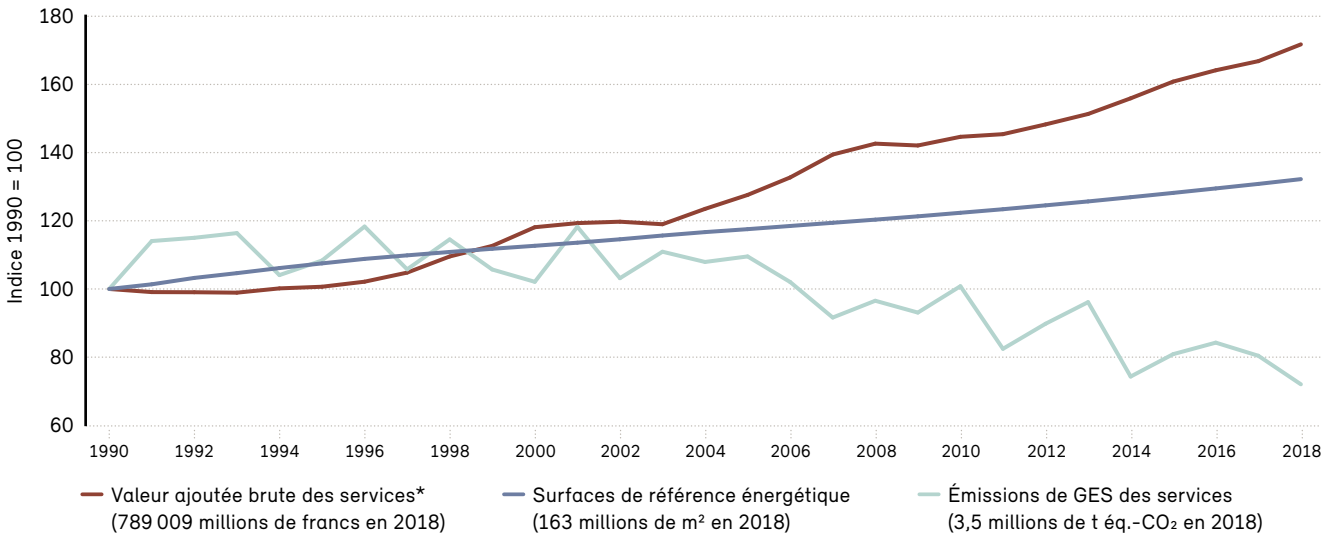
L'accroissement de la valeur ajoutée brute des services est un indicateur d'une forte croissance économique (figure 11). De par cet essor, les surfaces de référence énergétique ont également augmenté de manière significative (+32 % entre 1990 et 2018) (OFEN 2019b). Abstraction faite des influences météorologiques, les émissions tendent à diminuer même dans les phases de croissance prononcée (p. ex. entre 2004 et 2008). À l'instar des ménages, les services ont également réussi à réduire leurs émissions grâce au recours accru aux combustibles non fossiles et à une amélioration de l'efficacité énergétique (assainissement des bâtiments existants).

2.2.6 Déchets

Le secteur des déchets a contribué à hauteur de 0,7 million de tonnes d'éq.-CO_2 (1,4 %) aux émissions totales de gaz à effet de serre en 2018. La contribution relativement faible de ce secteur est également due au fait que les émissions des déchets incinérés sont comptabilisées dans le secteur de l'industrie. Les émissions non négligeables de CH_4 qui s'échappent des décharges malgré les systèmes de captage de gaz mis en place représentent actuellement la source d'émissions la plus importante du secteur des déchets (0,3 million de tonnes d'éq.-CO_2 en 2018, figure 12). Depuis l'interdiction de la mise en décharge des déchets incinérables en 2000, les déchets urbains sont acheminés vers des usines d'incinération des ordures ménagères. Toutefois, les processus de dégradation des déchets urbains mis en décharge auparavant se poursuivent et les émissions de CH_4 générées au cours de ceux-ci ne diminuent que très lentement. En 2018, les émissions de CH_4 issues

Fig. 11 : Émissions de gaz à effet de serre des services

Évolution de la surface de référence énergétique et des émissions intérieures de gaz à effet de serre des services ainsi que de la valeur ajoutée brute des prestations de service fournies en Suisse de 1990 à 2018.

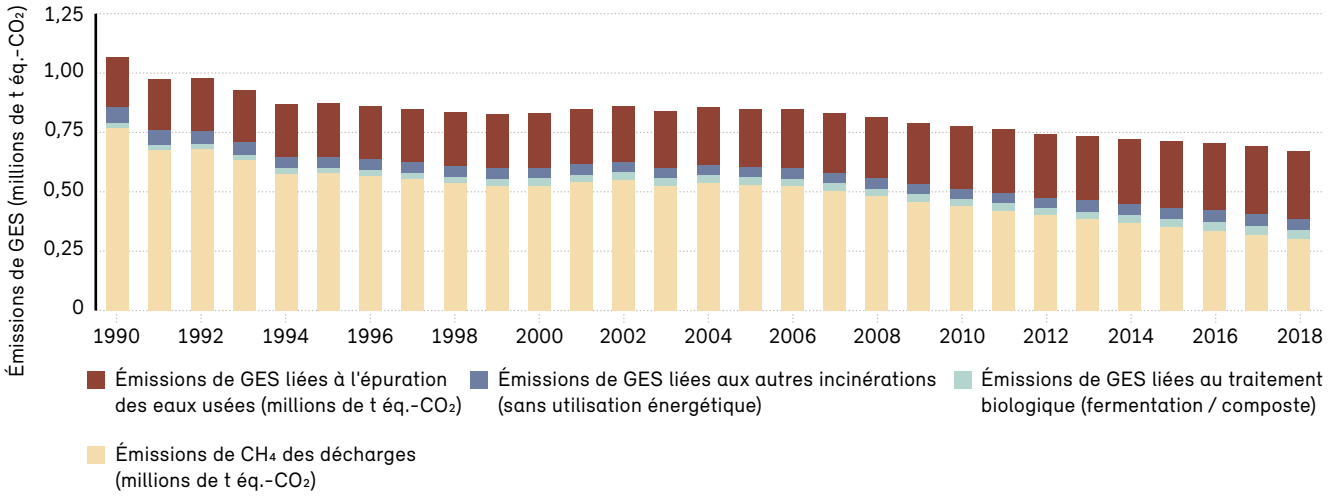


* Valeurs provisoires pour 2017 et 2018. Valeur ajoutée brute des services (selon les catégories 45 à 98 de la NOGA), en francs, en prix courants. Les données concernant les valeurs de production ne sont disponibles qu'à partir de 1995. Les valeurs pour la période de 1990 à 1994 ont été complétées sur la base du PIB.

Sources : OFEV (2020a), OFEN (2019b), OFS (2020a)

Fig. 12 : Émissions de gaz à effet de serre du secteur des déchets

Évolution des émissions intérieures de gaz à effet de serre du secteur des déchets en Suisse de 1990 à 2018.



Source : OFEV (2020a)

des décharges s'élevaient encore à 39 % de la quantité libérée en 1990.

Viennent en deuxième position dans le secteur des déchets, après les émissions des décharges, celles provenant de l'épuration des eaux usées, processus au cours duquel se forment des émissions de CH_4 et de N_2O (0,29 million de tonnes d'éq.-CO_2 en 2018, figure 12). On enregistre, depuis 1990, une augmentation de 37 % des émissions des stations d'épuration, principalement due à la croissance démographique. Les émissions restantes de ce secteur sont imputables au traitement biologique des déchets (fermentation dans des installations de méthanisation et compostage) ainsi qu'aux incinérations sans utilisation énergétique[16].

2.2.7 Utilisation du sol (forêts comprises)

Dans le secteur de l'utilisation du sol, le recensement porte principalement sur les flux de carbone libérés ou liés par l'utilisation des forets et des sols (exploitation forestière et agriculture) ou par des changements d'affectation des terres (p. ex. la construction de logements sur des surfaces autrefois cultivées). Le bilan des surfaces non utilisées à des fins de sylviculture ou d'agriculture (notamment les biotopes marécageux ou les espaces urbains) est également comptabilisé dans ce secteur.

À la différence des autres secteurs qui génèrent uniquement des émissions, le carbone stocké dans les sols et la végétation peut également augmenter et constituer ainsi un puits de carbone. Les sources d'émission et les puits de carbone sont recensés pour six catégories d'utilisation du sol : les forêts, les surfaces agricoles, les surfaces herbagères, les zones humides, les zones bâties et les surfaces improductives (figure 13). Le carbone contenu dans les produits issus de bois suisse est en outre pris en compte[17]. Les fluctuations annuelles relativement importantes sont dues aux variations météorologiques pendant la période de végétation ainsi qu'à des décisions en matière de gestion, telles que l'ampleur de la récolte du bois.

Dans ce secteur, le dioxyde de carbone (CO_2) est de loin le gaz à effet de serre le plus important. Une part mineure des émissions est imputable au méthane (CH_4) et au protoxyde d'azote (N_2O) libérés lors d'incendies, en cas de

16 P. ex. l'incinération de boues d'épuration ou de déchets agricoles

17 Conformément aux engagements pris par la Suisse sous le Protocole de Kyoto, la prestation liée à l'exploitation forestière sera prise en compte par rapport à une valeur de référence (Forest Management Reference Level) durant la deuxième période d'engagement (2013-2020). Les estimations actuelles indiquent que la prestation des forêts se situera aux alentours de quelques centaines de milliers de tonnes d'éq.-CO_2 sur l'ensemble de la période.

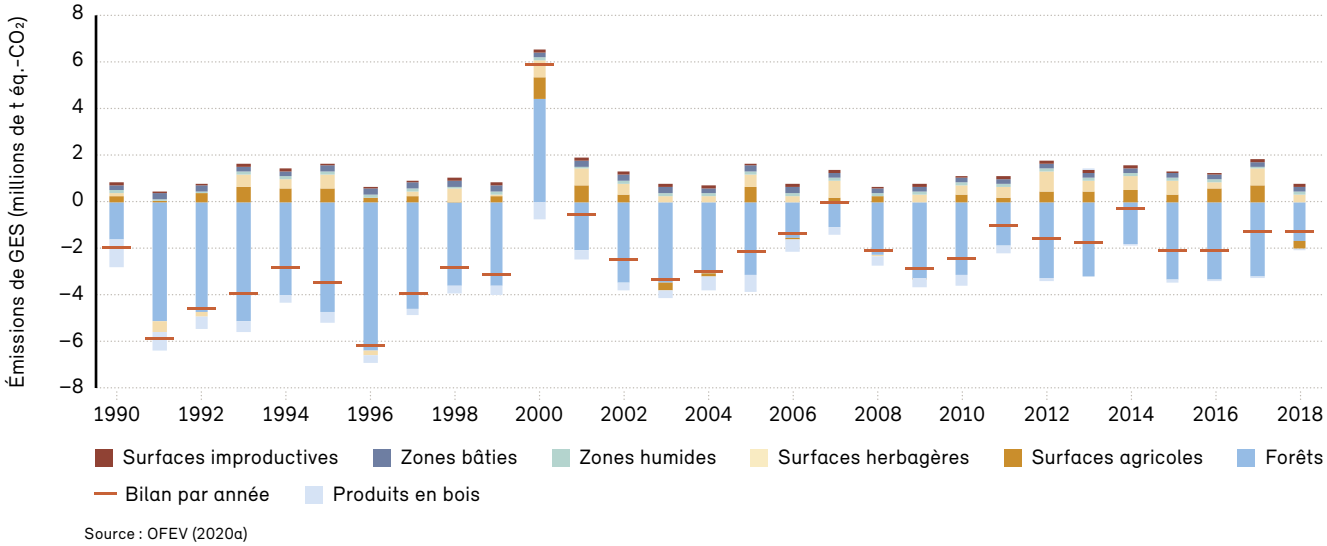
perte d'humus, par des lacs stagnants et des marais asséchés.

Le bilan des gaz à effet de serre de l'utilisation des sols suisses est dominé par les forêts (figure 13). Il comprend l'absorption de CO_2 lors de la croissance des arbres et la libération de ce dernier découlant de l'exploitation de la forêt (récolte) ainsi que du déboisement naturel. À cela s'ajoutent des modifications du carbone stocké dans le bois mort, la litière et le sol forestier. Depuis 1990, l'exploitation des forêts en Suisse s'est traduite, la plupart des années, par un puits de carbone important. Ce puits est toutefois limité, une augmentation arbitraire des durées de révolution (exploitation ultérieure des arbres) n'étant pas possible lorsque la forêt doit être gérée de manière durable. La libération de quantités importantes de CO_2 en 2000 est imputable à l'ouragan Lothar, qui a causé de graves dommages dans les forêts. Une augmentation des volumes de récolte a également été enregistrée en 1990 (tempête Vivian), 2001, 2006, 2007 et 2014 en raison d'une exploitation forcée. Si l'on ne tient pas compte de l'année 2000, les puits de carbone des forêts et l'exploitation du bois ont été, chaque année, supérieurs aux émissions totales des autres catégories d'utilisation du sol. Une gestion forestière judicieuse du point de vue de la politique climatique et de l'écologie requiert que le surplus de bois soit utilisé en cascade, en premier lieu pour des produits en bois durables et de haute qualité, puis comme source d'énergie. Si l'on ne tient pas compte de l'année 2013, les produits en bois tels que le bois de construction ou les meubles représentent, depuis 1990, un puits de carbone (en d'autres termes, on a utilisé, chaque année, plus de bois dans de nouveaux produits par rapport aux émissions libérées par le bois usagé). Le puits de carbone annuel lié aux produits en bois accuse toutefois une tendance à la baisse ces dernières années.

Le type d'utilisation agricole des terres arables et des surfaces herbagères a un impact sur la teneur en carbone des sols. Ainsi, le labourage favorise la dégradation du carbone contenu dans l'humus, tandis que l'épandage des engrais de ferme ou le fait de laisser les résidus de récolte sur les champs augmente la teneur en carbone de ces derniers. À cet égard, les anciens marais asséchés constituent un cas particulier. Ces sols fertiles libèrent des niveaux élevés de gaz à effet de serre (CO_2 et N_2O) en cas d'exploitation agricole intensive.

Fig. 13 : Bilan des gaz à effet de serre de l'utilisation du sol (forêts comprises)

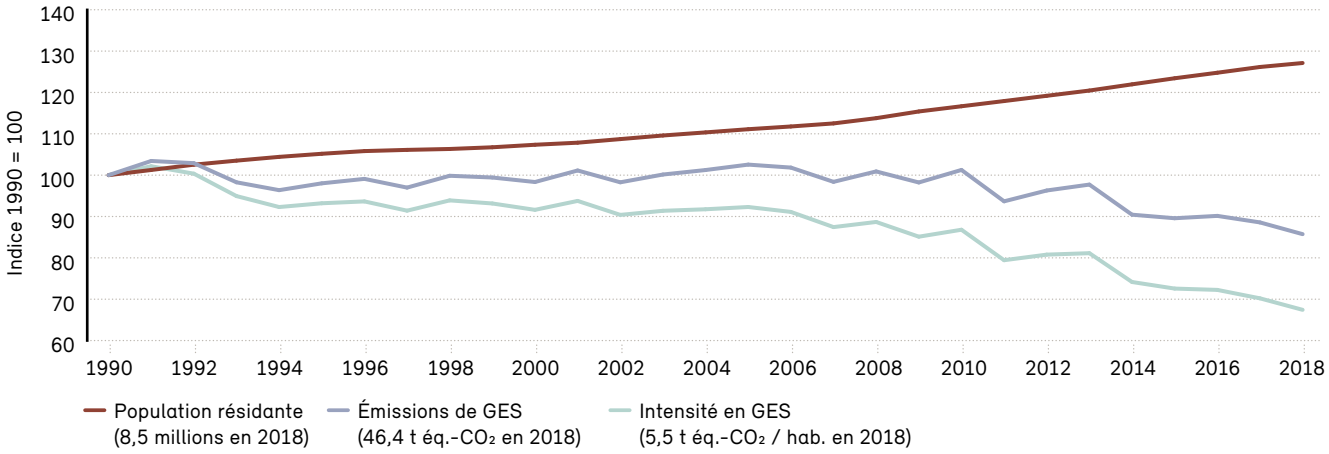
Valeurs annuelles des sources (valeurs positives) et des puits de carbone (valeurs négatives) découlant de l'utilisation du sol et des changements d'affectation des sols en Suisse de 1990 à 2018, représentées pour six catégories d'utilisation du sol ainsi que pour les produits en bois. La valeur indiquée pour le « bilan » ne correspond pas à la prestation imputable dans le cadre du Protocole de Kyoto (cf. note de bas de page 17).



Source : OFEV (2020a)

Fig. 14 : Émissions de gaz à effet de serre et population

Évolution des émissions intérieures de gaz à effet de serre de la Suisse par rapport à la population de 1990 à 2018. Les émissions du transport aérien international ne sont pas prises en compte.



Sources : OFEV (2020a), OFS (2020b)

Les zones humides ne couvrent actuellement plus qu'une faible partie du territoire national. La biomasse morte des hauts-marais et de certains bas-marais s'est transformée en tourbe au cours des derniers millénaires, créant ainsi de grands réservoirs de carbone. La majeure partie des hauts-marais ayant été dégradée par les conséquences d'exploitations antérieures (principalement les drainages), la formation de la tourbe a été stoppée et les puits de carbone d'autrefois sont devenus des sources de CO_2 en maints endroits.

Les émissions générées par le développement de nouvelles zones d'habitation et de circulation routière depuis 1990, liées notamment à l'abattage d'arbres dans le cadre de travaux de construction, ont été comparativement faibles.

Les surfaces improductives, telles que les rochers, les éboulis et les marges proglaciaires, sont peu végétalisées, avec une absence de sol ou des sols peu développés. Ces surfaces jouent donc un rôle négligeable dans le bilan carbone.

2.3 Intensité en gaz à effet de serre

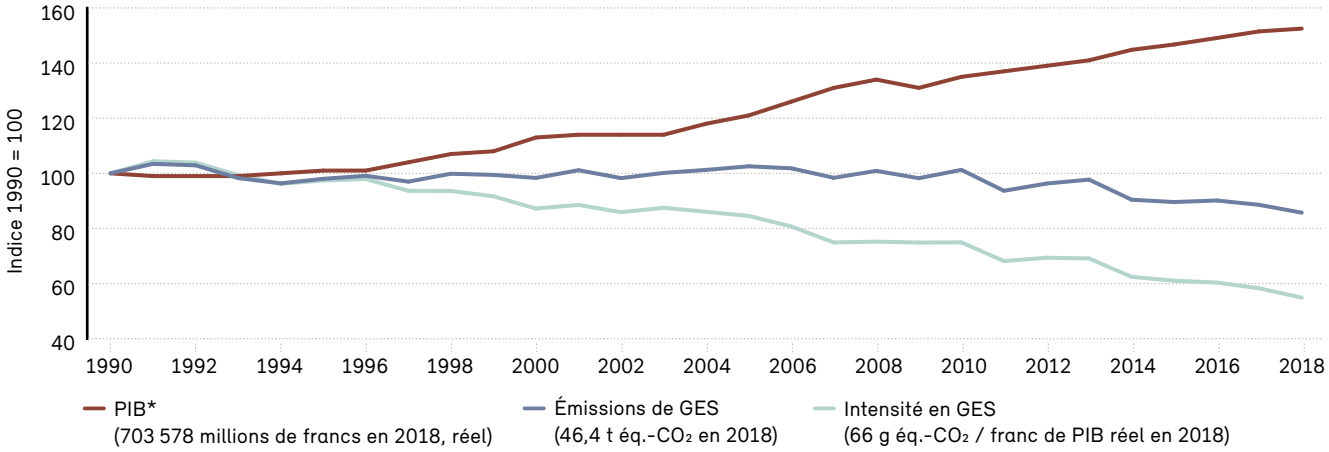
On entend par intensité en gaz à effet de serre, la quantité d'émissions de gaz à effet de serre rapportée à des grandeurs socioéconomiques, telles que l'évolution de la population, le produit intérieur brut (PIB[18]) ou la consommation d'énergie finale.

Les émissions de gaz à effet de serre de la Suisse ont légèrement diminué ces dernières années (figure 14) : en 2018, elles étaient inférieures de 14 % à leur niveau de 1990. Au cours de la même période, une augmentation sensible de la population (+27 %) a été enregistrée. L'intensité en gaz à effet de serre de la population (émissions par habitant) est donc passée de 8,1 à 5,5 tonnes d'éq.-CO_2 entre 1990 et 2018, soit une baisse de 33 %. Ce recul est en partie imputable à des améliorations techniques, mais le transfert accru des émissions vers l'étranger y a également contribué (cf. 2.5).

18 Le produit intérieur brut (PIB) est un indicateur de la performance économique (valeur ajoutée) d'une économie au cours d'une année. Il mesure la valeur des biens et des services produits dans le pays pour autant qu'ils ne soient pas utilisés pour produire d'autres biens et services.

Fig. 15 : Émissions de gaz à effet de serre et PIB

Évolution des émissions intérieures de gaz à effet de serre de la Suisse par rapport au produit intérieur brut de 1990 à 2018. Les émissions du transport aérien international ne sont pas prises en compte.

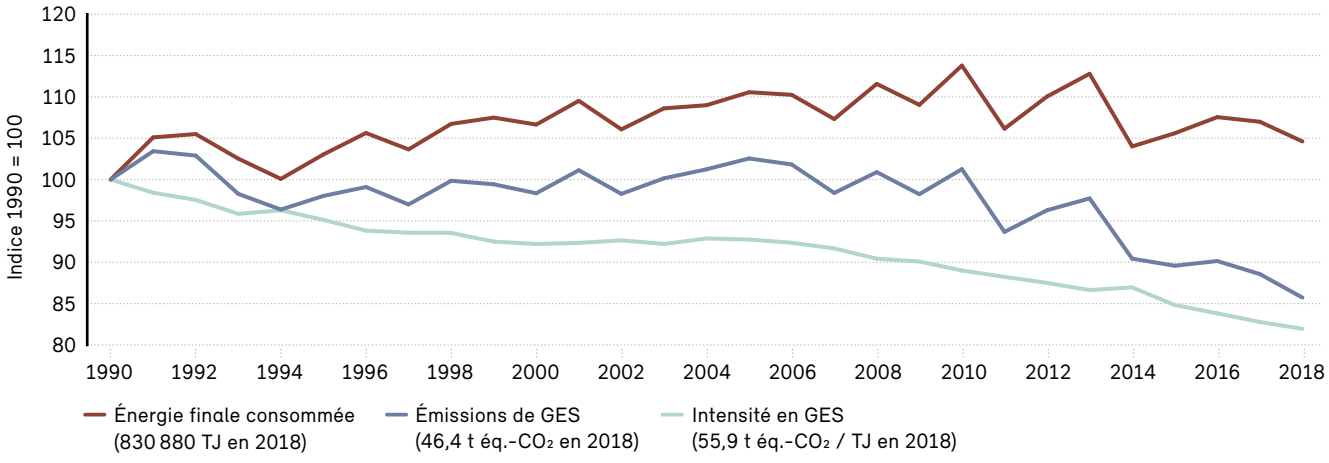


* PIB en millions de francs, réel, aux prix de l'année précédente, année de référence 2010

Sources : OFEV (2020a), SECO (2020)

Fig. 16 : Émissions de gaz à effet de serre et consommation d'énergie finale

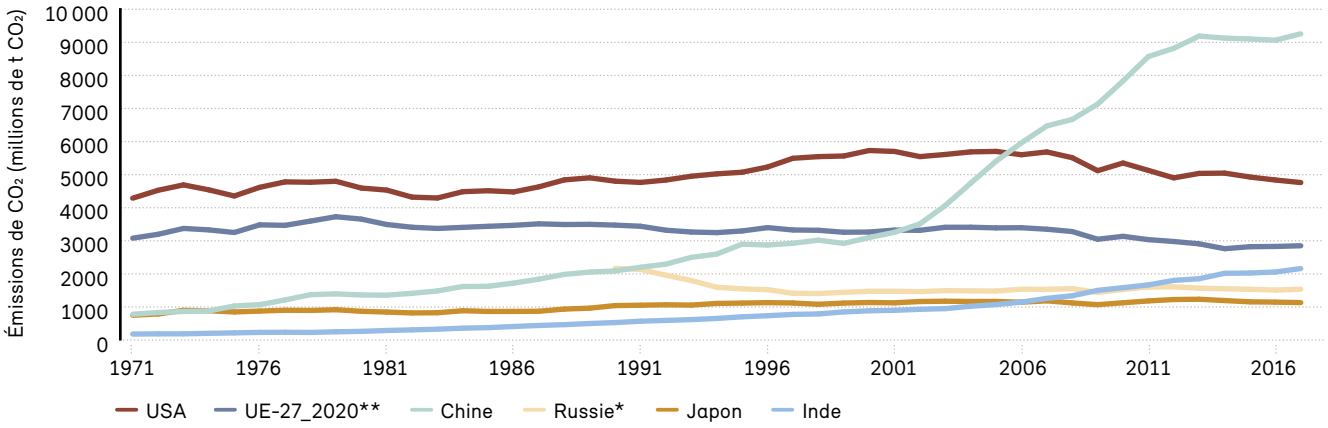
Évolution des émissions intérieures de gaz à effet de serre de la Suisse par rapport à la consommation d'énergie finale de 1990 à 2018. Les émissions du transport aérien international ne sont pas prises en compte.



Sources : OFEV (2020a), OFEN (2019e)

Fig. 17 : Émissions de CO_2 liées à la consommation d'énergie en comparaison internationale

Évolution des émissions de CO_2 issues de la combustion d'agents énergétiques fossiles dans les cinq principaux pays émetteurs (Chine, États-Unis, Inde, Russie et Japon) et dans l'UE-27



* On ne dispose pas de données concernant les émissions de la Russie avant 1990.
** Pour certains pays de l'UE-27_2020, les données de 1971 à 1990 ne sont pas disponibles : les données de l'Estonie, de la Lettonie, de la Croatie et de la Lituanie ne sont disponibles qu'à partir de 1990 et celles de la Slovénie qu'à partir de 1986.

Source : AIE (2019)

La progression du PIB n'a pas non plus induit une augmentation des émissions intérieures (figure 15). L'intensité en gaz à effet de serre par franc de PIB a reculé de 56 % entre 1990 et 2018, passant de 120 à 66 g d'éq.-CO_2 par franc, ceci en raison de l'accroissement de l'efficacité énergétique, du transfert de la production de biens à forte intensité énergétique à l'étranger et du passage d'une société industrielle à une société de services. Le secteur des services employait plus de 75 % de la population active en 2015 et générait plus de 73 % de la valeur ajoutée (OFEV 2018a).

Malgré une croissance démographique significative, une progression du PIB et une augmentation de la surface de référence énergétique, la consommation d'énergie finale n'était, en 2018, que légèrement supérieure à celle de 1990 (figure 16). La baisse de l'intensité en gaz à effet de serre de la consommation d'énergie finale (18 % entre 1990 et 2018) est en premier lieu imputable à l'amélioration de l'efficacité énergétique, au passage du pétrole au gaz naturel et à l'utilisation accrue d'électricité et d'agents énergétiques non fossiles (OFEN 2019d).

2.4 Émissions intérieures de la Suisse en comparaison internationale

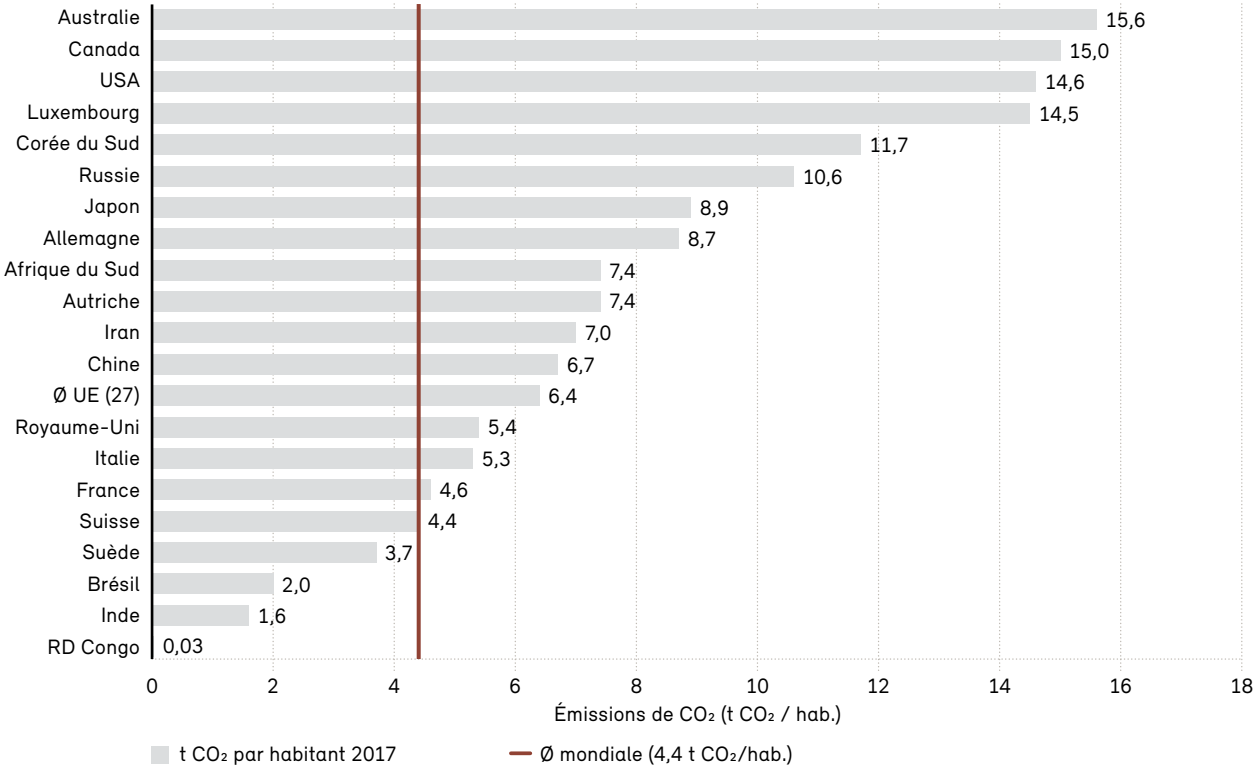
En Suisse, comme partout dans le monde, les émissions de CO_2 représentent la part la plus importante des émissions de gaz à effet de serre totales. En 2017, les émissions de CO_2 générées par l'utilisation de combustibles fossiles se sont élevées à 32,8 milliards de tonnes à l'échelle planétaire, soit plus du double de leur niveau en 1971 et environ 40 % de plus qu'en 2000. En 2015, 90 % de l'ensemble des émissions du secteur de l'énergie ont été rejetées sous forme de CO_2 ; en 2017, 44 % des émissions mondiales de CO_2 liées à la consommation d'énergie étaient issues de la combustion du charbon, 35 % de la combustion de produits pétroliers et 21% de la combustion du gaz naturel. Les installations de production d'électricité et de chaleur, qui génèrent 41 % des émissions totales, représentent les principales sources d'émission (AIE 2019).

La Chine, les États-Unis, l'Union européenne (UE-27_2020[19]), l'Inde, la Russie et le Japon sont les six plus grands émetteurs de CO_2. En 2017, ils étaient res-

19 UE-27_2020 = Allemagne, Italie, France, Espagne, Pays-Bas, Belgique, Grèce, Autriche, Portugal, Finlande, Suède, Irlande, Danemark, Luxembourg, République tchèque, Estonie, Hongrie, Lettonie, Pologne, Slovaquie, Slovénie, Bulgarie, Croatie, Chypre, Lituanie, Malte et Roumanie

Fig. 18 : Émissions de CO_2 par habitant en comparaison internationale

Émissions de CO_2 par habitant issues de la combustion d'agents énergétiques fossiles en 2017 dans différents pays



Source : AIE (2019)

ponsables de 66 % des émissions mondiales (AIE 2019), la Chine étant l'émetteur dominant avec une part de 28 %.

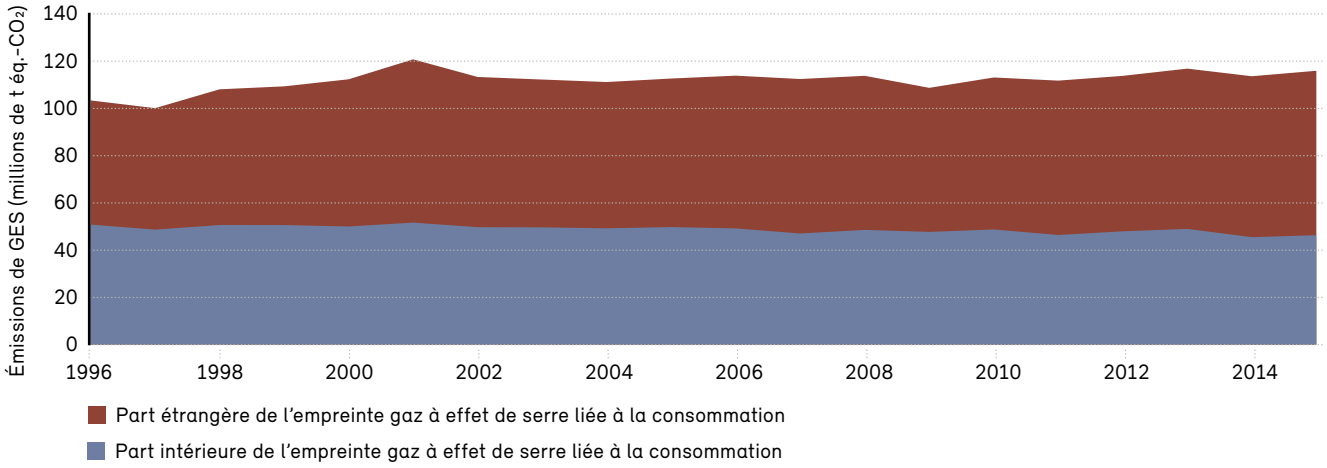
Jusqu'en 2000, les États figurant à l'annexe I[20] de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, notamment les États-Unis, étaient responsables de la majeure partie des émissions de CO_2 ; en revanche, depuis 2000, les pays asiatiques, la Chine et l'Inde en tête, sont également devenus de grands émetteurs (AIE 2019). Les émissions de ces deux pays ont considérablement augmenté de par leur essor économique au cours de cette période (figure 17). L'accroissement de la production industrielle, de même que l'élévation du niveau de vie dans ces deux pays à forte population a entraîné une augmentation importante de la consommation d'énergie.

Aux États-Unis, dans l'UE-27_2020 et en Russie, les émissions sont aujourd'hui inférieures à leur niveau de 1990 (figure 17). Suite au déclin économique consécutif à la dissolution de l'Union soviétique (URSS), les émissions de CO_2 de la Russie ont diminué de 35 % entre 1990 et 1998 et se maintiennent depuis à ce niveau. L'UE a réussi à abaisser ses émissions, notamment grâce à son système d'échange de quotas d'émission (SEQE) (AEE 2019). Une part importante de cette diminution a été obtenue depuis 2005 par une réduction des émissions issues de la production d'énergie. Les émissions hors SEQE, telles que les émissions des secteurs des transports, des bâtiments ou de l'agriculture, sont régies par la décision relative à la répartition de l'effort *(Effort Sharing Decision)*. Sur cette base, la contribution du secteur des bâtiments à la réduction des émissions a été la plus importante, alors que les émissions du secteur des transports ont augmen-

20 Pays selon l'annexe I de la Convention-cadre sur les changements climatiques : Australie, Belarus, Belgique, Bulgarie, Danemark, Allemagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Japon, Canada, Croatie, Lettonie, Liechtenstein, Lituanie, Luxembourg, Malte, Monaco, Nouvelle Zélande, Pays-Bas, Norvège, Autriche, Pologne, Portugal, Roumanie, Russie, Suède, Suisse, Slovaquie, Slovénie, Espagne, République tchèque, Turquie, Hongrie, Ukraine, Royaume-Uni, Chypre et États-Unis

Fig. 19 : Parts intérieure et étrangère de l'empreinte gaz à effet de serre liée à la consommation

Évolution de l'empreinte gaz à effet de serre répartie entre les émissions liées à la consommation générées en Suisse et à l'étranger de 1996 à 2015



Source : Frischknecht et al. (2018)

té. Malgré des volumes d'émission importants en comparaison internationale, le Brésil ne figure pas parmi les plus gros émetteurs, les données ci-dessus ne se rapportant qu'aux émissions issues de la combustion d'agents énergétiques fossiles alors que la majeure partie des émissions brésiliennes sont générées par la déforestation des forêts tropicales.

Les émissions de CO_2 par habitant se sont élevées en moyenne mondiale à 4,4 tonnes de CO_2 en 2017 (figure 18). Les pays producteurs de pétrole comme le Qatar affichent le niveau le plus élevé, soit 30,4 tonnes de CO_2 par habitant. Le Canada et les États-Unis comptent également parmi les pays ayant des émissions par habitant très élevées (respectivement 15 et 14,6 tonnes de CO_2/habitant). La République populaire de Chine (6,7 tonnes de CO_2/habitant), qui occupe la première place en émissions absolues, rejette à peu près autant de CO_2 par habitant que l'UE-27_2020 (6,4 tonnes de CO_2/habitant). L'Inde se situe très en dessous de la moyenne mondiale avec 1,6 tonne de CO_2 par habitant. La République démocratique du Congo (0,03 tonne de CO_2/habitant) figure, avec de nombreux États africains, parmi les pays dont les émissions par habitant sont les plus faibles. Avec 4,4 tonnes de CO_2 par habitant[21], la Suisse se situe assez exactement dans la moyenne mondiale.

21 Contrairement à ce qui est indiqué sous 2.3 (5,6 tonnes d'éq.-CO_2/habitant), seules les émissions de CO_2 sont prises en compte ici.

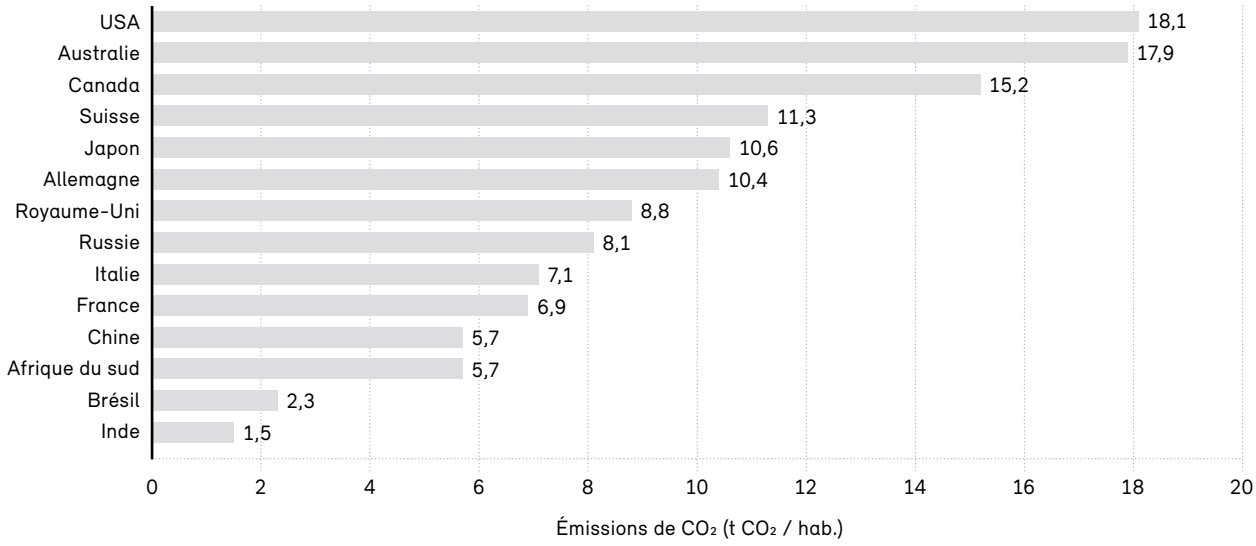
2.5 Émissions générées par la consommation de la Suisse

Dans les sections ci-dessus (2.1, 2.2, 2.3 et 2.4), les émissions prises en compte sont uniquement celles provenant de sources intérieures, qui sont déterminantes pour l'établissement de l'inventaire des gaz à effet de serre conformément à la Convention-cadre sur les changements climatiques et au Protocole de Kyoto (CCNUCC 2014). Les émissions générées par la Suisse en dehors de ses frontières ne sont pas prises en considération. Toutefois, le bilan national des émissions de pays comme la Suisse, qui se procurent de nombreux biens et services à l'étranger, ne reflète qu'une partie de la réalité ; en effet, les émissions issues de la fabrication des biens importés sont recensées dans l'inventaire des gaz à effet de serre du pays producteur. La figure 19 montre la part intérieure et étrangère de l'empreinte gaz à effet de serre[22] de la Suisse. Vues sous cet angle, les émissions produites à l'étranger par la consommation suisse représentent environ 70 % des émissions totales dont la Suisse est responsable (état : 2015).

22 L'empreinte gaz à effet de serre correspond à la quantité totale d'émissions dont un pays est responsable en raison de sa demande finale (OFEV 2018b). Elle prend également en compte les émissions générées à l'étranger par les biens importés ainsi que par les déplacements des personnes résidant en Suisse (p. ex. pour des vacances). Parallèlement, les émissions générées sur le territoire national par les touristes ou les biens destinés à l'exportation sont déduites.

Fig. 20 : Comparaison internationale des émissions de CO_2 issues de la demande finale

Émissions de CO_2 par habitant issues de la demande finale en 2015. Les chiffres ne prennent en compte que les émissions dues à l'utilisation de combustibles et de carburants fossiles, à l'exclusion des carburants pour l'aviation et la navigation internationales et des émissions issues de la production de ciment.



Source : OCDE (2019)

Comparées à celles d'autres pays industrialisés, les émissions intérieures par habitant de la Suisse sont relativement faibles (cf. 2.4). Une comparaison des émissions de CO_2 basée sur la demande finale[23] permet d'avoir une autre vision de la responsabilité des différents pays en ce qui concerne le rejet d'émissions de gaz à effet de serre (figure 20), car elle tient également compte des émissions générées à l'étranger par la consommation intérieure.

En 2015, année pour laquelle on dispose des données les plus récentes permettant une comparaison avec d'autres pays, les émissions de CO_2 issues de la demande finale de la Suisse se sont élevées à 11,3 tonnes par habitant. La Chine, dont les émissions sont très élevées en valeur absolue, présente un niveau comparativement faible de 5,7 tonnes de CO_2 par habitant car elle génère plus d'émissions pour produire des biens destinés à l'exportation que celles dont elle est responsable de par les biens qu'elle importe. Cet exemple explicite le fait que les pays occidentaux dont le niveau de consommation est élevé sont largement responsables des émissions de certains pays émergents.

23 Émissions de CO_2 liées à la demande finale = émissions intérieures de CO_2 après la production (émissions générées par les ménages ou les secteurs économiques en Suisse) – émissions CO_2 intérieures exportées + émissions CO_2 étrangères importées

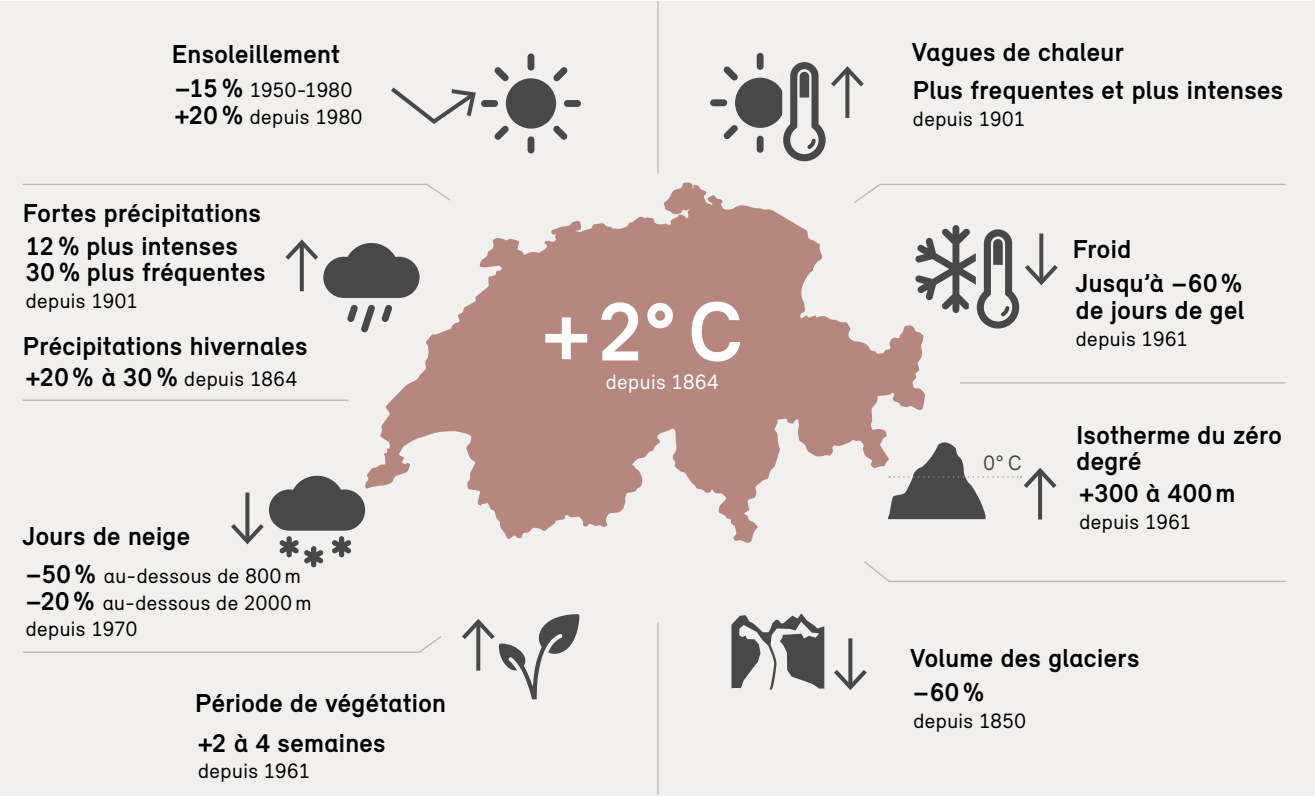
3 Évolution du climat observée en Suisse

Le climat de la Suisse s'est modifié depuis 1864, date du début des mesures à l'échelle nationale, et la température moyenne a augmenté d'environ 2 °C. Les émissions anthropiques de gaz à effet de serre sont les principales responsables du réchauffement observé. Cependant, la température moyenne n'est pas le seul indicateur du climat. Ce chapitre présente les modifications induites par les changements climatiques sur d'autres indicateurs en se basant sur les données d'observation des 156 dernières années.

L'évolution des températures moyennes, annuelles et saisonnières est décrite sous 3.1. Outre les valeurs moyennes, les températures extrêmes et la fréquence des jours de gel et de dégel ont changé de manière frappante (3.2). Les modifications des précipitations et des périodes de sécheresse sont moins marquées mais néanmoins perceptibles (3.3). Les effets des changements climatiques se font déjà sentir sur l'isotherme du zéro degré et la couverture neigeuse (3.4). Les tendances sont moins évidentes en ce qui concerne la durée d'ensoleillement et la couverture nuageuse (3.5). Enfin, pour certains indicateurs climatiques qui sont examinés sous 3.6, il faut s'attendre à une évolution que les données d'observation ne reflètent pas encore.

La figure 21 présente une vue d'ensemble de l'évolution de quelques indicateurs climatiques importants. Les vagues de chaleur sont nettement plus fréquentes et plus intenses depuis le début du 20e siècle. À l'inverse, le nombre de jours de gel a diminué de 60 % depuis 1961 (NCCS 2018). Au cours de la même période, l'isotherme du zéro degré s'est élevée de 300 à 400 m. L'effet du réchauffement sur le recul des glaciers est particulièrement visible dans

Fig. 21 : Modifications du climat observées jusqu'ici en Suisse (état : 2019)



Source : NCCS (2018)

les Alpes : ils ont perdu plus de 60 % de leur volume depuis 1850. En plaine, les effets des changements climatiques sont clairement perceptibles sur la végétation. La période de végétation[24] dure actuellement deux à quatre semaines de plus que dans les années 1960 (NCCS 2018).

On observe également des changements significatifs en ce qui concerne les précipitations : les précipitations hivernales sont plus abondantes depuis près de 150 ans et tombent plus souvent sous forme de pluie que de neige à cause du réchauffement, raison pour laquelle l'épaisseur et la durée de la couverture neigeuse ont diminué. Depuis le début des années 1970, le nombre de jours de neige est en recul d'environ 20 % à des altitudes supérieures à 2000 m, voire de 50 % en dessous de 800 m. De plus, les fortes précipitations sont aujourd'hui, en toutes saisons, plus fréquentes et plus intenses qu'au début du 20e siècle (CH2018 2018, NCCS 2018).

La durée d'ensoleillement, qui est étroitement corrélée à la couverture nuageuse, a diminué d'environ 15 % entre 1950 et 1980, puis augmenté de quelque 20 % à partir de 1980, et se situe à nouveau à des valeurs similaires à celles du début du 20e siècle (Scherrer et Begert 2019).

Périodes de référence – des étalons pour évaluer l'évolution des indicateurs climatiques

Les données sur l'évolution des températures et des précipitations sont souvent présentées sous forme d'écarts par rapport à la valeur moyenne d'une période de référence spécifique, ce qui permet de comparer plus aisément les données relatives à des mesures effectuées dans différentes régions et à différentes altitudes.
Les périodes de référence sont définies par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Actuellement, c'est la période de 1961 à 1990 qui est recommandée comme période de référence (valeur de base) pour les changements climatiques et la période de 1981 à 2010 comme période de référence pour le climat actuel (OMM 2015 ; OMM 2007). MétéoSuisse utilise en outre, par analogie aux publications du GIEC[25] (p. ex. GIEC 2018), la période de référence de 1871 à 1900 (Begert et al. 2018) en tant qu'approximation pour les conditions préindustrielles, où les émissions de gaz à effet de serre anthropiques étaient négligeables, afin de décrire l'évolution de la température sur le long terme. La période de référence utilisée est mentionnée dans les différentes évaluations figurant dans ce rapport.
Les données climatologiques présentées proviennent de mesures effectuées par le réseau de mesures de MétéoSuisse. On utilise autant que possible des séries de données homogènes, c'est-à-dire corrigées des influences sans lien avec le climat et son évolution (comme le déplacement de stations ou le remplacement de sondes de mesure) (Begert et al. 2005). Les indications sur la significativité d'une tendance reposent sur le 95e centile.

3.1 Températures annuelle et saisonnière moyennes

On observe en Suisse un net réchauffement dans toutes les régions au cours des 150 dernières années : la température de l'air a augmenté partout d'environ 2 °C en moyenne annuelle par rapport à la période de référence préindustrielle (état : fin 2019, figure 22)[26]. La tendance observée pour la température moyenne en Suisse au cours de cette période reflète une hausse de 0,14 °C par décennie, soit à peu près le double de la tendance mondiale moyenne. Le réchauffement s'est accéléré partout dans le monde, et aussi en Suisse, depuis le milieu des années 1980. Si l'on considère uniquement les mesures à partir de 1961, la hausse de température en Suisse (+0,39 °C par décennie) est trois fois plus rapide que la tendance linéaire sur l'ensemble de la période de mesure depuis 1864, à laquelle se superposent toutefois les variations naturelles du climat (figure 22).

La principale cause de l'élévation observée aussi bien à l'échelle mondiale que régionale est le rejet de gaz à effet de serre anthropiques. La hausse plus importante de la température en Suisse par rapport à la moyenne mondiale est avant tout attribuée à trois causes : en premier

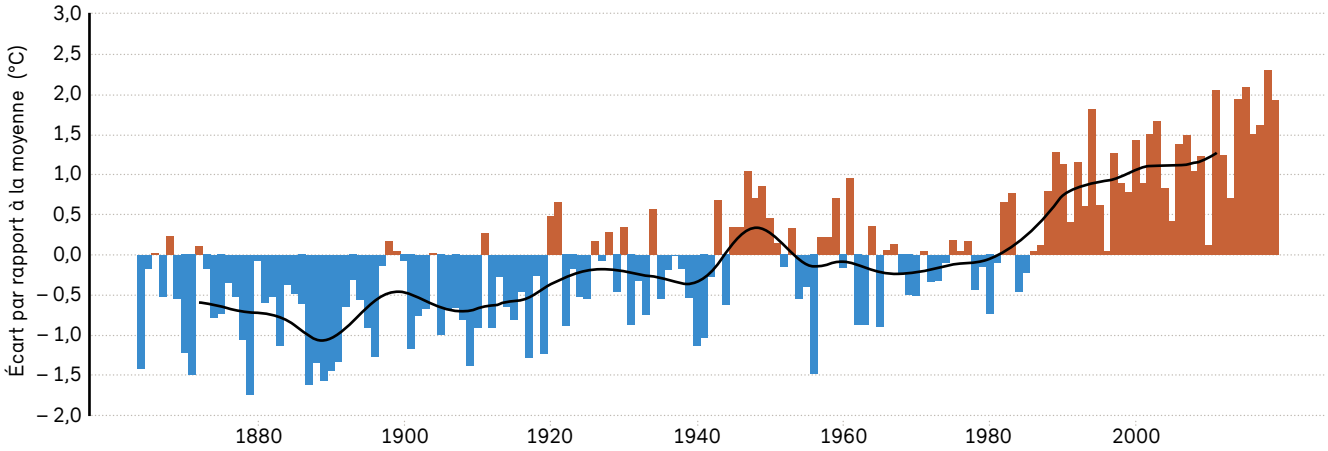
24 Cf. la définition donnée dans Zubler et al. (2014).

25 Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

26 Le site Internet de MétéoSuisse présente l'état actuel du réchauffement : *https://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse.html*

Fig. 22 : Évolution de la température annuelle sur le long terme, moyennée sur l'ensemble de la Suisse

Écart annuel de la température par rapport à la norme 1961-1990 (en rouge = écarts positifs, en bleu = écarts négatifs) pour la période de 1864 à 2019. La courbe noire montre la moyenne pondérée sur 20 ans.



Sources : MétéoSuisse (2020b), Begert & Frei 2018

lieu, la distance qui sépare la Suisse de l'océan qui se réchauffe plus lentement à l'ouest (situation plus continentale), ensuite la proximité relative des régions polaires qui se réchauffent davantage et, enfin, les effets de rétroaction régionaux possibles liés, par exemple, à la diminution du manteau neigeux alpin. La neige réfléchit une part considérable du rayonnement solaire incident directement dans l'espace. S'il y a moins de neige, la surface de la Terre absorbe plus d'énergie solaire, qui est convertie en chaleur.

Une conséquence du réchauffement en Suisse est l'augmentation de la fréquence des années plus chaudes que la moyenne. Depuis 1986, toutes les températures annuelles moyennes sont supérieures à la période de référence de 1961 à 1990. Les cinq années les plus chaudes de la série de mesures de 1864 à 2019 ont été enregistrées après 2010 (figure 23). L'évolution de la température en Suisse ne constitue pas un cas particulier : ces dernières années, la température mondiale moyenne accuse également une fréquence accrue d'années chaudes supérieures à la moyenne.

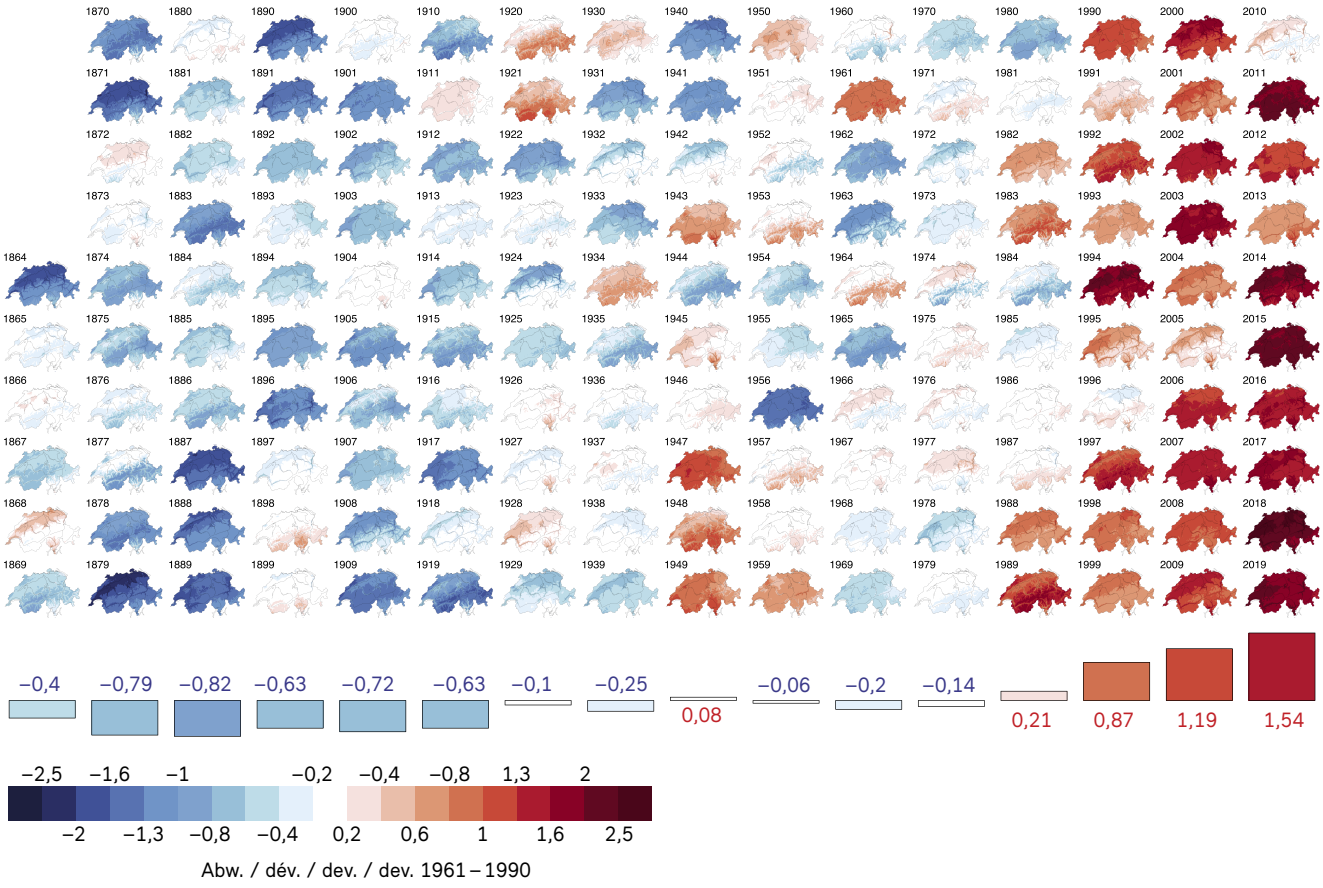
Au cours des 30 dernières années, la température annuelle moyenne en Suisse a été d'environ 1 °C supérieure à la norme 1961-1990. Avant 1990, un dépassement de 1 °C de la température annuelle par rapport à la période de référence était très exceptionnel. Aujourd'hui, en revanche, des températures qui étaient autrefois considérées comme extrêmes sont devenues la moyenne. Dans le même temps, les années froides avec des écarts inférieurs de 0,5 °C ou plus par rapport à la norme 1961-1990 ont disparu du climat actuel de la Suisse. Depuis 1990, même pendant les années les plus froides, la température annuelle n'est plus descendue en dessous de la norme 1961-1990 dans l'ensemble du pays.

L'observation de l'évolution des températures saisonnières montre que l'été (moyenne sur juin, juillet et août) et l'automne (septembre, octobre et novembre) présentent la plus forte hausse de température sur toute la période de mesure de 1864 à 2019, soit 0,14 °C par décennie. Au printemps (mars, avril et mai), le réchauffement est de 0,13 °C par décennie et, en hiver (décembre, janvier et février), de 0,12 °C par décennie (figure 24).

Le réchauffement significatif depuis les années 1980 est aussi clairement perceptible pour les températures saisonnières. Les mois d'été accusent la tendance la plus marquée, avec une hausse de 0,54 °C par décennie à partir de 1961, suivis de près par le printemps, avec une augmentation de 0,46 °C par décennie, alors qu'en hiver et en automne, les taux de réchauffement sont nettement plus faibles, respectivement de 0,31 °C et 0,26 °C par décennie.

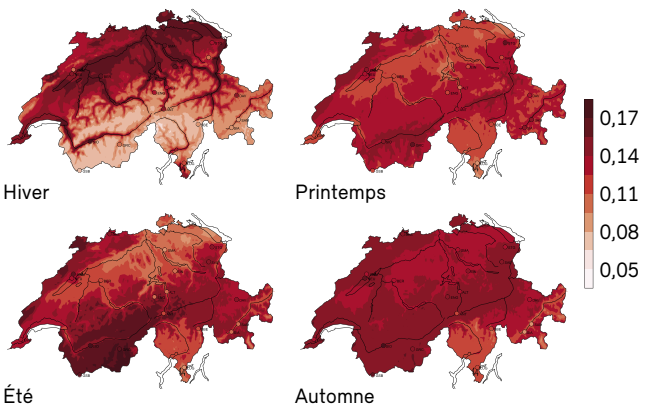
Fig. 23 : Écarts de la température annuelle par rapport à la moyenne des années 1961 à 1990 en Suisse

Les années en dessous de la moyenne sont représentées en bleu, celles au-dessus de la moyenne en rouge. Les écarts pour les décennies sont représentés par des colonnes colorées dans la partie inférieure du graphique. Données depuis le début des mesures, couvrant la période de 1864 à 2019.



Source : MétéoSuisse (2020a)

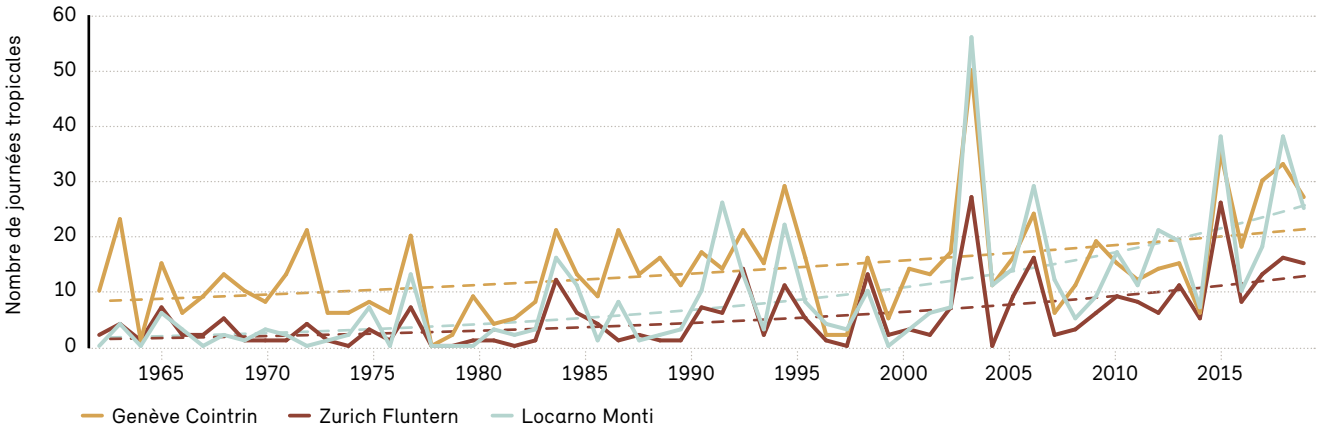
Fig. 24 : Évolution de la température saisonnière entre 1864 et 2019, en degrés Celsius par décennie



Source : MétéoSuisse (2020a)

Fig. 25 : Journées tropicales

Nombre de jours par an où la température maximale est d'au moins 30 °C.



Source : MétéoSuisse (2020a)

3.2 Autres indicateurs de la température

En Suisse, le réchauffement du climat diffère d'une région à l'autre et en fonction de l'altitude. Pour la plupart des indicateurs, les stations de mesure de Locarno/Monti (sud de la Suisse, 367 m), Genève/Cointrin (ouest de la Suisse, 420 m) et Zurich/Fluntern (nord-est de la Suisse, 556 m) sont considérées comme représentatives des différentes régions climatiques de la Suisse. La situation en haute montagne est reflétée par les stations du Säntis (2502 m), du Piz Corvatsch (3302 m) et du Jungfraujoch (3580 m).

3.2.1 Journées et nuits tropicales

Avec la hausse des températures moyennes, les températures extrêmes augmentent aussi. L'augmentation de la chaleur liée aux changements climatiques a des effets néfastes sur la santé de l'homme (cf. 6.1.1) et de l'animal.

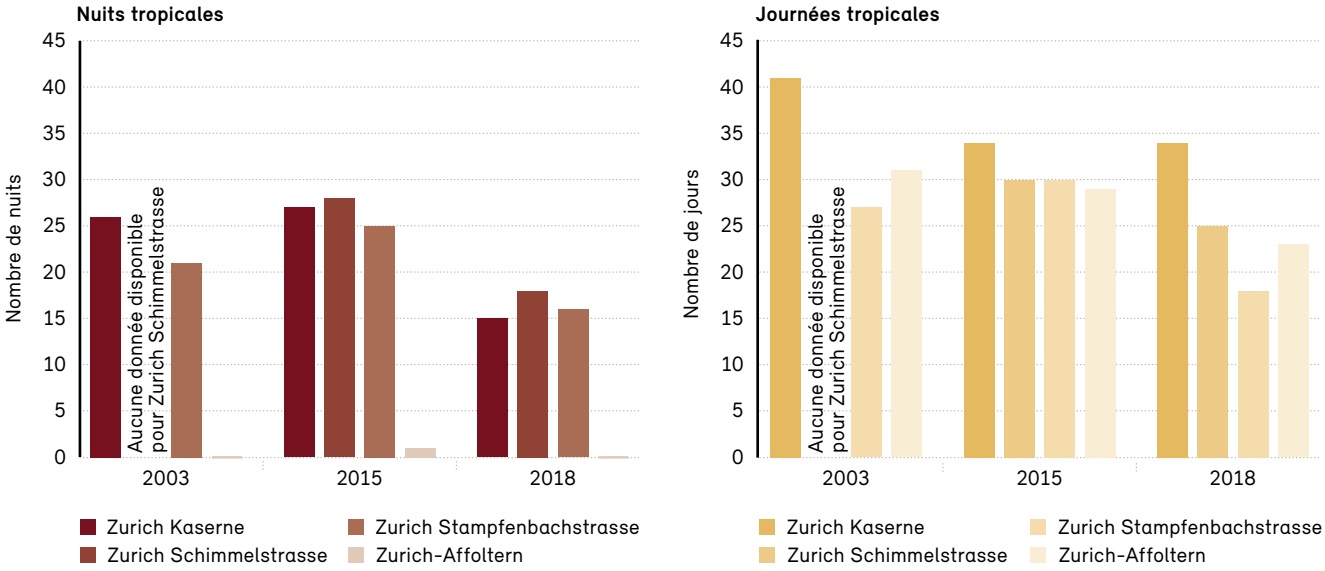
Le nombre de journées tropicales (journées où la température maximale est d'au moins 30 °C) a fortement augmenté au cours des dernières décennies (figure 25). Alors qu'on comptait au Tessin une ou deux journées tropicales par an en moyenne dans les années 1960, on en dénombre souvent 20 ou plus aujourd'hui. Cet accroissement est également nettement perceptible aux stations de mesure de Genève/Cointrin et de Zurich/Fluntern. La première enregistre aujourd'hui à peu près le même nombre de journées tropicales par an que le Tessin, la deuxième environ dix. Les fortes fluctuations d'une année à l'autre sont frappantes. Les trois étés ayant connu le plus de journées tropicales depuis 1961 sont 2003, 2015 et 2018 (MétéoSuisse 2018 ; Gehrig et al. 2018).

Lors des nuits tropicales, les températures ne descendent pas au-dessous de 20 °C[27]. Les températures nocturnes élevées sont très éprouvantes pour l'organisme, notamment chez les personnes âgées ou affaiblies physiquement (cf. 6.1.1). Alors que l'on observe déjà chaque année des nuits tropicales en plaine dans les Alpes méridionales et dans les régions de fœhn, elles sont encore rares en zone rurale sur le Plateau suisse. Il en va autrement dans les grandes villes où les températures nocturnes estivales sont en moyenne d'environ 2 °C, et au maximum même de 6 à 7 °C plus élevées que dans les zones rurales environnantes (Gehrig et al. 2018), raison pour laquelle les nuits tropicales y sont déjà fréquentes. La figure 26 montre qu'en zone rurale à Zurich/Affoltern, on n'observe pratiquement pas de nuits tropicales, même au cours des étés les plus chauds (aucune en 2003 ni en 2018, et une en 2015), alors que les stations de mesure des centres-villes ont recensé entre 15 et 30 nuits tropicales pendant les étés caniculaires de 2003, 2015 et 2018. Les stations de mesure situées là où les nuits tropicales sont aujourd'hui plus fréquentes enregistrent une forte augmentation depuis 1961, avec une hausse frappante

27 Au sens strict, on ne devrait utiliser que les minima nocturnes pour l'analyse des nuits tropicales. L'indicateur « nuit tropicale » de l'OMM utilise toutefois, pour simplifier, la température minimale mesurée sur 24 h (température minimale journalière).

Fig. 26 : Nuits et journées tropicales en 2003, 2015 et 2018

Comparaison entre différentes stations de mesure de la Ville de Zurich : Kaserne, Schimmelstrasse et Stampfenbachstrasse (toutes situées en ville) et Affoltern (en zone rurale).



Source : Gehrig et al. (2018)

depuis le début des années 1980. Durant la canicule de l'été 2003, la station de Locarno/Monti a enregistré 42 nuits tropicales.

3.2.2 Froid

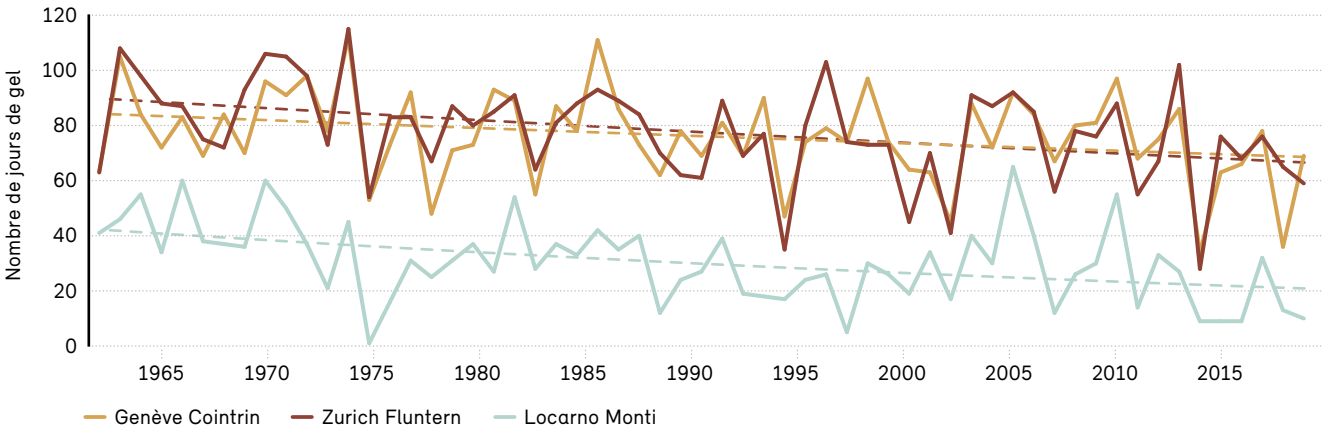
Le réchauffement climatique est aussi manifeste lorsque les températures sont basses. Les journées froides, les périodes de froid et les années froides ont diminué au cours des dernières décennies et l'isotherme du zéro degré s'est élevée (cf. 3.4). Un manque de froid entraîne la fonte du pergélisol (cf. 5.2.2), augmentant ainsi le risque de chutes de pierres et d'éboulements de rochers dans certaines régions alpines de haute altitude ; le tourisme d'hiver souffre également du manque de neige de plus en plus fréquent (cf. 8.7).

Les jours de gel, la température minimale descend en dessous de 0 °C. Le nombre de jours de gel a fortement diminué depuis les années 1960 (figure 27). À Zurich/Fluntern et à Genève/Cointrin, on en enregistre environ 70, soit un recul de trois à quatre jours par décennie. À Locarno/Monti, le nombre de jours de gel attendus par an s'est réduit de moitié environ par rapport aux années 1960.

Les jours de dégel, le thermomètre ne descend pas en dessous de 0 °C. Dans les zones de pergélisol, ils peuvent déstabiliser le sous-sol et, selon les conditions climatiques, topographiques et géologiques locales, augmenter ainsi le risque de chutes de pierres et d'éboulements de rochers. Aux trois stations de mesure alpines de haute altitude du Säntis, du Piz Corvatsch et du Jungfraujoch, un nombre considérablement plus élevé de jours de dégel a été enregistré (figure 28). Au Säntis, le nombre de jours de dégel est passé d'une centaine dans les années 1960 à plus de 130 aujourd'hui, et même à 163 jours en 2018, année record. Au Piz Corvatsch, il a augmenté de 45 à environ 65 jours entre 1980 et aujourd'hui. Même au Jungfraujoch, les jours de dégel sont de plus en plus fréquents ; ils ont doublé, passant de moins de 15 dans les années 1960 à près de 30 aujourd'hui.

Fig. 27 : Jours de gel

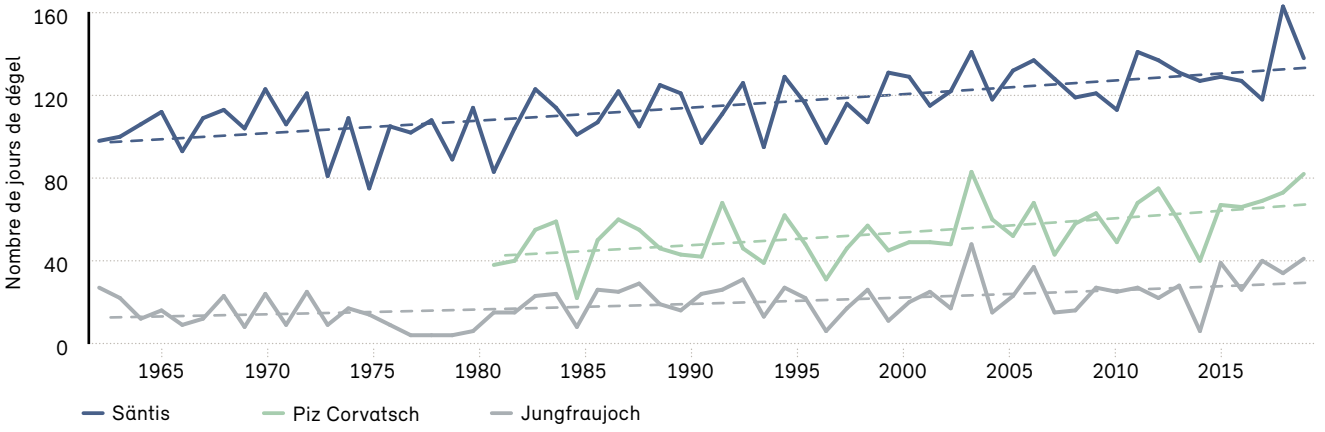
Nombre de jours par an où la température minimale est inférieure à 0 °C.



Source : MétéoSuisse (2020a)

Fig. 28 : Jours de dégel

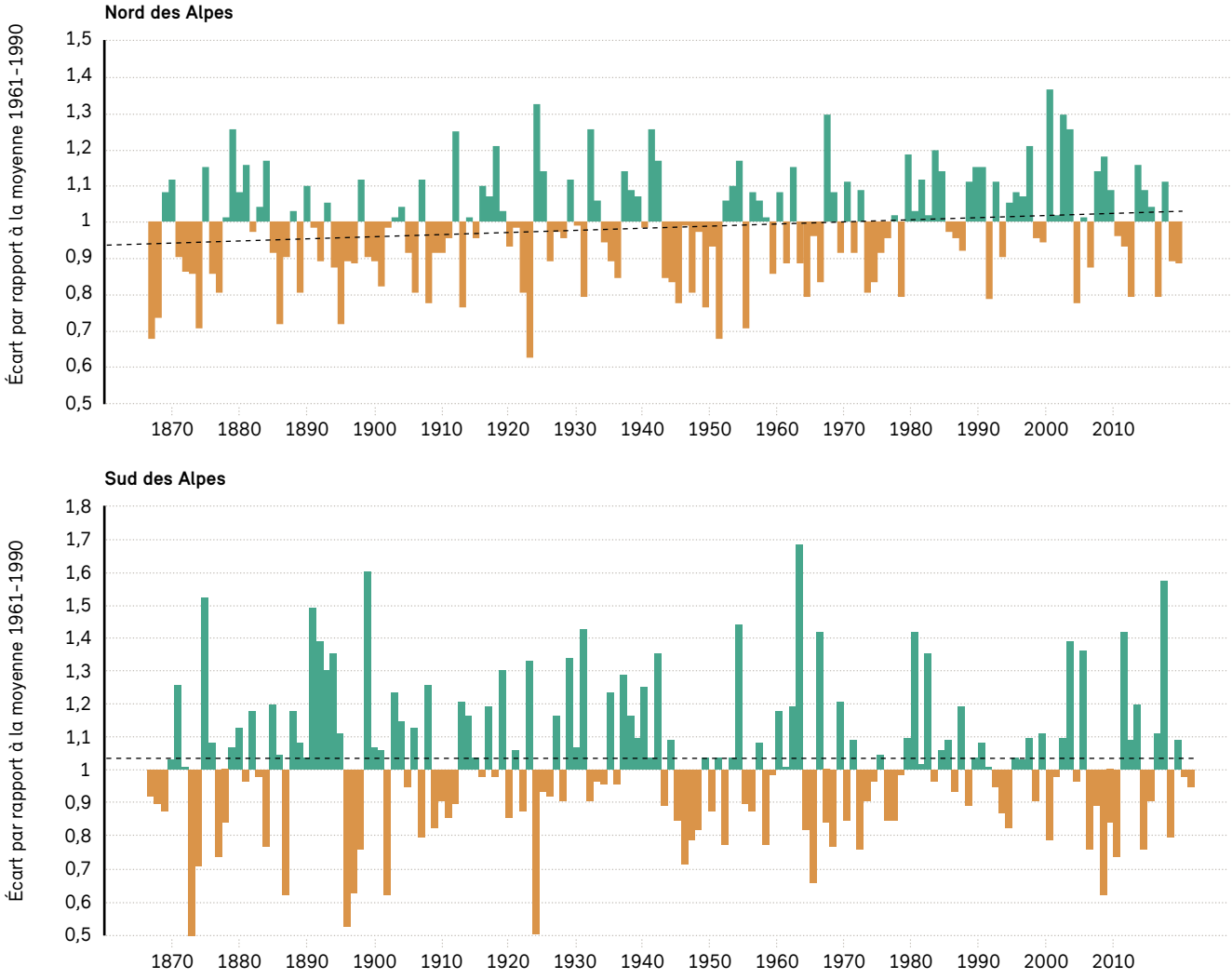
Nombre de jours par an où la température minimale journalière est supérieure à 0 °C aux trois stations de haute altitude du Säntis (2502 m), du Piz Corvatsch (3302 m) et du Jungfraujoch (3580 m).



Source : MétéoSuisse (2020a)

Fig. 29 : Précipitations annuelles

Évolution des précipitations annuelles à faible altitude de 1864 à 2019 au nord de la Suisse (< 1000 m, en haut) et au sud de la Suisse (en bas). La tendance pour le nord de la Suisse à faible altitude est significative (p = 0,04).



Source : MétéoSuisse (2020a)

3.3 Précipitations et sécheresse

3.3.1 Précipitations moyennes

Aucune tendance significative sur le long terme ne ressort du cumul annuel des précipitations sur l'ensemble du territoire. L'observation des précipitations saisonnières met en évidence une augmentation statistiquement significative de quelque 18 % par siècle du régime moyen des précipitations en hiver uniquement ; pour les autres saisons, l'évolution de la quantité moyenne des précipitations n'est pas significative. Des tendances se dessinent néanmoins au niveau régional. Les précipitations annuelles au nord des Alpes ont connu une hausse significative d'environ 6 % par siècle entre 1864 et 2019 (figure 29, en haut). Sur le Plateau central, cette évolution correspond à environ 100 mm[28], ou à peu près aux précipitations au cours d'un mois d'été. En Suisse méridionale aucune évolution des précipitations moyennes n'est perceptible aussi bien

28 Le millimètre de précipitations (mm) est une unité de masse correspondant à une quantité d'un litre par mètre carré (l/m²).

en ce qui concerne le cumul annuel (figure 29, en bas) que le cumul saisonnier.

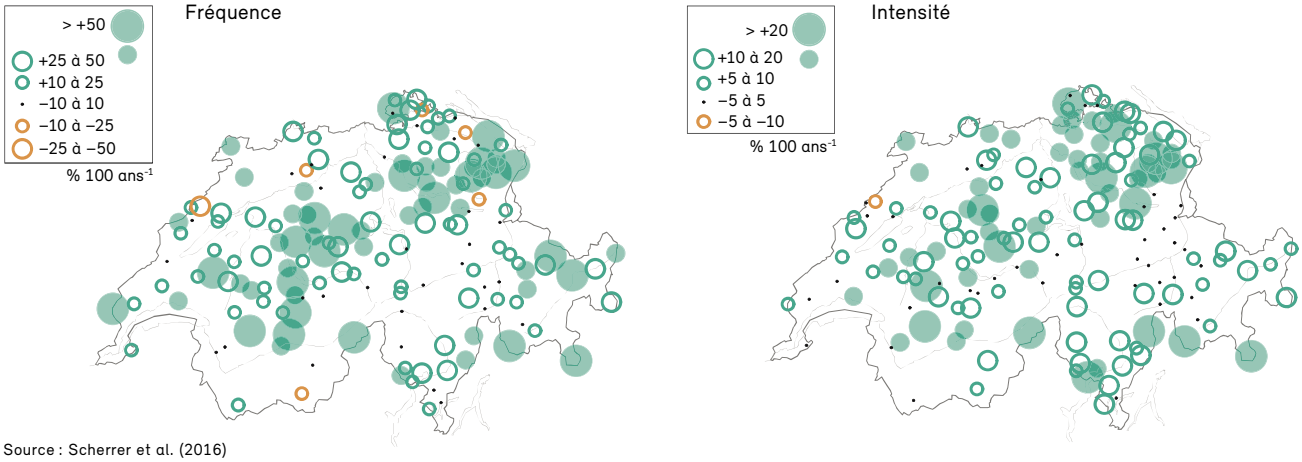
3.3.2 Fortes précipitations

Les changements climatiques ont également une influence sur l'intensité et la fréquence des fortes précipitations. Sont considérées ici comme de fortes précipitations, d'une part les sommes de précipitations journalières les plus élevées par an pour le paramètre de l'intensité des précipitations et, d'autre part, le nombre d'événements par an qui dépassent une valeur seuil de précipitations journalières pour le paramètre de la fréquence des fortes précipitations (Scherrer et al. 2016). Il s'agit d'épisodes qui se produisent une à trois fois par an et non des précipitations extrêmes très rares[29]. Les fortes précipitations peuvent déclencher un ruissellement de surface, des inondations, des laves torrentielles ou des glissements de terrain et entraîner ainsi des dommages matériels.

Dans la plupart des stations de mesure, on observe, depuis 1901, une fréquence accrue des fortes précipitations, qui sont aujourd'hui en moyenne 30 % plus fréquentes qu'au début du 20e siècle (figure 30, à gauche). L'intensité des précipitations journalières les plus abondantes ont augmenté de 12 % en moyenne au cours de la même période (figure 30, à droite). Les quatre saisons présentent le même profil : une majorité des sites de mesure ont enregistré une augmentation de la fréquence et de l'intensité des fortes précipitations saisonnières (Scherrer et al. 2016).

Fig. 30 : Évolution de la fréquence et de l'intensité des fortes précipitations

Modification de la fréquence (à gauche) et de l'intensité (à droite) des fortes précipitations entre 1901 et 2015 aux stations suisses de mesure des précipitations (modification en % par siècle)[30]. En vert : augmentation ; en orange : diminution. Des changements significatifs (cercles pleins) sont observés dans plus de 30 % des stations.



Source : Scherrer et al. (2016)

29 Des informations sur les périodes de retour des précipitations extrêmes dans le climat régnant actuellement sont disponibles sous *www.valeurs-extremes.ch*

30 Le calcul de la fréquence se fonde sur le 99e centile des précipitations journalières, celui de l'intensité sur la valeur la plus élevée de la somme des précipitations sur une journée d'une année.

3.3.3 Sécheresse

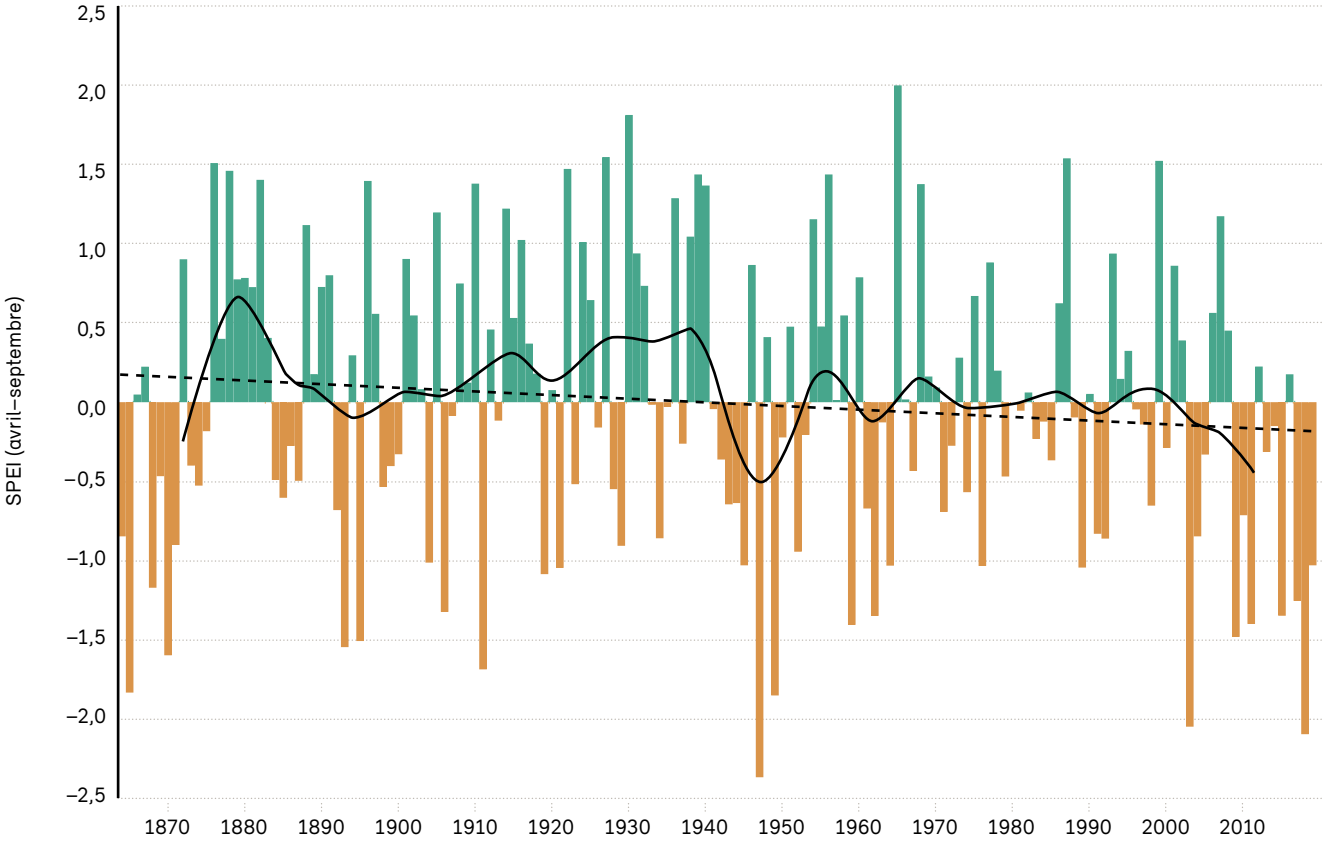
Le SPEI *(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index,* indice de précipitations et d'évapotranspiration normalisé, Vicente-Serrano et al. 2010) est utilisé pour la comparaison de la sécheresse à long terme au cours du semestre d'été. Il est basé sur le bilan hydrique, c'est-à-dire la différence entre les précipitations et l'évaporation.

Au semestre d'été, le SPEI met en évidence une légère baisse du bilan hydrique entre 1864 et 2018 (figure 31). La fréquence des épisodes de sécheresse tend à augmenter. Cette tendance peut parfaitement s'expliquer du point de vue physique étant donné qu'en cas de hausse de la température, l'évaporation potentielle augmente aussi ; elle n'est toutefois pas statistiquement significative.

La fréquence des années sèches (valeurs négatives du SPEI) au cours des 10 à 15 dernières années est bien visible ; elle coïncide, par ailleurs, avec les mesures satellitaires de la sécheresse. Le semestre d'été 2018 a été très sec en comparaison pluriannuelle (SPEI inférieur à -2) et présente la valeur SPEI la plus basse depuis le début des mesures en 1864 (MétéoSuisse, 2018).

Fig. 31 : Évolution de l'indice de sécheresse SPEI au semestre d'été (avril à septembre)

Moyenne des stations de Bâle/Binningen, Berne/Zollikofen, Zurich/Fluntern et Genève/Cointrin. La période de référence va du début des mesures en 1864 jusqu'en 2019. Des valeurs fortement négatives indiquent des événements de sécheresse rares ou très rares. Un SPEI situé entre -0,5 et 0,5 est considéré comme normal. La ligne noire représente la moyenne glissante et la ligne pointillée la tendance linéaire.



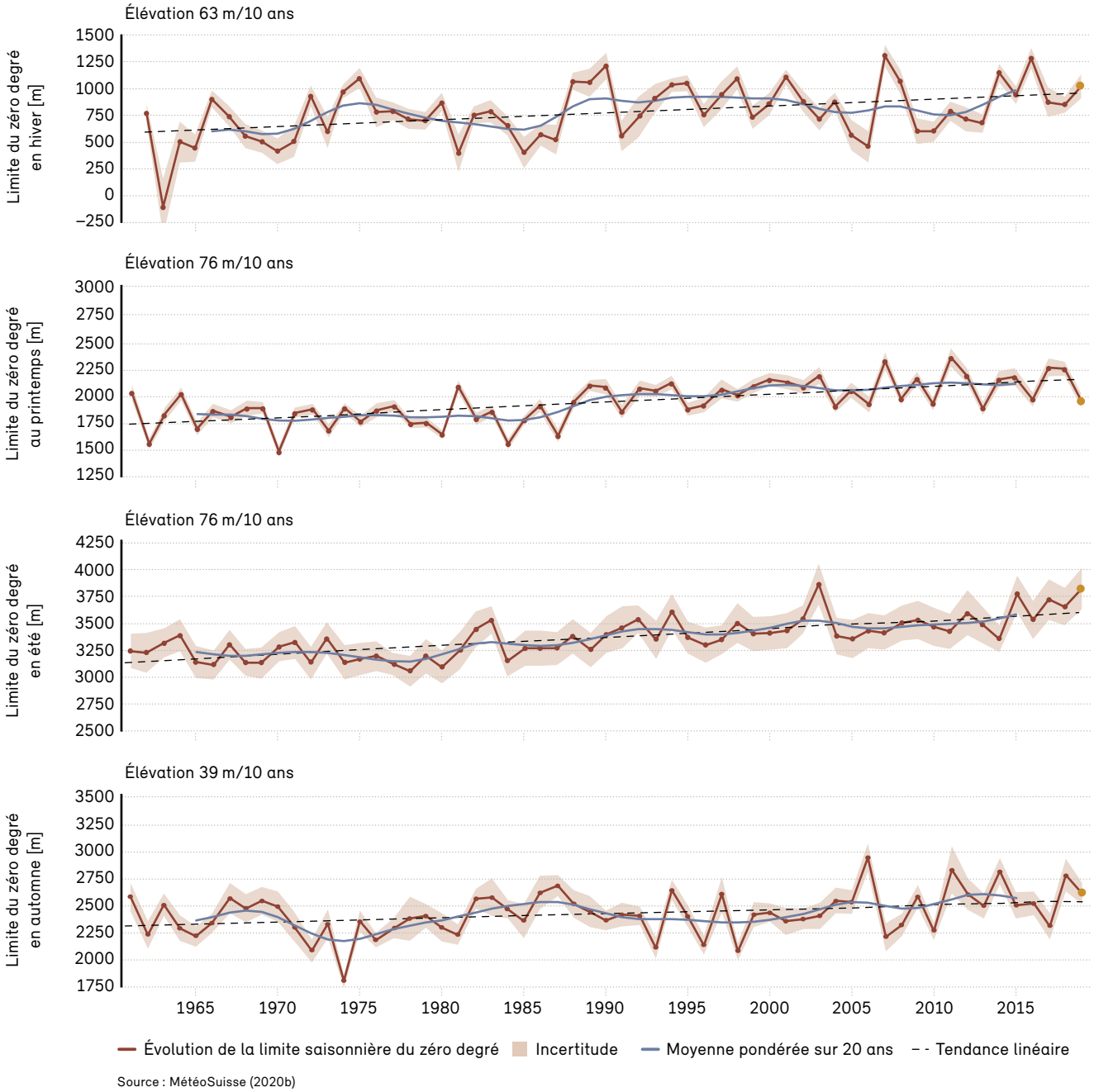
Source : MétéoSuisse (2020a)

3.4 Limite du zéro degré et couverture neigeuse

La hausse de la limite (ou isotherme) du zéro degré constitue une mesure claire des changements climatiques en Suisse. L'altitude de l'isotherme du zéro degré est déterminée par des stations au sol (cf. MétéoSuisse 2020b pour de plus amples informations). Le réchauffement progressif a entraîné, depuis 1961, en toutes saisons, une élévation significative de la limite du zéro degré (figure 32) : d'environ 220 m en automne, de 400 en hiver, et même

Fig. 32 : Évolution de la limite saisonnière du zéro degré

Évolution de la limite saisonnière du zéro degré (altitude en mètres) en moyenne pour l'ensemble de la Suisse de 1961 à 2019 (ligne bleu foncé ; le point orange correspond à 2019), tendance linéaire (pointillé noir) et moyenne pondérée sur 20 ans (ligne bleue). L'ombre rouge correspond à l'incertitude sur l'altitude de la limite du zéro degré.



Source : MétéoSuisse (2020b)

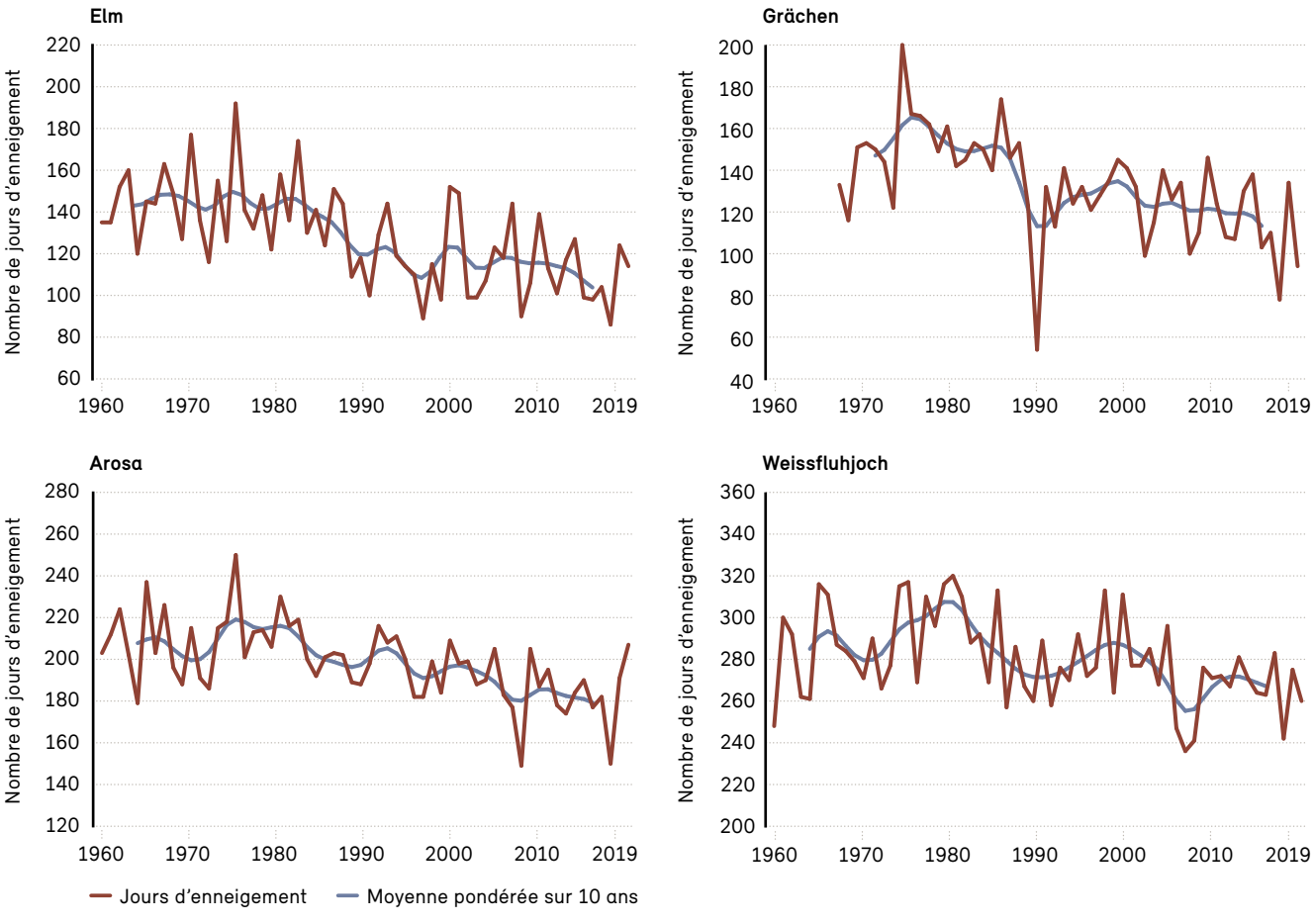
respectivement de 430 m et 480 m au printemps et en été. Il ressort de ces valeurs que l'isotherme du zéro degré s'élève de 150 à 200 m par degré de hausse de la température (cf. 4.2 pour l'évolution future des températures).

En montagne, le cumul de neige fraîche, l'épaisseur de la couche de neige et la durée d'enneigement (cf. figure 33 pour ce dernier aspect) ont fortement diminué du fait de l'élévation de la limite du zéro degré. Lorsque l'isotherme du zéro degré monte, les précipitations au début et à la fin de l'hiver ainsi qu'à faible ou moyenne altitude tombent davantage sous forme de pluie. Une limite plus élevée du zéro degré accélère en outre la fonte des neiges au printemps.

La hausse des températures hivernales et l'incertitude concernant les conditions d'enneigement qui en découle constituent un défi majeur pour les régions des Préalpes, qui dépendent fortement du tourisme d'hiver. À plus haute altitude, ce problème est moindre, les conditions pour qu'il neige en hiver étant généralement réunies malgré l'élévation des températures (cf. chap. 4, ainsi que 6.4 et 8.7).

Fig. 33 : Jours d'enneigement

Nombre de jours d'enneigement (épaisseur de la couverture neigeuse ≥ 1 cm) de 1961 à 2019 au cours de la période d'août à juillet aux stations de mesure d'Elm (958 m), de Grächen (1605 m), d'Arosa (1878 m) et du Weissfluhjoch (2690 m). Données non homogénéisées. La ligne bleue indique la moyenne pondérée sur 10 ans.



Source : MétéoSuisse (2020a)

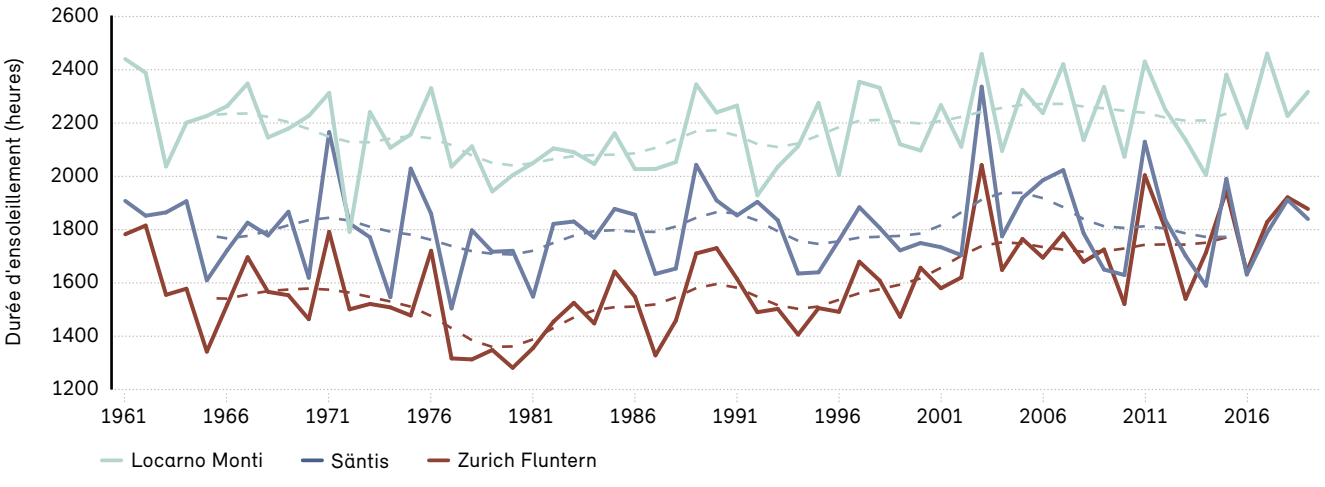
3.5 Durée d'ensoleillement et couverture nuageuse

La durée d'ensoleillement mesurée dans la plupart des stations a fortement diminué de 1950 jusque vers 1980 ; une augmentation significative sur le Plateau et à basse altitude dans le sud des Alpes a ensuite été enregistrée (figure 34). Entre 1980 et 2019, on a recensé une hausse de plus 400 heures, soit de 25 %, à Zurich/Fluntern et de 225 heures, soit de 10 %, à Locarno/Monti. En revanche, aucune baisse significative jusqu'en 1980 ni d'augmentation nette n'a été observée jusqu'à présent à la station de haute altitude du Säntis.

Les tendances observées sont principalement liées à la variabilité des conditions météorologiques. Les périodes pendant lesquelles la durée d'ensoleillement est faible et la couverture nuageuse plus importante sont plus fortement sous l'influence de situations dépressionnaires (basses pressions), tandis que les périodes pendant lesquelles la durée d'ensoleillement est importante et la couverture nuageuse plus faible sont plus fortement déterminées par des conditions anticycloniques (hautes pressions). Les périodes de brouillard plus ou moins important ont en outre une incidence sur la durée annuelle d'ensoleillement, surtout pendant la moitié froide de l'année et à basse altitude. Une influence supplémentaire de la pollution atmosphérique, qui a atteint un pic vers 1980, ne peut être exclue mais n'a pas encore pu être quantifiée.

Fig. 34 : Durée d'ensoleillement

Durée d'ensoleillement, en heures, de 1961 à 2019 aux stations de Zurich/Fluntern (en rouge), du Säntis (en bleu) et de Locarno/Monti (en turquoise). Les lignes lissées indiquent une moyenne glissante calculée sur 11 ans.



Source : MétéoSuisse (2020a)

3.6 Indicateurs climatiques ne mettant pas en évidence jusqu'ici une évolution perceptible

Comme décrit ci-dessus, les changements climatiques ont déjà eu un impact sur de nombreux indicateurs du système climatique. Toutes les modifications observées vont dans le sens de l'évolution attendue à l'avenir sur la base des scénarios climatiques (cf. chap. 4).

Toutefois, pour quelques paramètres, tels que les précipitations estivales ou la sécheresse en été, les observations ne correspondent pas encore à l'évolution à laquelle on s'attend à l'avenir. En effet, les modifications induites par les changements climatiques sont encore minimes et la grande variabilité naturelle domine le profil observé.

Par ailleurs, l'identification et l'interprétation de modifications graduelles ont aussi leurs limites. C'est notamment le cas pour les phénomènes localisés ou rares ne pouvant pas être suffisamment bien recensés par des observations ni intégrés dans les modèles climatiques actuels, par exemple les stratus, le vent et la tempête, les orages ou la grêle. S'agissant de ces phénomènes, il serait judicieux d'utiliser la variabilité observée jusqu'ici en tant que référence pour l'élaboration de mesures de prévention et d'adaptation. Des améliorations dans le cadre des observations du climat ainsi que des modèles climatiques plus performants dotés d'un maillage plus serré devraient contribuer à permettre un recensement encore plus détaillé des changements du système climatique à l'avenir.

4 Le climat futur de la Suisse

En tant que pays alpin, la Suisse est particulièrement exposée aux changements climatiques et aux risques qui y sont liés. L'ampleur des modifications dépend essentiellement de l'évolution des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Cependant, même si l'on arrive à limiter le réchauffement de la Planète à 2 °C par rapport au niveau préindustriel, la Suisse devra s'adapter à ces changements et à leurs conséquences. Il est donc important de savoir où et de quelle manière les modifications du climat auront un impact à l'avenir.

Les scénarios climatiques CH2018 (NCCS 2018) décrivent l'évolution possible du climat en Suisse d'ici au milieu de ce siècle et au-delà. Ils ont été élaborés entre 2015 et 2018 sous l'égide de MétéoSuisse et de l'EPF de Zurich, et figurent parmi les thèmes prioritaires du NCCS[31], qui regroupe les services climatologiques, identifie les besoins et met en réseau les acteurs.

Les scénarios d'émission définis dans le cadre des travaux du GIEC constituent le point de départ des scénarios climatiques CH2018 (4.1). La trajectoire que les émissions mondiales suivront à l'avenir aura une influence décisive sur l'ampleur des changements de température en Suisse (4.2). Les projections concernant les principaux changements sont présentées sous 4.3. Les résultats des scénarios climatiques servent de base à des études plus poussées portant sur les conséquences des changements climatiques et la planification des mesures d'adaptation (cf. chap. 8).

4.1 Données de référence basées sur des scénarios d'émission et des modèles climatiques

Les rejets de gaz à effet de serre à l'échelle planétaire, qui dépendent du développement social et économique, sont un élément capital pour évaluer l'évolution du climat futur. Comme il n'est pas possible de prévoir cette évolution avec précision, on utilise divers scénarios (dits scénarios d'émission) qui se traduisent par différents niveaux d'émission de CO_2.

Les scénarios climatiques possibles peuvent être calculés à l'aide de modèles climatiques ainsi que sur la base des différents scénarios d'émission. Ils permettent de se prononcer sur l'évolution possible du climat en posant certaines hypothèses. S'appuyant sur les travaux du GIEC, les nouveaux scénarios climatiques CH2018 prennent en compte trois évolutions possibles pour les émissions de gaz à effet de serre, dont deux sont présentées dans ce rapport :

a. une protection cohérente du climat (RCP2.6) : avec une mise en œuvre rapide de la réduction des émissions mondiales jusqu'à pratiquement zéro, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sera stoppée dans une vingtaine d'années. Cela devrait vraisemblablement permettre d'atteindre les objectifs fixés dans l'Accord de Paris et de limiter le réchauffement de la Planète à 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels ;
b. pas de protection du climat (RCP8.5) : aucune mesure de protection climatique n'est prise. Malgré les progrès technologiques, les émissions ayant un impact sur le climat continuent d'augmenter et, avec elles, le réchauffement.

Les résultats de simulations avec 21 modèles climatiques différents sont disponibles pour les scénarios d'émission considérés. Il en résulte des fourchettes pour l'estimation des effets sur le climat futur. Les deux sections ci-après résument l'impact que ces changements auront sur la Suisse.

4.2 Évolution de la température avec ou sans mesures de protection du climat

La Suisse est également touchée par la hausse des températures mondiales. Les nouveaux scénarios climatiques CH2018 montrent que si la hausse des émissions de gaz à effet de serre n'est pas freinée (RCP8.5), la température annuelle moyenne de la Suisse s'élèverait de 2 à 3 °C

31 *www.nccs.ch*

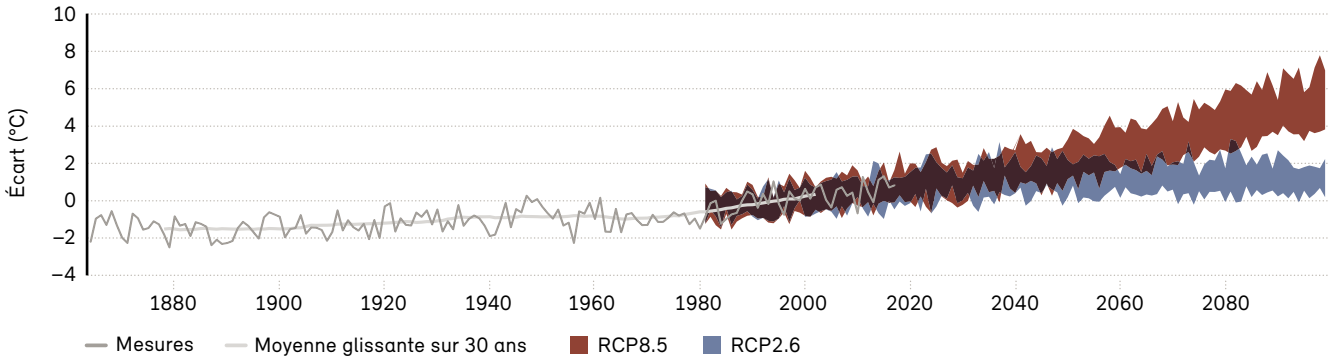
supplémentaires d'ici au milieu du siècle. Une réduction rapide et drastique des rejets mondiaux de gaz à effet de serre (RCP2.6) permettrait néanmoins de limiter le réchauffement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels (figure 35).

Le réchauffement attendu d'ici à 2060 touche toutes les régions de Suisse et est légèrement plus prononcé en été qu'en hiver (figure 36). Alors qu'on ne note pas de différences régionales en hiver, on observe une augmentation des températures supérieure à la moyenne dans les régions alpines en été.

4.3 Vue d'ensemble des principaux résultats des scénarios CH2018

Les modifications du climat en Suisse ne se reflètent pas seulement dans l'évolution des températures moyennes. Différents indicateurs climatiques peuvent être utilisés pour illustrer les effets attendus. Il faut également s'attendre à des changements notables dans les précipitations. Bien qu'il n'y ait guère de signes d'augmentation ou de diminution en termes de moyennes annuelles, des tendances claires se dessinent lorsqu'on les décompose par saison. De même, il faut s'attendre à des changements en ce qui concerne les températures et les précipitations extrêmes.

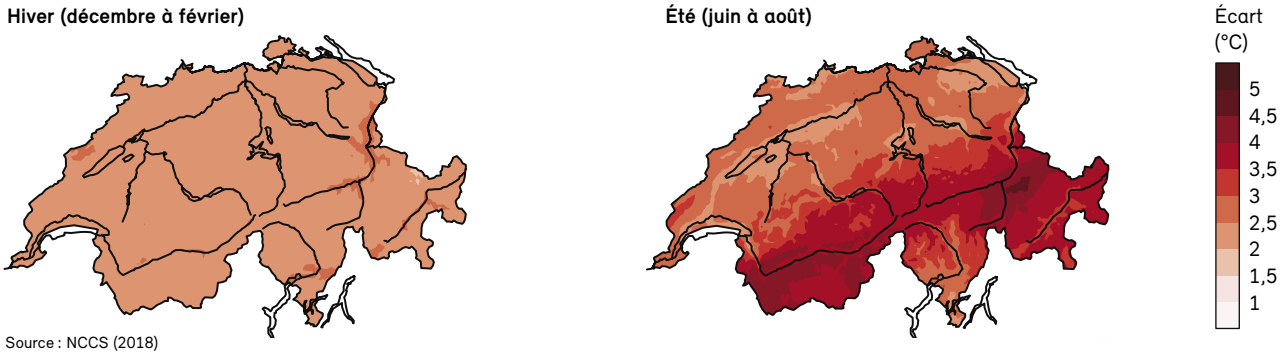
Fig. 35 : Évolution mesurée et prévue de la température annuelle moyenne de 1864 à 2100 pour l'ensemble de la Suisse par rapport à la période de référence 1981-2010



Source : NCCS (2018)

Fig. 36 : Hausse absolue de la température en hiver et en été aux alentours de 2060 par rapport à la période de référence 1981-2010

Hiver (à gauche) : mois de décembre à février ; été (à droite) : mois de juin à août. Le graphique montre les hausses pour un scénario sans mesures de protection du climat à l'échelle mondiale (scénario RCP8.5).



Source : NCCS (2018)

Les quatre principaux résultats découlant du scénario de changement climatique débridé (RCP8.5) attendus pour la Suisse au milieu du 21e siècle sont présentés ci-après.

4.3.1 Des étés secs

Les quantités de précipitations moyennes diminueront pendant les mois d'été ; la baisse pourrait atteindre 25 % au milieu du siècle. Il y aura moins de jours de pluie, avec un allongement de la période la plus longue sans précipitations. Parallèlement, l'évaporation augmentera et les sols seront plus secs. La tendance à la sécheresse s'accentuera au fur et à mesure de la progression des changements climatiques.

4.3.2 Plus de journées tropicales

Les températures maximales augmenteront beaucoup plus fortement que les températures moyennes. Au milieu du siècle, la température des journées les plus chaudes pourrait s'accroître de 2 à 5,5 °C par rapport à aujourd'hui. Les vagues de chaleur seront plus fréquentes et plus extrêmes. Le stress thermique le plus important se fera sentir dans les zones urbaines, densément peuplées et situées à basse altitude. Sur le Plateau et dans les vallées alpines, le thermomètre grimpera plus fréquemment au-dessus de la barre des 30 °C qui caractérise une journée tropicale. La nuit aussi, le réchauffement se fera plus perceptible à l'avenir. L'accroissement du nombre de nuits tropicales à basse altitude sera également une des conséquences de cette évolution.

4.3.3 Des précipitations violentes

Les fortes précipitations devraient être nettement plus fréquentes et plus intenses que celles que nous connaissons aujourd'hui, et ce en toutes saisons. Malgré une baisse du cumul des précipitations, les événements uniques seront plus intenses. Les précipitations extrêmes très rares, qui ne surviennent qu'une fois tous les 100 ans environ, se renforceront aussi. Au milieu du siècle, il faut s'attendre à une augmentation de 10 à 20% des précipitations violentes.

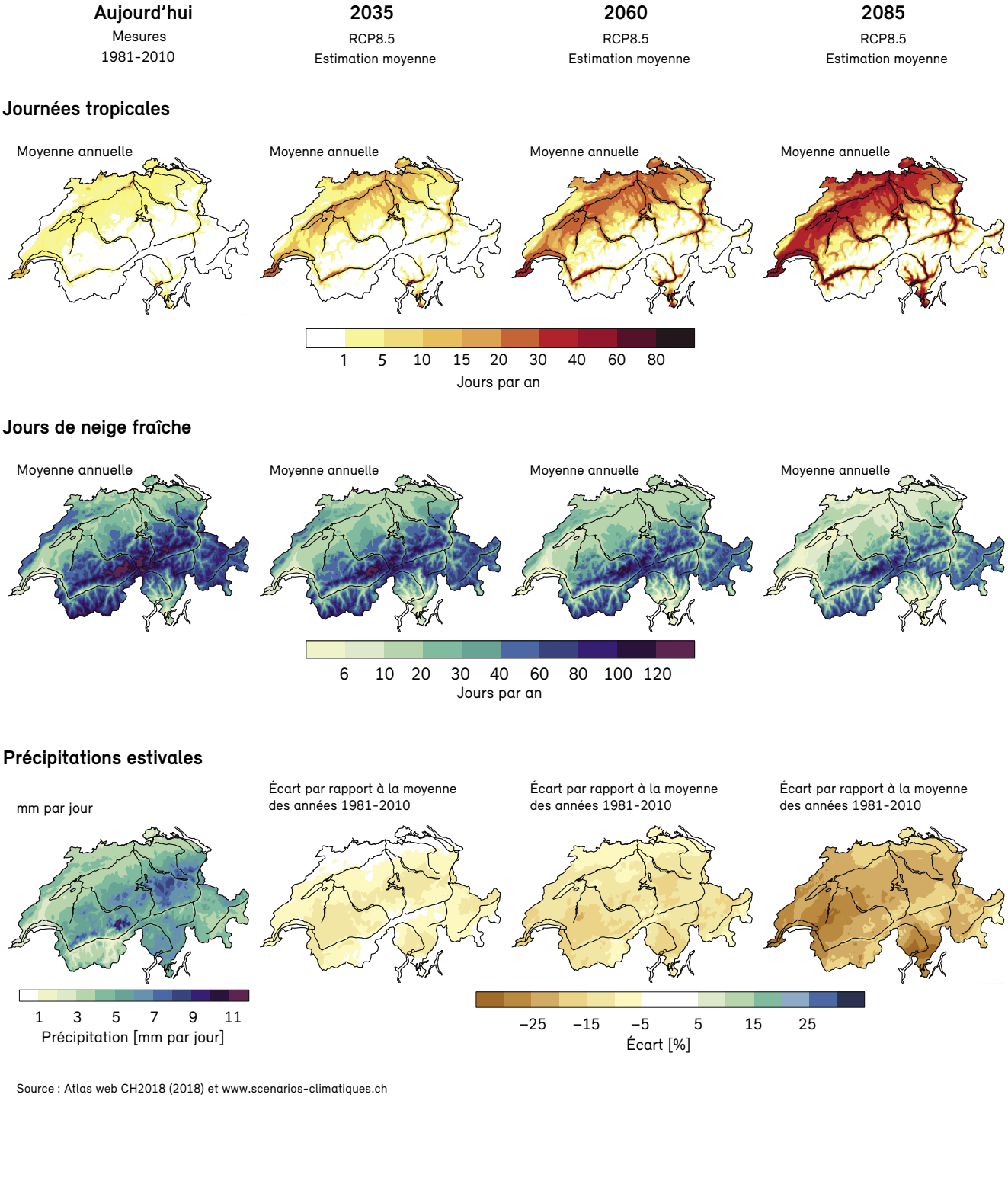
4.3.4 Des hivers peu enneigés

Au milieu du siècle, les hivers seront aussi nettement plus doux qu'aujourd'hui, de 2 à 3,5 °C en moyenne. Il y a aura certes plus de précipitations, mais surtout sous forme de pluie du fait de l'élévation de la limite du zéro degré ; actuellement située vers 850 m, elle passera à 1250 voire à 1500 m. Dans les régions de basse altitude, il neigera donc moins et plus rarement. Les zones enneigées diminueront par conséquent fortement en Suisse. Sur l'ensemble de l'année, il y aura moins de jours de neige fraîche dans toutes les régions. Sur le Plateau, en dessous de 400 m, on s'attend à un recul du nombre de jours de neige fraîche, qui passera de treize en moyenne à huit.

Une baisse drastique des émissions mondiales de gaz à effet de serre permettrait, en Suisse aussi, d'enrayer efficacement les changements climatiques : près de la moitié des modifications attendues pourraient être évitées d'ici au milieu du 21e siècle et les deux tiers de celles-ci d'ici la fin du siècle. Cela vaudrait non seulement pour les températures mais aussi pour d'autres indicateurs climatiques ainsi que pour l'évolution des précipitations. Certes, les changements climatiques se poursuivraient mais de manière beaucoup moins prononcée que dans un monde où les émissions sont en constante augmentation.

Fig. 37 : Évolution des journées tropicales, des jours de neige fraîche et des quantités de précipitations en été

Évolution pour un scénario d'émission sans mesures de protection du climat à l'échelle mondiale (RCP8.5). Périodes représentées : aujourd'hui = 1981-2010, 2035 = 2020-2049, 2060 = 2045-2074, 2085 = 2070-2099.



Source : Atlas web CH2018 (2018) et www.scenarios-climatiques.ch

4.4 Autres études et activités

Les nouveaux scénarios climatiques CH2018 permettent d'avoir la vision la plus précise à ce jour de l'avenir climatique de la Suisse. Ils confirment et élargissent le panorama dressé dans les études précédentes réalisées en 2007 et en 2011. Des données quantitatives sont désormais également disponibles pour diverses tendances qui n'étaient auparavant connues qu'en termes qualitatifs, comme les précipitations extrêmes. Les nouveaux scénarios climatiques reflètent en outre les connaissances scientifiques les plus récentes ; ils tiennent compte des conclusions du cinquième rapport d'évaluation du GIEC et sont basés sur les toutes dernières simulations climatiques, obtenues avec une résolution spatiale quatre fois supérieure à celle de la génération précédente de scénarios climatiques.

Les nouveaux scénarios climatiques CH2018 ayant été élaborés en étroite collaboration avec les utilisateurs, ils peuvent plus facilement être intégrés dans des études plus approfondies sur les conséquences des changements climatiques et les possibilités d'adaptation. Le NCCS assume un rôle important dans la coordination de ce processus, qui garantit que les travaux ultérieurs seront fondés sur une base de données uniforme et qui permet aussi de déterminer plus aisément les besoins des utilisateurs dans une optique d'amélioration des prestations climatologiques.

Le thème prioritaire Hydro-CH2018 du NCCS, qui est consacré aux ressources en eau et à leur évolution future, est un exemple de l'application des nouveaux scénarios climatiques suisses CH2018. L'objectif est de mettre à disposition de meilleures bases hydrologiques pour les mesures d'adaptation.

Les nouveaux scénarios climatiques constituent également une base d'informations et de données importante pour la deuxième phase du programme pilote de l'OFEV « Adaptation aux changements climatiques » (cf. 8.2) et un auxiliaire essentiel pour permettre aux cantons, aux régions et aux communes de faire face aux défis posés par les changements climatiques.

5 Effets des changements climatiques sur les systèmes naturels

De longues séries de mesures documentent le recul des glaciers alpins consécutif au réchauffement climatique (5.2.1). Différents autres indicateurs fournissent également des renseignements sur les effets des changements climatiques sur l'espace naturel de la Suisse. Le régime d'écoulement et la température des eaux se modifient (5.1), le pergélisol fond (5.2.2), la stabilité des pentes diminue, favorisant les processus d'érosion (5.3). Des changements sont aussi perceptibles dans l'environnement biotique (5.4).

5.1 Hydrosphère

Les changements climatiques induisent des modifications de la nature et du volume et de la répartition temporelle des précipitations ainsi qu'une hausse des températures moyennes. Le débit des cours d'eau (5.1.1) et les températures des étendues et des cours d'eau ainsi que des eaux souterraines sont étroitement liés aux modifications des conditions climatiques (5.1.2).

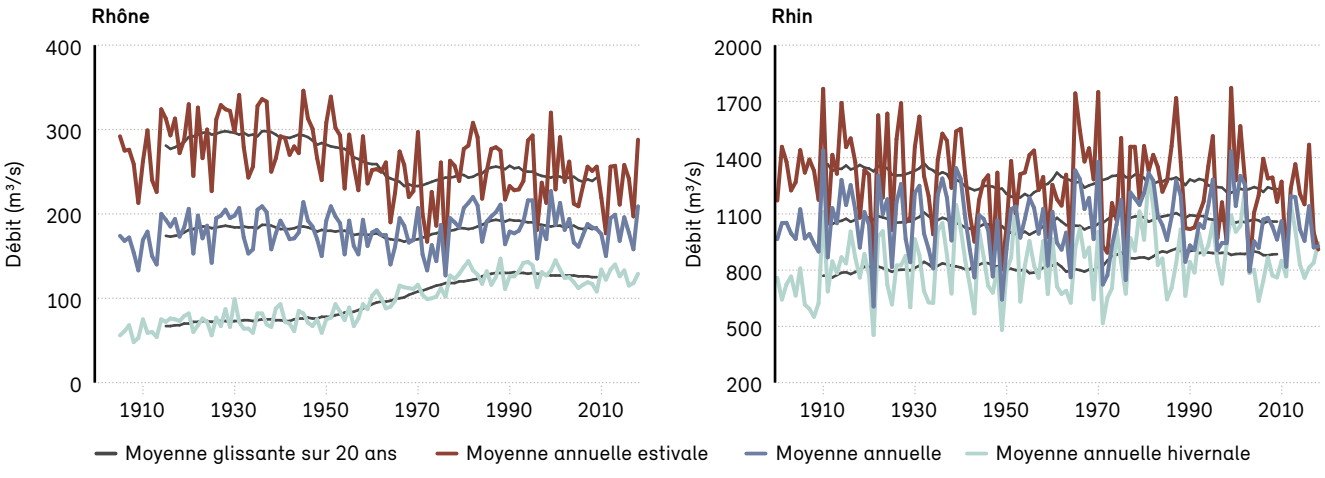
5.1.1 Débit

Le régime d'écoulement, en d'autres termes l'évolution saisonnière moyenne du débit d'un cours d'eau, est déterminé par le rapport entre les précipitations et l'évaporation ainsi que par le moment et l'ampleur de la fonte de la neige et des glaciers.

Dans les grands bassins versants du Rhône et du Rhin, par exemple, la modification du climat n'a guère eu d'impact sur les débits annuels moyens. Il n'en va toutefois pas de même pour les débits saisonniers. La figure 38 montre une augmentation des débits hivernaux dans les deux bassins versants. Cette tendance s'explique d'une part par la légère augmentation des précipitations et, d'autre part, par l'effet de la température sur l'altitude de la limite pluie-neige. En hiver, une proportion plus grande des précipitations tombe sous forme de pluie et s'écoule ainsi directement. L'exploitation des bassins d'accumulation en montagne qui, en été, servent au stockage intermédiaire de quantités considérables d'eau destinées à la production d'énergie en hiver, est également un facteur

Fig. 38 : Débits du Rhône et du Rhin

Valeurs annuelles et saisonnières moyennes (été/hiver) entre 1900 et 2017 dans le Rhône (Porte du Scex) (à gauche) et dans le Rhin (Bâle) (à droite).



Source : OFEV (2019b)

important ayant une incidence sur le débit. Dans le bassin versant du Rhin, les débits estivaux sont plus faibles en raison de l'évaporation accrue sous l'effet de la hausse des températures et de par la diminution des quantités d'eau provenant de la fonte de la neige. Dans le bassin versant du Rhône, cette tendance est pour l'instant encore compensée par les débits accrus liés à la fonte des glaciers.

L'incidence des températures élevées sur le régime d'écoulement diffère selon la surface et l'altitude du bassin versant, sa situation géographique et le degré de glaciation (OFEV 2012b).

5.1.2 Température des cours d'eau, des lacs et des eaux souterraines

Depuis le début des mesures, dans les années 1960, on enregistre une hausse de la température des grands cours d'eau de Suisse (figure 39). Cette tendance est plus prononcée sur le Plateau que dans les Alpes. L'augmentation observée est en partie imputable aux changements climatiques, mais d'autres facteurs, tels que les rejets d'eau chaude par l'industrie et les centrales thermiques, y contribuent également. En région alpine, les variations saisonnières de la température sont atténuées par les apports accrus d'eau issue de la fonte de la neige.

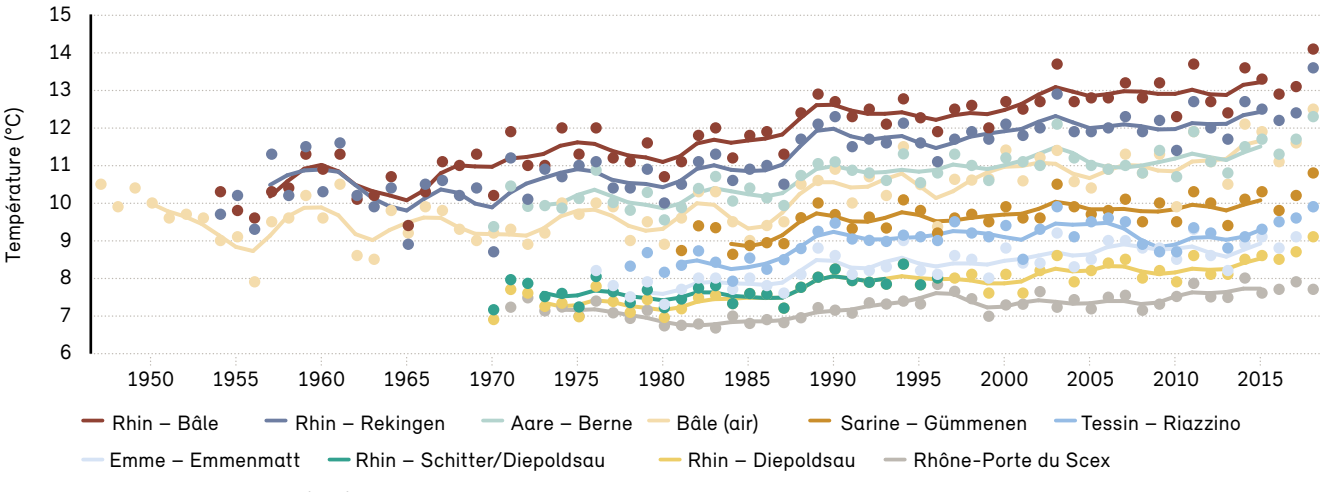
Le réseau de mesure des températures exploité par la Confédération permet d'avoir une vue d'ensemble à l'échelle nationale des grands cours d'eau et d'observer les influences liées au climat. Ce réseau sera complété afin d'améliorer la valeur probante des évaluations concernant les petits et moyens cours d'eau (Herold et al. 2018).

Dans les conditions climatiques prévalant jusqu'ici, les eaux des lacs suisses présentent une stratification thermique caractéristique due à des variations de densité causées par des différences de températures. Lorsque les températures hivernales sont suffisamment basses et selon la profondeur de l'eau, les différentes couches se mélangent partiellement ou complètement une ou deux fois par an. L'augmentation de la température des lacs induite par les changements climatiques peut modifier ou entraver ce processus de brassage. Or celui-ci est essentiel pour le fonctionnement des lacs, qui sont des écosystèmes complexes.

Les effets défavorables des changements climatiques sur les écosystèmes lacustres sont de plus en plus perceptibles en Suisse. Dans le lac de Zurich, une élévation de la température annuelle moyenne de 0,4 °C par décennie a été enregistrée depuis 1980 à une profondeur de

Fig. 39 : Évolution de la température de neuf cours d'eau

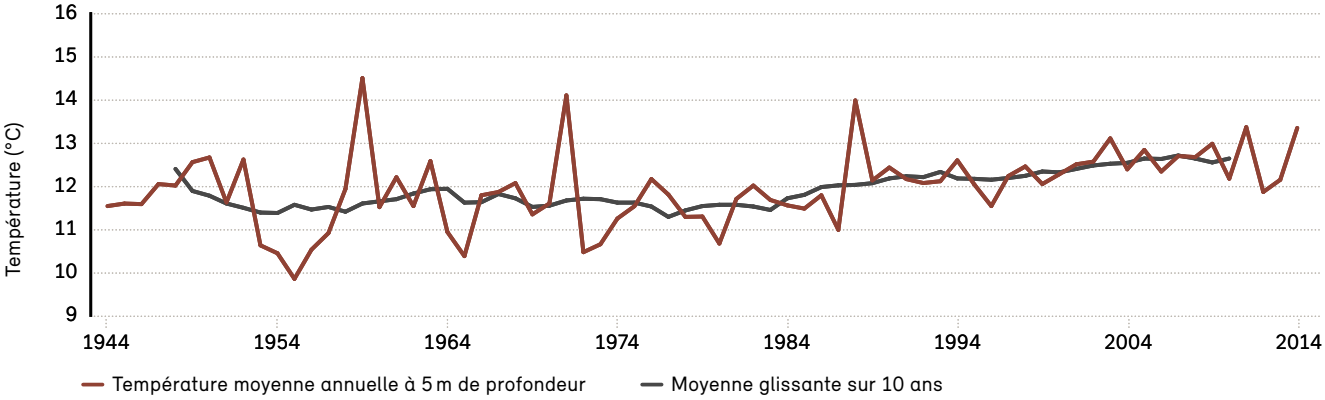
Moyennes annuelles de la température de l'eau en neuf stations de mesure de l'OFEV entre 1954 et 2018. Les moyennes annuelles glissantes sont calculées sur sept ans. La température de l'air mesurée à Bâle (MétéoSuisse) est indiquée à des fins de comparaison.



Source : OFEV et MétéoSuisse (2019)

Fig. 40 : Évolution de la température du lac de Zurich

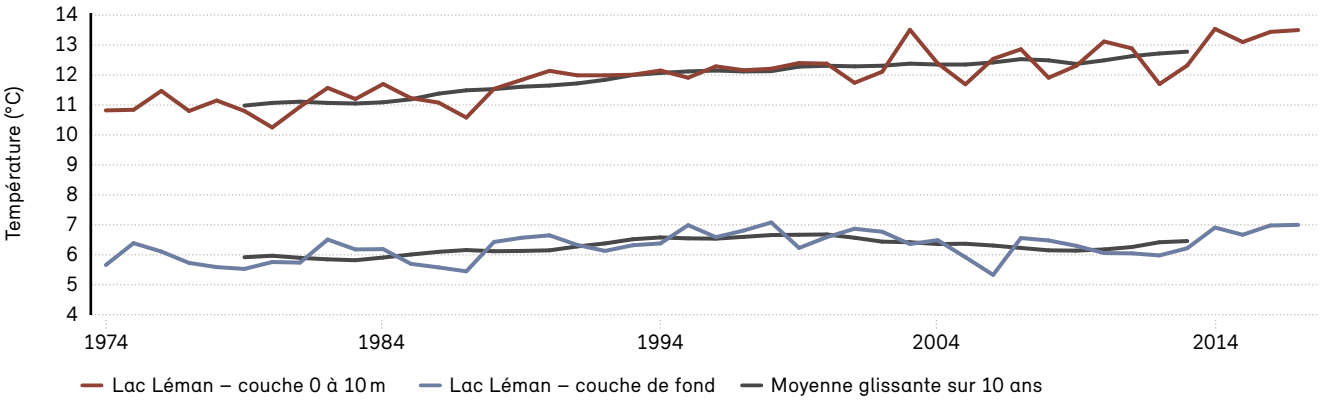
Évolution de la température de l'eau (moyennes annuelles) dans le lac de Zurich à une profondeur de 5 m et au point de prélèvement de Thalwil entre 1944 et 2014.



Source : Ville de Zurich (2019)

Fig. 41 : Évolution de la température du lac Léman

Évolution de la température de l'eau (moyennes annuelles) dans le lac Léman à des profondeurs de 0 à 10 m et en eaux profondes au point de prélèvement GE3 entre 1974 et 2017.



Source : CIPEL (2018a)

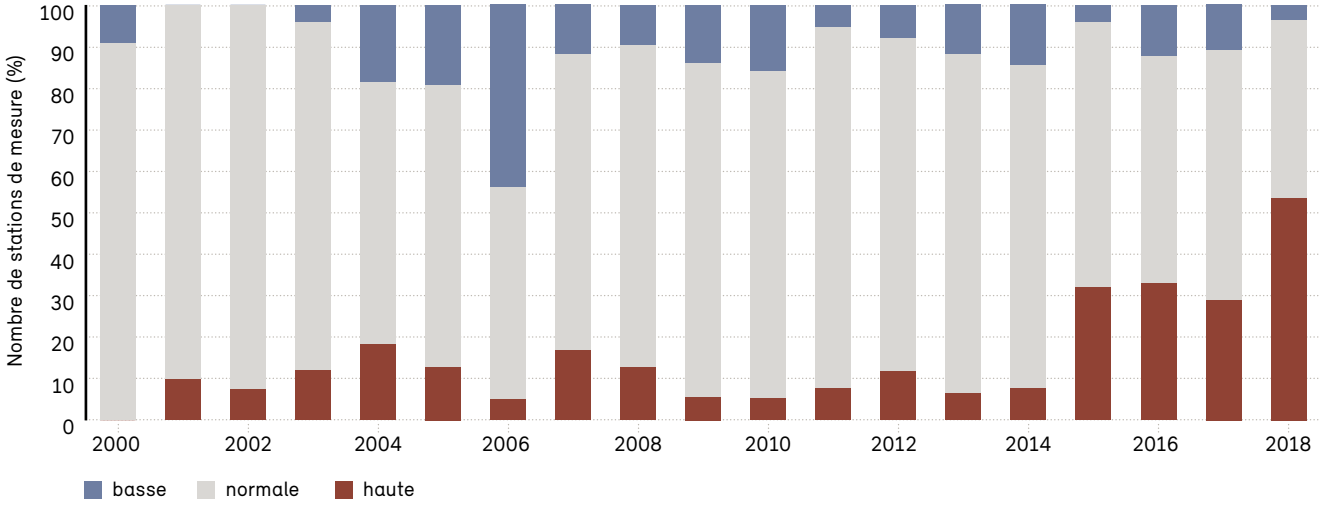
5 m (figure 40) ; une augmentation de la température est également observée dans le lac Léman (figure 41). Ces hausses sont associées à une diminution du brassage et à un manque d'oxygène croissant dans les eaux profondes. Des changements dans la composition des algues ont également été mis en évidence (Schmid et al. 2019).

La hausse des températures moyennes a aussi pour conséquence que la fréquence à laquelle les lacs du Plateau suisse gèlent baisse depuis 40 ans ; les événements de ce type se sont raréfiés au cours des 20 dernières années. On observe toutefois des fluctuations importantes même sur de courtes périodes. Alors qu'en 2007, aucun lac n'avait gelé, l'extraordinaire vague de froid de février 2012 a entraîné la formation d'une épaisse couche de glace sur tout ou partie de la surface de ces lacs.

Dans le cas de lacs très profonds (p. ex. le lac de Brienz ou le lac de Walenstadt), qui gèlent moins fréquemment, la diminution de la couverture de glace est particulièrement prononcée. En revanche, les lacs peu profonds (p. ex. le lac de Greifen, le lac de Pfäffikon ou le lac d'Ägeri) sont encore entièrement recouverts de glace la plupart des

Fig. 42 : Évolution de la température des eaux souterraines

Moyenne par station de mesure et par année par rapport à la moyenne pluriannuelle (de 2000 à 2018). Température normale des eaux souterraines : le relevé actuel se situe dans la fourchette de 80 % des valeurs mesurées entre 2000 et 2018 ; température élevée : le relevé actuel se situe dans la fourchette de 10 % des valeurs les plus hautes mesurées entre 2000 et 2018 ; température basse : le relevé actuel se situe dans la fourchette de 10 % des valeurs les plus basses mesurées entre 2000 et 2018.



Source : OFEV (2019c)

hivers. La durée de la couverture de glace a toutefois considérablement diminué depuis le milieu du 19e siècle.

La température des eaux souterraines a un impact important sur l'état chimique et biologique de ces eaux. Son observation permet de mettre en évidence une corrélation entre l'évolution de la température et les influences anthropiques directes (zones d'habitation, travaux de fouille, utilisation de l'énergie géothermique, etc.) ou indirectes (augmentation de la température de l'air).

La température des eaux souterraines enregistrée par environ 45 % des 48 stations du réseau de mesure de l'Observation nationale des eaux souterraines (NAQUA) n'a pratiquement pas varié entre 2000 et 2016 ; s'agissant des autres stations, 45 % ont relevé une augmentation de plus de 0,2 °C par décennie et les 10 % restantes une baisse de plus de 0,2 °C par décennie (OFEV 2019a). Une comparaison pluriannuelle illustre les effets des températures élevées de l'air en 2018 sur les eaux souterraines (figure 42).

5.2 Cryosphère

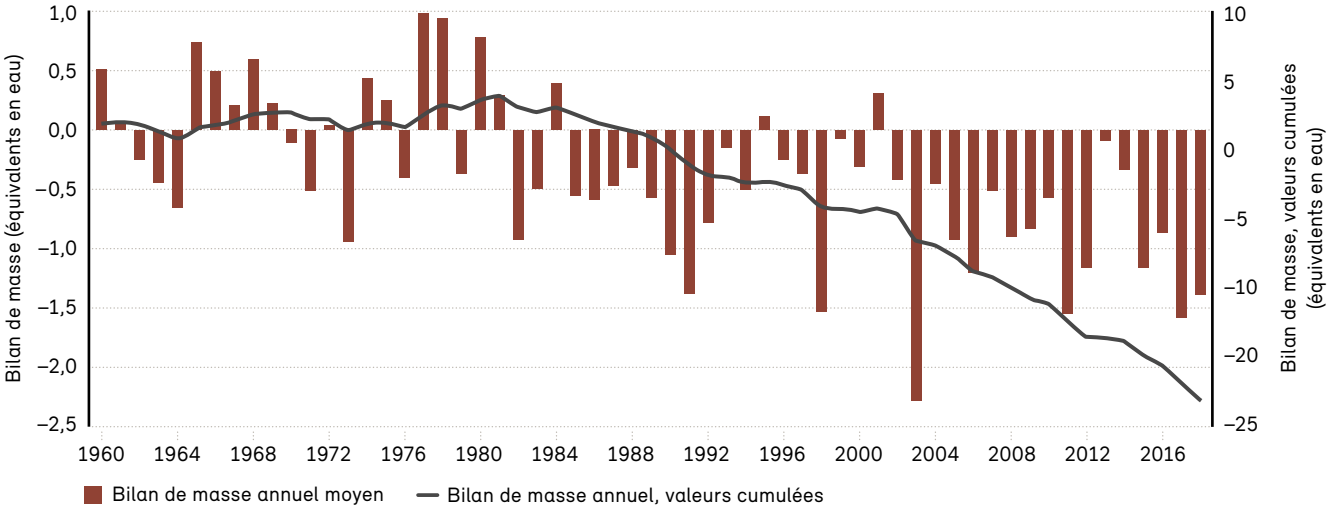
La cryosphère comprend toutes les régions où l'eau est présente à l'état congelé. En Suisse, il s'agit en particulier des surfaces couvertes par des glaciers, des zones où le sous-sol est gelé en permanence durant plusieurs années (pergélisol) ainsi que de la couverture neigeuse saisonnière. Sous l'effet des changements climatiques, la superficie des glaciers diminue et le pergélisol se réchauffe et fond. Le recul des glaciers est notamment documenté par la mesure du bilan de masse et la variation de la longueur (5.2.1). L'état du pergélisol est observé par le biais de la température mesurée dans les trous de forage, des modifications de la teneur en glace et de la vitesse de reptation des glaciers rocheux (5.2.2). Les modifications de la couverture neigeuse naturelle sont traitées dans les sections 3.4 et 4.3.

5.2.1 Bilan de masse et variation de la longueur des glaciers

Les fluctuations des conditions climatiques peuvent être documentées par le changement de volume ou de masse d'un glacier. Le bilan de masse moyen de cinq glaciers suisses pour lesquels on dispose de très longues séries de mesures montre qu'entre 1960 et 1985, les années

Fig. 43 : Bilan de masse moyen de cinq glaciers alpins

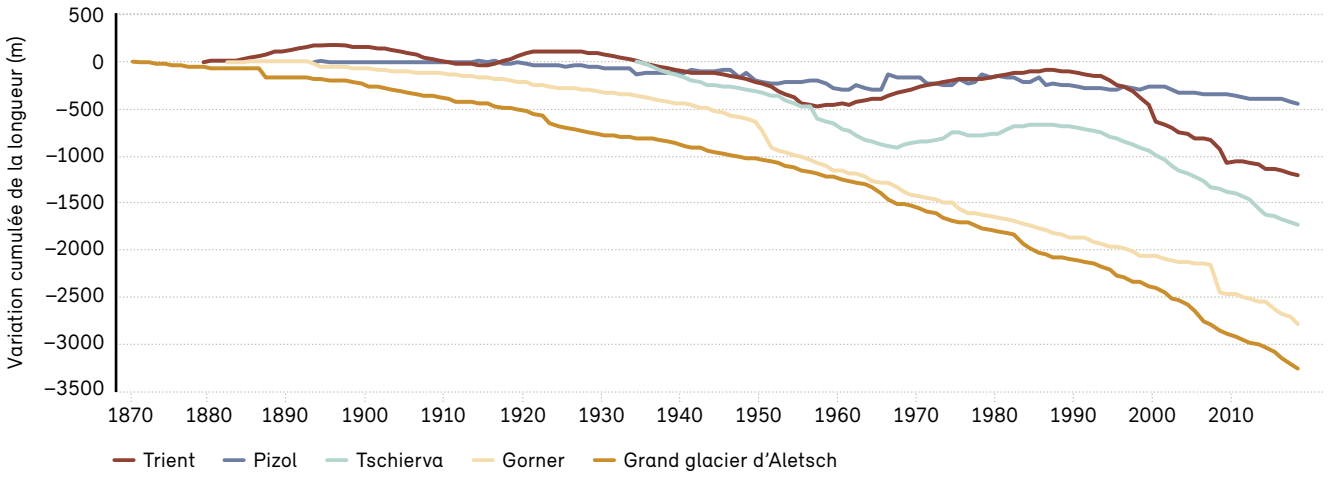
Bilan de masse annuel moyen et cumulé de cinq glaciers suisses : Allalin (VS), Clariden (GL), Giétro (VS), Gries (VS), Silvretta (GR) de 1960 à 2018.



Source : GLAMOS (2018a)

Fig. 44 : Variation cumulée de la longueur de cinq glaciers suisses

Variation annuelle cumulée de la longueur des glaciers du Pizol (1892-2018 : −421 m), du Trient (1878-2018 : −1152 m), du Tschierva (1933-2018 : −1666 m), du Gorner (1881-2018 :−2739 m) et d'Aletsch (1869-2018 : −3261 m).



Source : GLAMOS (2018b)

de gain de volume compensaient dans une large mesure les années de perte, mais que ces 30 dernières années les pertes de masse sont continuelles et de plus en plus rapides (figure 43).

La perte d'épaisseur moyenne des glaciers était d'environ un mètre par an depuis 2000. En 2003, 2015, 2017 ou 2018, années extrêmes, elle a été de près de deux mètres, voire plus, sur certains glaciers. En 2018, le volume de glace résiduel en Suisse a été estimé à 50 à 55 km^3 (Farinotti et al. 2019). Les glaciers suisses ont perdu chaque année à peu près 2 % de leur volume depuis 2008.

La variation de longueur d'un glacier (avancée ou recul de la langue glaciaire) dépend de la taille de celui-ci

(figure 44) : les petits glaciers (p. ex. Pizol[32]) réagissent rapidement à la météorologie annuelle, alors que la langue des glaciers de montagne plus importants (p. ex. Trient, Tschierva) présente une plus grande inertie (de plusieurs années ou décennies) vis-à-vis des modifications de la température ambiante. S'agissant des grandes vallées glaciaires, les phases au cours desquelles le bilan de masse est équilibré, comme ce fut le cas dans les années 1960 et 1970, n'ont aucune influence sur la tendance à long terme de la variation de la longueur. Dans le cas du Grand glacier d'Aletsch, la langue a reculé progressivement sur une distance de plus de 3 km depuis 1879.

Le recul des glaciers observé dans les Alpes suisses peut principalement être attribué à la hausse des températures estivales (Zemp et al. 2015). Les chutes de neige hivernales et le rayonnement solaire ont une incidence secondaire (Huss et al. 2009). Dans les années à venir, les glaciers continueront de reculer de manière importante, quelle que soit l'évolution de la température : en effet, leur taille se réduira encore au moins jusqu'au point d'équilibre imposé par le climat actuel. D'ici à 2100, on s'attend à ce qu'entre 63 et 94 % du volume de glace disparaisse dans les Alpes selon l'évolution de la concentration des émissions de CO_2 dans l'atmosphère (Zekollari et al. 2019). Les glaciers perdront donc en grande partie leur rôle de réservoir d'eau, mais aussi leur effet compensatoire sur le débit des cours d'eau ; des répercussions se feront également sentir sur la production d'énergie hydroélectrique et le tourisme.

5.2.2 Modifications du pergélisol

Le pergélisol est présent en Suisse au-dessus d'environ 2300 m. Il couvre environ 5 % de la surface du pays et on le rencontre principalement dans les zones d'éboulis, les glaciers rocheux et les parois rocheuses. Depuis 2000, les variations du pergélisol de montagne sont recensées sur quelque 30 sites par le réseau suisse de surveillance du pergélisol (PERMOS). On observe une grande variabilité spatiale de la répartition et des modifications du pergélisol en haute montagne, qui sont influencées par la topographie, les propriétés du sol et la couverture neigeuse. Une épaisse couche de neige, par exemple, isole le sous-sol des conditions météorologiques et a un effet de refroidissement ou de réchauffement selon la période de l'année : un enneigement tardif au début de l'hiver a un effet refroidissant, une fonte précoce de la neige induit un réchauffement.

La couche active[33] au-dessus du pergélisol alpin présente typiquement une épaisseur de quelques mètres et les modifications annuelles sont déterminées par les caractéristiques du sol et les conditions météorologiques. Ces dernières années, l'épaisseur de la couche active a augmenté sur tous les sites PERMOS. En 2018, un grand nombre de valeurs maximales ont été enregistrées dans les séries de mesures sur 15 à 30 ans (figure 45).

Dans les Alpes, les températures du pergélisol présent sous la couche active se situent, en moyenne annuelle, le plus souvent entre –3 et 0 °C, mais elles peuvent être inférieures à –10 °C dans des zones ombragées en très haute montagne, à des altitudes supérieures à 4000 m. Les variations de température en surface sont observées avec un décalage d'environ six mois à une profondeur de 10 m (figure 46). Les mesures faites à cette profondeur conviennent parfaitement pour mettre en évidence des tendances à moyen terme. À une profondeur de 20 m, les variations annuelles ne sont plus décelables et les tendances à long terme deviennent perceptibles.

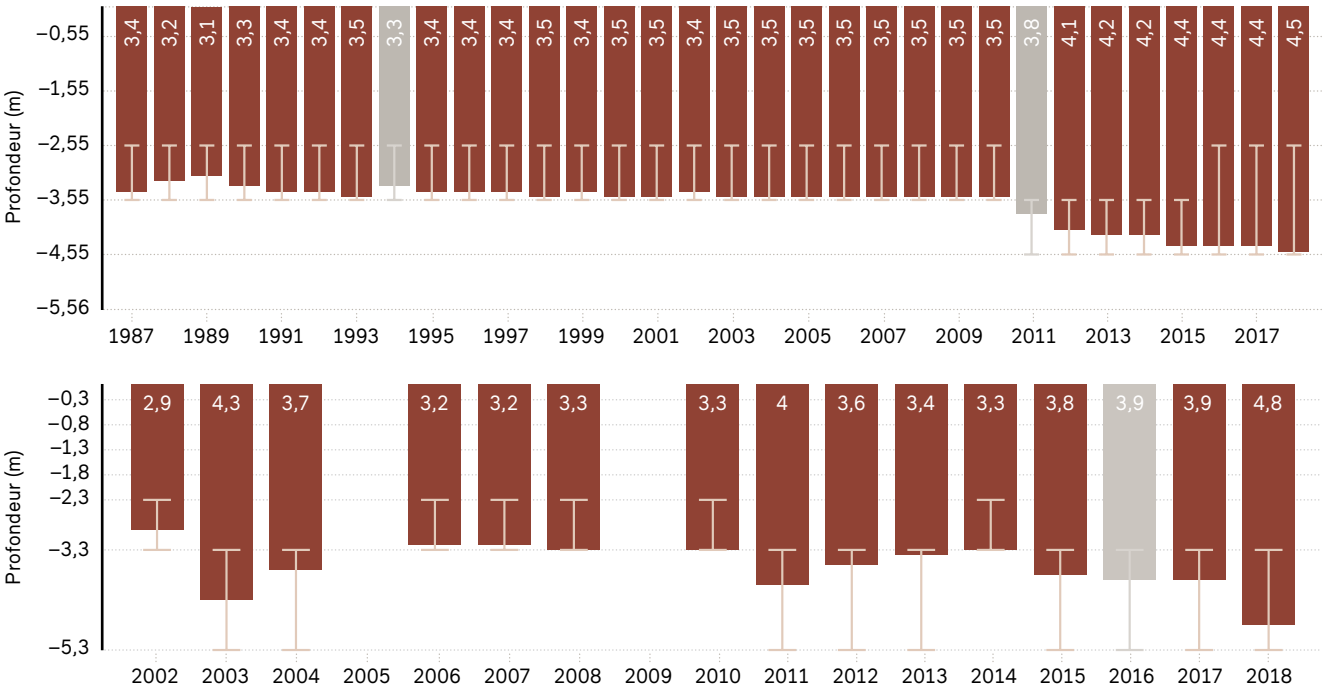
L'augmentation de la température du pergélisol a fait l'objet de mesures en Suisse, en particulier au cours des dix dernières années. La hausse de la température est variable : dans le rocher glaciaire de Corvatsch-Murtèl, elle est d'un demi-degré Celsius à une profondeur d'environ 20 m ; aux endroits où la température est proche de 0 °C, elle est très faible à cause de la chaleur latente nécessaire aux changements de phase. Cependant, les variations de la teneur en glace peuvent être déterminées par des méthodes géophysiques et une diminution significative a été mesurée sur de nombreux sites de forage. Les vitesses de reptation des rochers glaciaires (matériel morainique et débris retenus par la glace) présentent un profil commun avec les températures du pergélisol et la hausse continue entre 2007 et 2015 (Delaloye et al. 2010).

32 En 2019, il a été décidé d'arrêter les mesures du glacier du Pizol, sa surface étant devenue trop petite.

33 On appelle couche active, la couche située au-dessus du sol gelé en permanence, qui gèle en hiver et dégèle en été.

Fig. 45 : Épaisseur de la couche active de deux trous de forage du réseau suisse de mesure du pergélisol

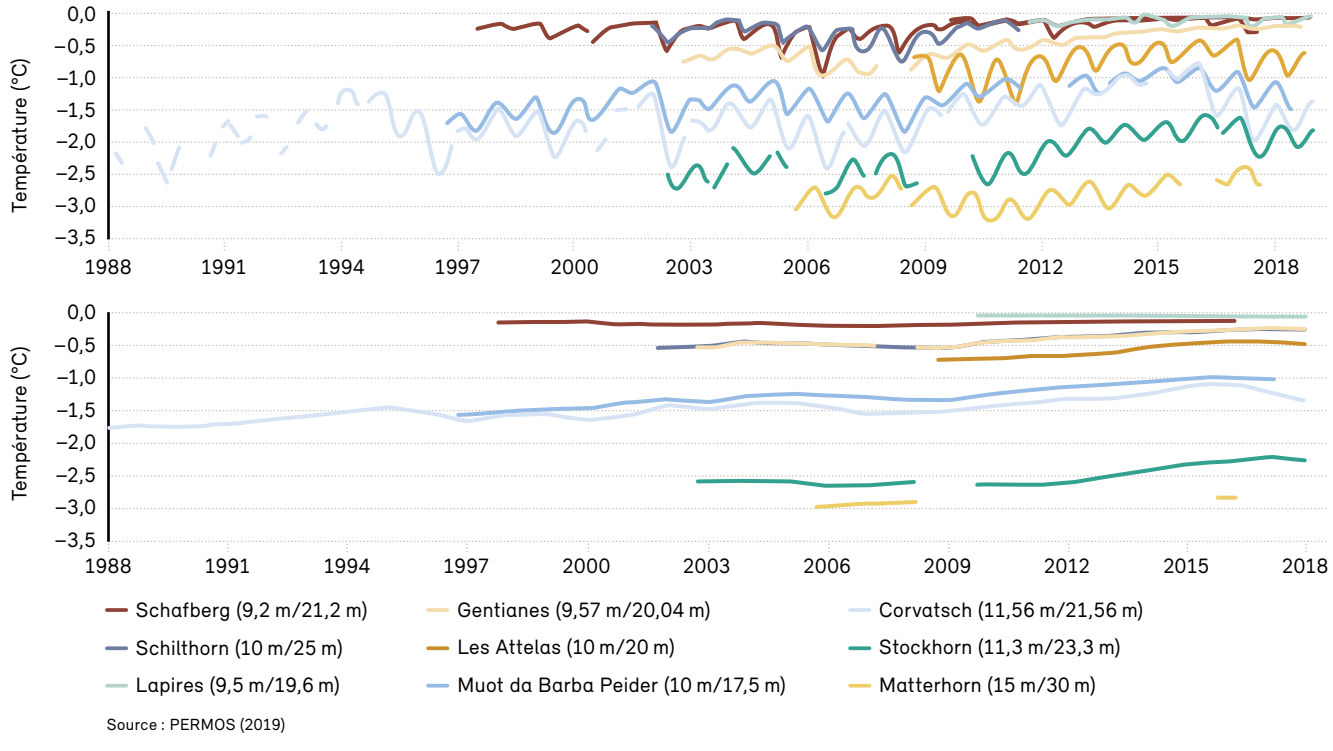
Corvatsch (en haut) et Stockhorn (en bas). Les barres d'incertitude indiquent la profondeur des thermistors utilisés pour l'interpolation de la couche active. Les barres grises représentent des années pour lesquelles la qualité des données est insuffisante.



Source : PERMOS (2019)

Fig. 46 : Températures du pergélisol mesurées dans des trous de forage

Températures du pergélisol dans les Alpes suisses mesurées dans des trous de forage à une profondeur d'environ 10 m (en haut) et 20 m (en bas).



Source : PERMOS (2019)

5.3 Pédosphère

L'impact le plus important des changements climatiques sur le sol est une augmentation de l'érosion due à l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des précipitations. Deux processus font que les eaux de pluie ne s'infiltrent plus dans le sol et ruissellent en surface : lorsque l'intensité des précipitations dépasse la capacité d'infiltration du sol (épisodes pluvieux de forte intensité, sol desséché ou croûté, excès d'infiltration) ou lorsque le sol est saturé d'eau (pluies abondantes et continues, excès de saturation). Selon la pente et la nature de la surface, l'eau s'écoule alors sous forme de ruissellement de surface et peut provoquer une érosion du sol.

On s'attend à une augmentation des fortes précipitations, surtout pendant les mois d'été ; les cultures semées ou plantées au printemps, telles que le maïs, les betteraves sucrières, les pommes de terre et les légumes, seraient alors particulièrement touchées. Des pluies continues plus fréquentes et des précipitations très abondantes sont attendues principalement en automne et en hiver et auraient un impact sur les cultures semées en automne, telles que les céréales d'hiver et les cultures intermédiaires, ainsi que sur les jachères. Les scénarios climatiques indiquent que, d'une manière générale, les précipitations augmenteront légèrement en automne et en hiver mais qu'en raison de la hausse de la température, elles tomberont davantage sous forme de pluie que de neige ; l'effet des précipitations sur l'érosion s'accentuera donc également en hiver. Pour les cultures mentionnées ci-dessus, le risque d'érosion s'accroîtra par conséquent en premier lieu au cours du semestre d'hiver.

Le ruissellement de surface et l'érosion peuvent avoir des effets négatifs sur le sol lui-même (dommages sur site), mais ils sont aussi susceptibles d'affecter les surfaces et les écosystèmes voisins (dommages hors site). L'érosion entraîne une perte irréversible de sol et affecte sa fertilité et ses fonctions. Les dommages hors site résultant de l'érosion et du ruissellement de surface sont problématiques pour les bâtiments et les infrastructures ainsi que pour les eaux, ces dernières étant alors contaminées par des sédiments, des nutriments et des polluants (Bernet et al. 2018 ; Prasuhn et al. 2018).

Différentes modélisations faites pour divers scénarios climatiques montrent qu'en l'absence de stratégies d'adaptation appropriées dans l'agriculture, il faut s'attendre à une augmentation de l'érosion des sols en Suisse (Klein et al. 2013). On ne dispose toutefois pas d'indicateurs quantitatifs permettant de déterminer l'érosion des sols liée aux changements climatiques.

5.4 Biosphère

La biosphère englobe l'ensemble de l'espace de la Planète peuplé par des êtres vivants. En Suisse, on distingue entre les écosystèmes aquatiques des lacs et des cours d'eau et les écosystèmes terrestres des forêts, des milieux ouverts et du milieu bâti. L'atmosphère extérieure, les zones extrêmement hostiles couvertes de glace éternelle ainsi que les espaces clos situés en sous-sol et créés par l'homme sont quant à eux inhabités. Les impacts des changements climatiques sur la biosphère peuvent être déterminés sur la base des modifications du développement saisonnier (phénologie des plantes, phase des eaux claires des lacs ; 5.4.1/5.4.2), des déplacements de l'habitat des organismes (déplacement des aires de distribution des plantes ; 5.4.3), des processus d'adaptation au sein des écosystèmes (forêts ; 5.4.4) ou des changements dans les populations (poissons, oiseaux nicheurs ; 5.4.5).

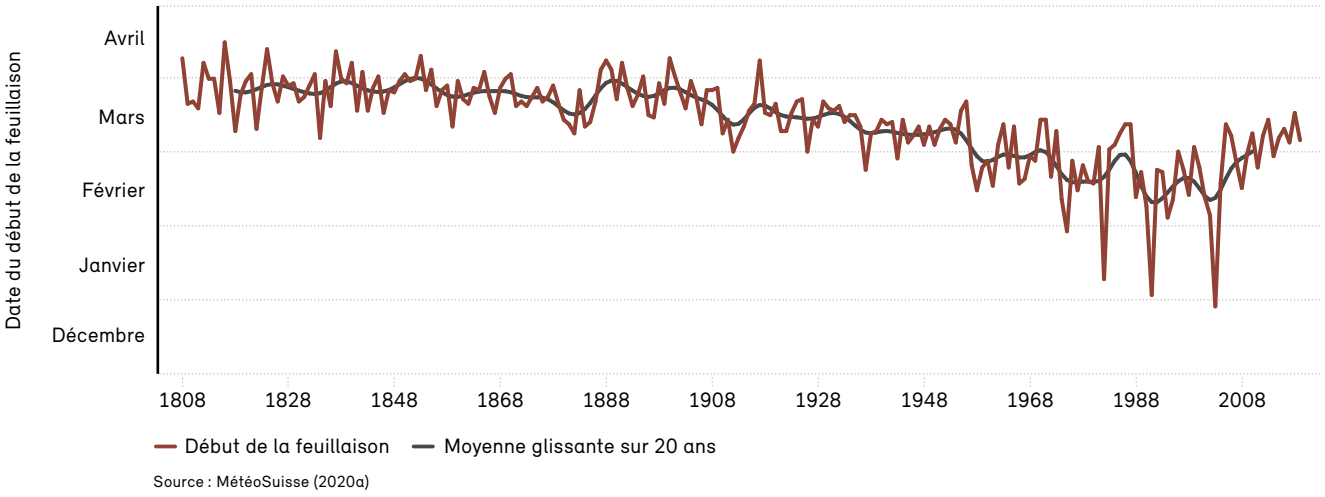
5.4.1 Phénologie des plantes

Le développement saisonnier des plantes est étroitement dépendant de l'évolution de la température ; les changements climatiques influencent par conséquent les phases de croissance de nombreuses espèces végétales. Les données phénologiques, telles que la date de floraison ou de feuillaison, sont donc de bons indicateurs des effets locaux des changements climatiques sur la végétation. Les deux séries de données phénologiques les plus longues de Suisse enregistrent l'éclosion du premier bourgeon du marronnier de la Treille à Genève (figure 47) et le début de la floraison du cerisier à Liestal (figure 48).

On note un net avancement de l'éclosion du premier bourgeon du marronnier de la Treille depuis le début du 20e siècle. La date la plus tardive a été enregistrée le 23 avril 1816 et la plus précoce le 29 décembre 2002. Toutefois, la précocité de cet événement n'est pas uni-

Fig. 47 : Début de la feuillaison du marronnier de la Treille à Genève

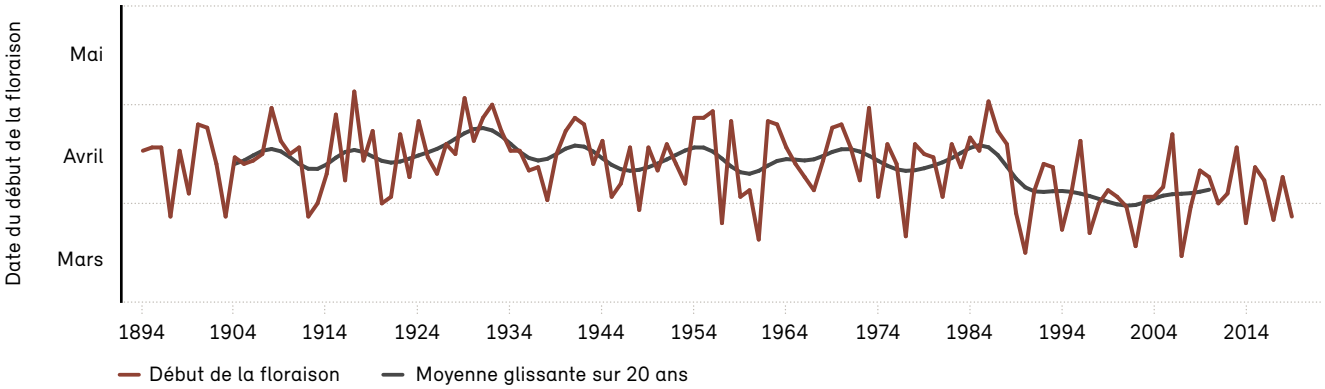
Date du début de la feuillaison de 1808 à 2019. La ligne grise correspond à la moyenne glissante calculée sur 20 ans.



Source : MétéoSuisse (2020a)

Fig. 48 : Début de la floraison du cerisier à Liestal

Date du début de la floraison du cerisier de Liestal (BL) de 1894 à 2019. La ligne grise correspond à la moyenne glissante calculée sur 20 ans.



Source : MétéoSuisse (2020a)

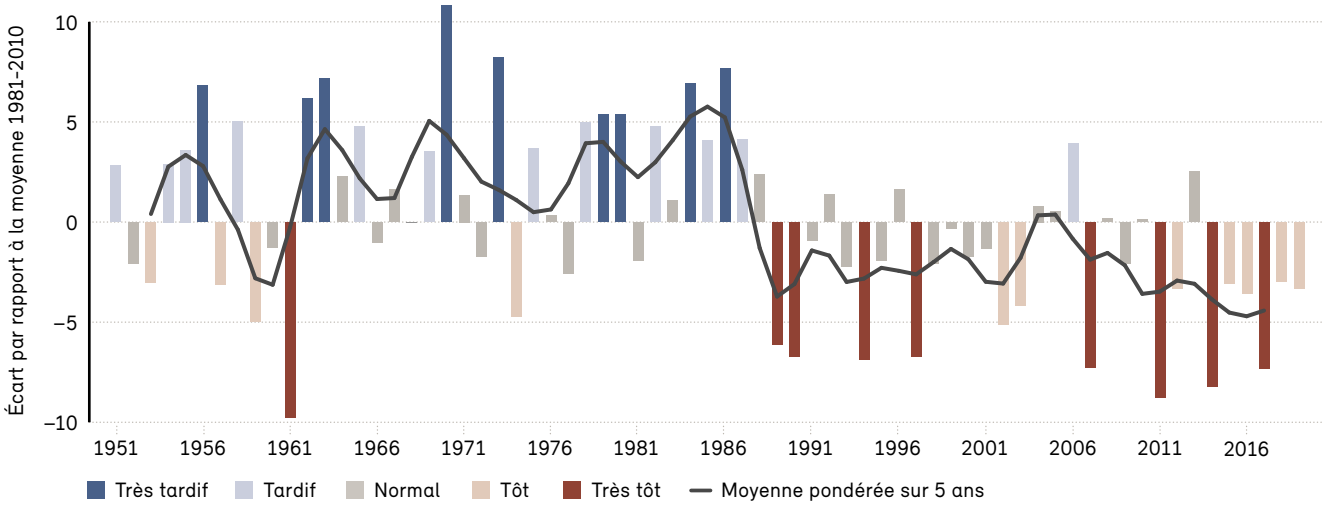
quement influencée par la hausse générale de la température mais également par l'urbanisation progressive et, partant, un climat localement plus chaud au centre-ville. Cette tendance s'est toutefois inversée ces dernières années, mais on n'en connaît pas encore les causes. L'arbre officiel sur lequel portait la série de mesures est mort l'été 2015. Les observations sont depuis lors effectuées sur un autre marronnier.

La série de données sur la floraison du cerisier montre que cet événement intervient plus précocement depuis la fin des années 1980. Aujourd'hui, le cerisier commence à fleurir environ 12 jours plus tôt qu'au milieu du 20e siècle. La série de données sur le cerisier de Liestal, tout comme celle sur le marronnier de Genève, met en évidence une grande variabilité annuelle.

D'une manière générale, on observe dans toute la Suisse une tendance vers des phases phénologiques printanières plus précoces chez diverses espèces végétales. C'est ce qui ressort des relevés faits dans le cadre du réseau d'observation phénologique de MétéoSuisse, qui compte environ 160 stations de mesure dans toutes les régions et à différentes altitudes (Güsewell et al. 2018). L'indice du printemps, qui regroupe les données des dix premiers stades de développement phénologique observés dans

Fig. 49 : Évolution de l'indice du printemps depuis 1951

L'indice du printemps est une mesure intégrale de l'écart des phases phénologiques du printemps de 1951 à 2019 par rapport à la date moyenne d'apparition dans la période de référence 1981-2010.



Source : MétéoSuisse (2020a)

l'année, montre que, depuis 1989, le développement de la végétation est beaucoup plus précoce qu'auparavant (figure 49). L'évolution de cet indice au fil des ans reflète principalement la réaction de la végétation à l'évolution des températures entre février et avril.

5.4.2 Phase des eaux claires dans les lacs

Les lacs passent généralement par un cycle saisonnier au cours duquel apparaît une phase appelée phase des eaux claires. Au printemps, le développement du phytoplancton entraîne tout d'abord une augmentation de la turbidité du lac. Le zooplancton broute ensuite le phytoplancton et une phase d'eau claire peut alors être observée. Le début de cette phase dépend de la température ; cette dernière détermine le début de l'activité de broutage du zooplancton à la fin de l'hiver et au début du printemps (Anneville et al. 2002, Straile et al. 2003). La date d'apparition de la phase des eaux claires est un indicateur de l'impact du climat sur la dynamique des communautés phytoplanctoniques.

L'impact du climat sur les organismes aquatiques est généralement difficile à évaluer car leur croissance dépend aussi de facteurs non climatiques (*disponibilité en nutriments*, turbidité) et est influencée par les mesures de politique environnementale (p. ex. la revitalisation des rives des lacs). Cependant, le cycle saisonnier déterminé par le climat (englacement de la surface des lacs, température de l'eau, brassage[34] et stratification thermique) est un facteur déterminant pour les conditions de vie d'un écosystème lacustre.

La date à laquelle apparaît la phase des eaux claires dans le lac Léman et le lac de Constance varie d'une année à l'autre. Une tendance à l'avancement, induite par des hivers plus doux et le développement plus précoce du zooplancton herbivore, se dessine néanmoins depuis la fin des années 1980 (figure 50). S'agissant du début de la phase des eaux claires du lac Léman, on observe un léger renversement de tendance à partir du tournant du millénaire, tout comme pour l'éclosion du premier bourgeon du marronnier de la Treille à Genève (figure 47).

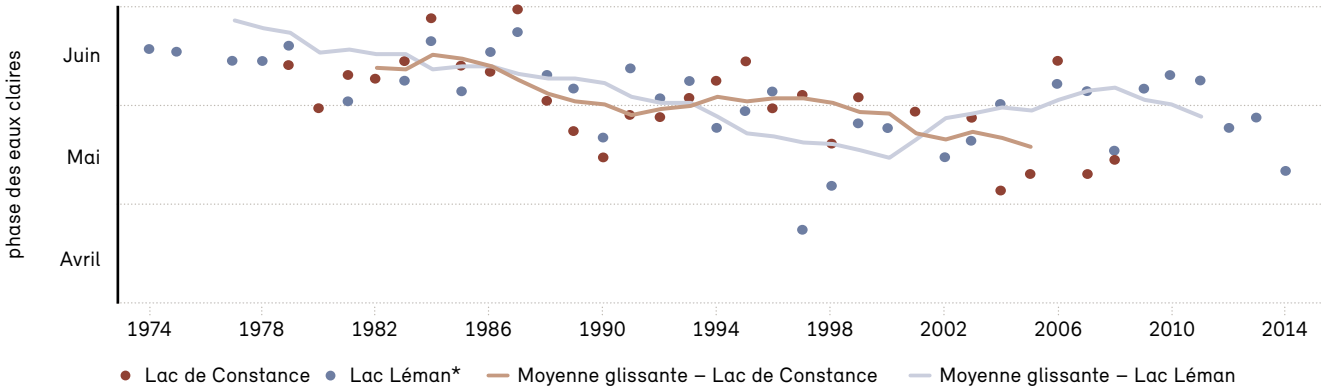
5.4.3 Déplacement de l'aire de distribution des plantes

Les changements climatiques modifient la répartition des espèces végétales. Une augmentation de la fréquence des périodes de pénurie d'eau favorisera les espèces résistantes à la sécheresse, leur permettant de se propager au détriment d'espèces moins tolérantes. Certaines espèces peuvent coloniser des altitudes plus élevées et éviter ainsi le stress thermique (Fischer et Spehn 2016). Ces évolu-

34 Lors du retournement des eaux d'un lac (cf. 5.1.2), les eaux profondes et les eaux de surface se mélangent. Ce processus a lieu lorsque les eaux de surface présentent une densité supérieure à celle des eaux profondes.

Fig. 50 : Date d'apparition de la phase des eaux claires

Les dates sont obtenues en se basant sur les données de transparence maximale des eaux du lac Léman (1974-2014) et du lac de Constance (1979-2008). Les moyennes glissantes sont calculées sur sept ans.

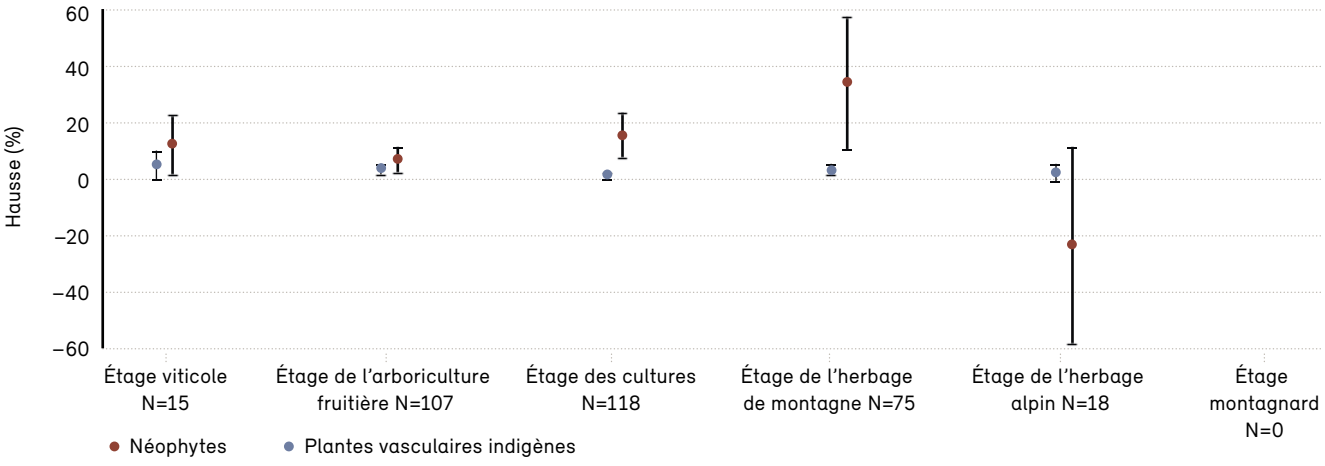


* Les chiffres indiqués pour 2003, 2004, 2008, 2009 et 2014 se rapportant à des périodes et non à des dates précises, c'est la date du milieu de la période concernée qui a été utilisée en tant que valeur de référence pour ces années.

Sources : CIPEL (2018b), Université de Constance (2018)

Fig. 51 : Progression des plantes vasculaires non indigènes

Évolution des plantes vasculaires non indigènes (néophytes) introduites par l'homme après 1500 par rapport aux autres plantes vasculaires. La progression moyenne du nombre d'espèces par surface de mesure entre le premier (2003-2007) et le second (2013-2018) relevé du monitoring de la biodiversité est représentée pour chaque étage altitudinal avec un taux de fiabilité de 95 %. Toutes les surfaces de mesure de 1×1 km du MBD ont été prises en compte. N correspond au nombre de surfaces de mesure.



Source : Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD) (2019)

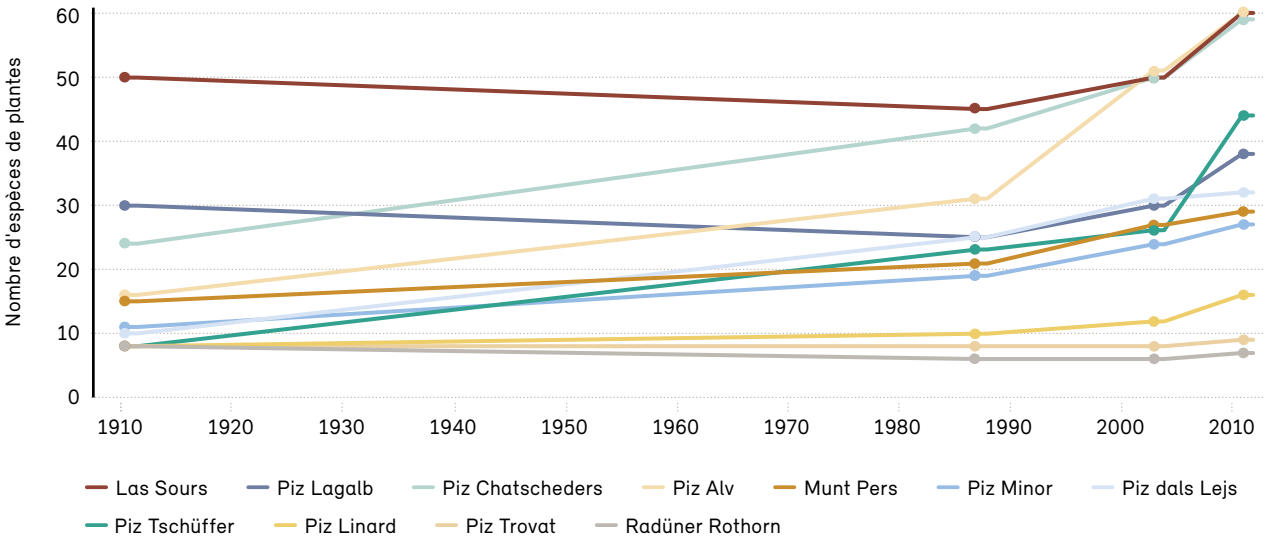
tions entraînent des modifications de la composition des espèces. Le monitoring de la biodiversité (MBD) recense, depuis 2001, le nombre d'espèces de plantes vasculaires indigènes ou néophytes sur quelque 2000 sites en Suisse. Les modifications de la composition des espèces sont toutefois documentées depuis longtemps déjà, bien que toutes les observations ne soient pas uniquement imputables aux changements climatiques (OFEV 2012a). Le nombre croissant de néophytes[35], par exemple, est également dû aux conditions de vie favorables à leur développement dans les zones urbaines en expansion.

Une comparaison entre premier relevé MBD (de 2003 à 2007) et le deuxième (de 2013 à 2018) montre que le

35 Définition des néophytes selon Flora Indicativa (Landolt et al. 2010). Les néophytes comprennent des espèces envahissantes et non envahissantes.

Fig. 52 : Nombre d'espèces florales sur des sommets grisons

Les données proviennent de quatre recensements sur la période de 1910 à 2011.



Source : tiré de Steinbauer et al. (2018)

nombre de plantes, indigènes ou non, augmente dans les zones tempérées du Plateau et des Préalpes, la progression des espèces non indigènes étant toutefois plus importante (figure 51). Les températures plus élevées favorisent plus particulièrement la propagation des néophytes. La présence importante de néophytes dans les prairies et les pâturages de montagne est un phénomène relativement nouveau.

Les données sur la composition de la flore alpine sont disponibles sur une période de plus de 100 ans. Il ressort clairement que le nombre d'espèces végétales augmente de manière significative sur tous les sommets au cours de cette période d'observation (figure 52). Sous la pression des changements climatiques, particulièrement prononcés en région alpine, les espèces de basse altitude colonisent des zones de plus haute altitude, y augmentant ainsi le nombre d'espèces. Cette évolution s'est accélérée ces dernières années (Steinbauer et al. 2018).

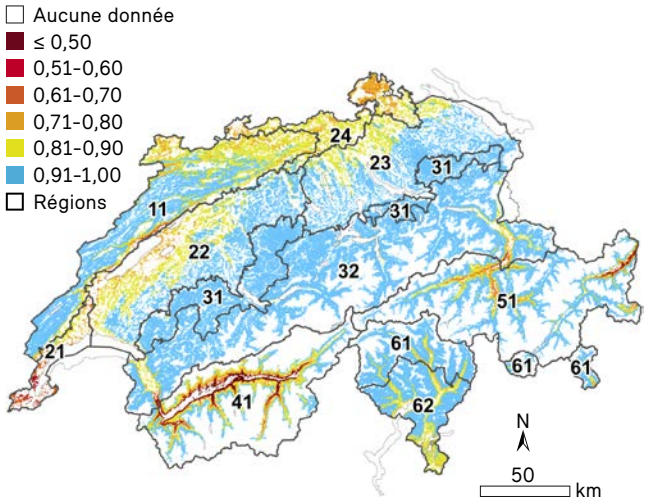
L'arrivée de nouvelles espèces ne semble pas encore avoir d'effets négatifs sur les plantes initialement présentes. Les espèces qui se situent à la limite de l'échelle altitudinale ne devraient pas disparaître dans les Alpes même si le réchauffement se poursuit (Körner 2009). La diversité topographique qu'offrent les Alpes devrait en effet leur permettre de trouver une niche écologique appropriée. En revanche, il est probable que l'on assiste à un rétrécissement de leur aire de répartition de par l'élévation de la limite altitudinale.

5.4.4 Changements touchant les forêts

Les forêts recouvrent près d'un tiers de la surface de la Suisse. Différents paramètres climatiques ont été étudiés dans le cadre du programme de recherche « Forêts et changements climatiques » de l'OFEV et du WSL (2009-2018) afin d'évaluer les conséquences de ces changements sur les forêts. L'objectif était de décrire le lien entre la croissance et la mortalité des arbres et le climat et ses modifications. Un constat important est qu'en cas de réchauffement de 3 à 4 °C d'ici la fin du 21e siècle, la limite altitudinale de la végétation s'élèvera d'environ 500 à 700 m, ce qui aura un impact significatif sur les essences pour l'instant encore adaptées à la station ainsi que sur les prestations écosystémiquesde la forêt (Frehner et al. 2018). La figure 53 montre la valeur moyenne de l'indicateur de stress hydrique sur l'ensemble de la période de végétation d'avril à août pour la période de 1981 à 2018, qui met clairement en évidence les zones particulièrement touchées par la sécheresse.

Fig. 53 : Sécheresse estivale dans les forêts suisses

Sécheresse estivale moyenne dans les forêts suisses de 1981 à 2018 au cours de la période de végétation (d'avril à août). L'indice EtR/EtP (évapotranspiration réelle / potentielle) met en évidence la baisse de l'évapotranspiration résultant de la sécheresse. Les valeurs égales à 0,8 ou inférieures indiquent une situation de plus en plus critique. Régions biogéographiques selon Gonseth et al. 2001 : 11 Jura, 21 Genève/Vaud, 22 Plateau occidental, 23 Plateau oriental, 24 Suisse septentrionale, 31 Préalpes, 32 Alpes septentrionales, 41 Alpes centrales occidentales, 51 Alpes centrales orientales, 61 Alpes méridionales, 62 Tessin méridional.



Source : Remund et Augustin (2015), actualisé en 2019

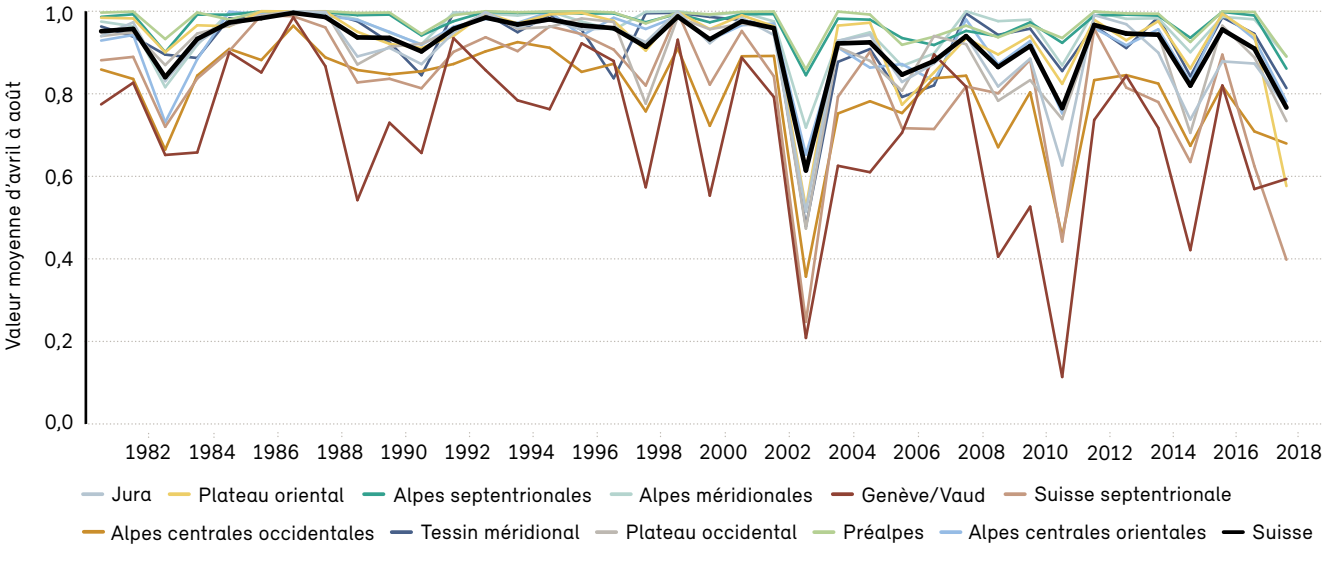
La figure 54 présente l'évolution temporelle de l'indicateur de stress hydrique EtR/EtP depuis 1981. Les valeurs les plus basses ont été atteintes en 2003, 2011, 2015 et 2018 : la baisse est plus prononcée à Genève et dans le canton de Vaud, dans les Alpes centrales orientales (Valais), mais aussi en Suisse septentrionale. À l'échelle de la Suisse, on observe une accentuation de la tendance à la sécheresse estivale au cours des 38 dernières années.

Dans de nombreuses stations, les températures estivales plus élevées peuvent profiter aux forêts ou à certaines essences pour autant que les ressources en eau soient suffisantes. Ainsi, durant l'année sèche de 2003, les arbres ont mieux poussé au-dessus de 1200 m, alors que leur croissance était souvent freinée aux altitudes inférieures à cause du manque d'eau (Dobbertin 2005). Dans les vallées sèches du Valais, les chênes pubescents tolérants à la sécheresse ont progressivement remplacé les pins sylvestres, plus sensibles (Bigler et al. 2006).

Les peuplements d'arbres qui ne sont pas adaptés aux conditions climatiques changeantes risquent davantage de souffrir d'une sécheresse croissante. On trouve, notamment à basse altitude sur le Plateau, de nombreux peuplements d'épicéas (33 %), une essence importante pour l'économie. Les épicéas sont sensibles à la séche-

Fig. 54 : Évolution de l'indice de stress hydrique

Évolution de l'indice de stress hydrique EtR/EtP de 1981 à 2018 dans les régions et sur l'ensemble de la Suisse au cours de la période de végétation (d'avril à août). Plus les valeurs sont faibles, plus le stress hydrique est élevé.



Source : Remund et Augustin (2015), actualisé en 2019

resse et aux températures élevées, car ils sont adaptés à des conditions relativement fraîches et humides. Les sapins, qui représentent environ 12 % des arbres sur le Plateau suisse, tolèrent mieux des températures plus élevées, mais ont besoin d'une humidité (ambiante) suffisante (Vitasse et al. 2019). En revanche, le chêne et l'érable sont assez bien adaptés aux conditions plus chaudes et plus sèches. Lors de l'année sèche de 2003, mais surtout de celle de 2018, la mortalité des épicéas a temporairement augmenté de manière significative ; le risque de dommages importants dus aux bostryches est lui aussi plus prononcé après des années sèches. En 2018, les hêtres ont également été gravement touchés par la sécheresse en de nombreux endroits. Par ailleurs, une surfertilisation des arbres par l'azote provenant de la pollution atmosphérique et un apport insuffisant en potassium et en magnésium sont d'autres facteurs concomitants susceptibles d'augmenter la mortalité due à la sécheresse (Etzold et al. 2016 ; Braun et al. 2015, 2018).

Le risque de gel tardif a également augmenté au cours des dernières décennies. Du fait de la hausse précoce de la température, la période de végétation des arbres débute plus tôt et ils sont, par conséquent, plus sensibles aux gelées tardives (Vitasse et al. 2018).

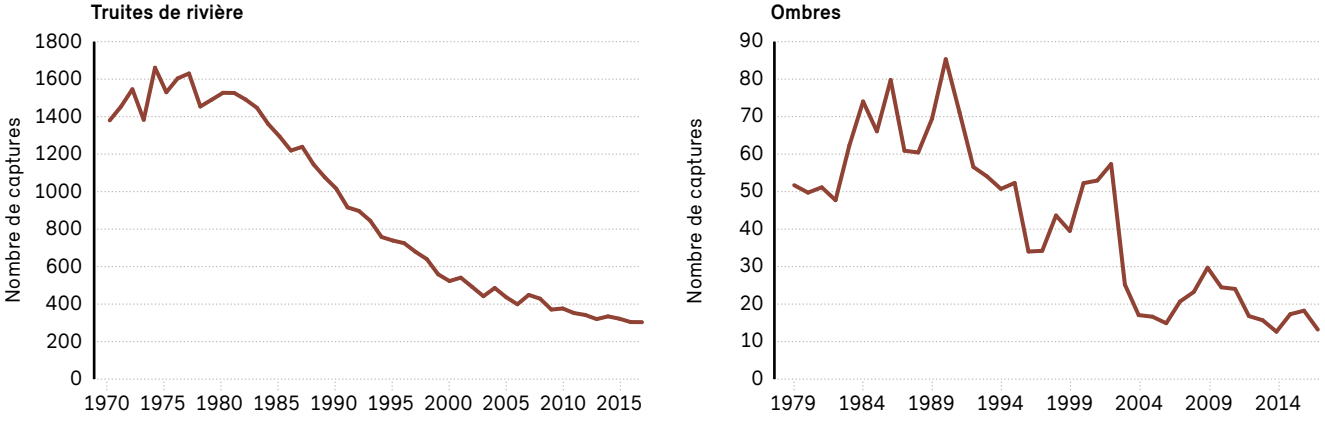
5.4.5 Peuplements de poissons

Les changements climatiques ont un impact important sur les écosystèmes aquatiques et sur la répartition spatiale de la faune piscicole et de ses peuplements. L'évolution des peuplements de poissons est généralement déterminée par les chiffres des captures. Toutefois, ces dernières ne dépendent pas seulement des effectifs, mais aussi des efforts de pêche et du comportement des pêcheurs. S'agissant de la truite de rivière et de l'ombre, les prises ont chuté de façon drastique entre 1990 et 2000, cette baisse étant toutefois un peu moins marquée depuis 2000 (figure 55). Une partie au moins de ce recul des captures peut être imputée à la diminution des populations.

La truite de rivière a besoin d'eau fraîche et riche en oxygène pour se développer et se reproduire. La hausse des températures moyennes de l'eau (cf. 5.1.2) aura des répercussions à long terme sur la répartition des espèces et leurs habitats potentiels. Lorsque la température de l'eau est supérieure à 25 °C, les espèces de poissons qui aiment les eaux froides, comme la truite de rivière et l'ombre, développent des maladies. La fréquence et l'intensité des crues hivernales, les périodes de sécheresse et les températures extrêmes affectent également les populations de poissons. Les truites de rivière, par exemple, frayent dans le gravier entre la fin de l'automne et le début de l'hiver. Les fortes crues hivernales peuvent

Fig. 55 : Captures de truites de rivière et d'ombres

Captures de truites de rivière de 1970 à 2017 (à gauche) et d'ombres de 1979 à 2017 (à droite) par des pêcheurs amateurs en Suisse. Les données concernant la période allant jusqu'en 2001 ont été reconstituées à partir de la statistique obligatoire de la pêche.



Source : OFEV (2019d)

décimer le frai et mettre ainsi en péril le succès de la reproduction naturelle.

En 2018, les deux tiers des cantons ont été confrontés à une mortalité importante des poissons et des écrevisses due à la température élevée de l'eau et à la sécheresse ; toutefois, quelque 150 cas de mortalité de poissons liés au climat avaient déjà été documentés en 2003 (OFEV 2019f).

5.4.6 Populations d'oiseaux nicheurs

L'impact des changements climatiques sur les oiseaux nicheurs est multiple. Par exemple, les zones de nidification des différentes espèces peuvent s'étendre ou se rétrécir (Maggini et al. 2014). Le Swiss Bird Index (SBI®) Climate Change Plus (SBI® CC Plus) suit l'évolution annuelle de la population des 20 espèces pour lesquelles le gain le plus important en termes d'aire de répartition est attendu en Suisse. Le SBI® Climate Change Minus (SBI® CC Minus) suit l'évolution des populations d'espèces pour lesquelles les pertes de surface les plus grandes sont pronostiquées (Zbinden et al. 2012). Les espèces du SBI® CC Plus ont fortement augmenté en moyenne et par rapport à toutes les autres espèces d'oiseaux nicheurs depuis 1990 (figure 56). Certaines de ces espèces, dont l'aire de répartition se situe principalement dans la région méditerranéenne, s'étendent vers le nord (p. ex. les guêpiers, les hipolaïs polyglottes ; Knaus et al. 2018). En revanche, on n'observe pas de tendance négative aussi forte pour les espèces du SBI® CC Minus.

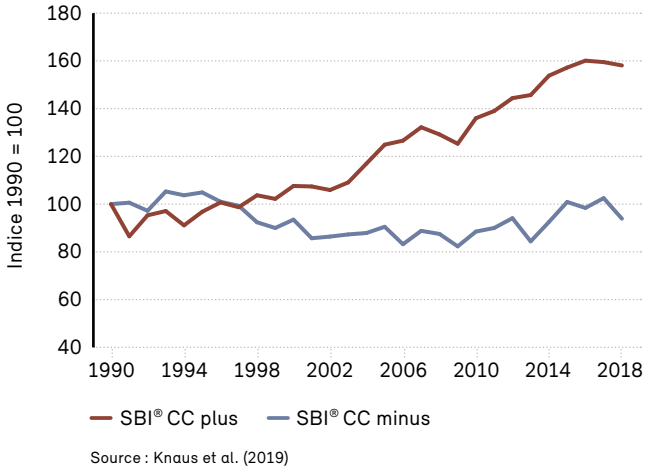
Chez les espèces qui enregistrent un recul de leurs effectifs, de nombreuses études montrent d'abord une diminution de la fréquence avant que ces espèces disparaissent localement et que leur aire de répartition se rétrécisse. Aussi, l'extension de l'aire de distribution se remarque-t-elle beaucoup plus rapidement que la diminution de la fréquence. Cela vaut aussi pour le Swiss Bird Index : entre les estimations des populations effectuées de 1993 à 1996 et de 2013 à 2016, une augmentation globale d'environ 7700 couples reproducteurs (de 25 400 à 33 100) a été observée chez les 20 espèces suivies par le SBI® CC Plus. Dans le groupe SBI® CC Minus, on note dans l'ensemble pour les 20 espèces, principalement subalpines et alpines, une diminution d'environ 91 000 couples reproducteurs (de 453 000 à 362 000) au cours de la même période (Knaus et al. 2019 et 2018).

Une des raisons de la diminution de la fréquence pourrait être la modification de la distribution altitudinale. Une comparaison de la distribution altitudinale entre la période de 2013 à 2016 et celle de 1993 à 1996 montre qu'environ deux tiers des 71 espèces d'oiseaux les plus fréquentes sont aujourd'hui présentes à des altitudes plus élevées qu'il y a 20 ans (figure 57). Le centre de distribution de ces espèces s'est élevé en moyenne de 24 m. Comme la superficie, et par conséquent l'habitat disponible dans les montagnes diminue lorsqu'on s'approche des sommets, le déclin des populations d'espèces qui migrent vers le haut est inévitable. Les espèces alpines ont pris beaucoup d'altitude : sur les 71 espèces les plus fréquentes, les dix espèces les plus présentes à l'origine sont montées en moyenne de 51 m (Knaus et al. 2018). Parmi ces oiseaux de montagne, on trouve un nombre particulièrement important d'espèces alpines à l'égard desquelles la Suisse a une responsabilité particulière (Keller et al. 2010).

Outre les effets liés aux changements climatiques, cette évolution observée est aussi influencée par la modification des milieux naturels et des conditions de concurrence (Møller et al. 2010, Barbet-Massin et al. 2012). Ainsi, l'intensification de l'agriculture sur les sites favorables et l'abandon de l'utilisation des sols sur des sites à plus faible rendement au profit d'un reboisement ont également un impact sur les oiseaux nicheurs en Suisse (Knaus et al. 2018).

Fig. 56 : Évolution des effectifs d'oiseaux nicheurs

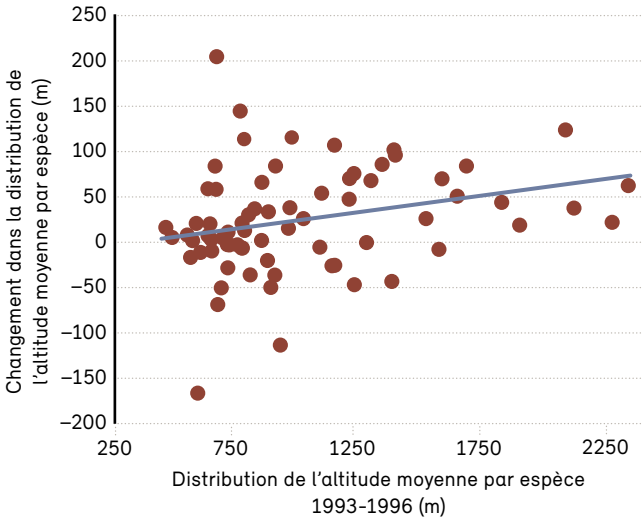
Évolution relative, de 1990 à 2018, des effectifs de deux groupes d'oiseaux nicheurs pour lesquels on pronostique une forte réduction (SBI® CC Minus) ou une forte extension (SBI® CC Plus) de l'aire de distribution en Suisse d'ici à la fin du 21e siècle.
Les valeurs annuelles correspondent à la moyenne géométrique des valeurs de l'indice pour les différentes espèces.



Source : Knaus et al. (2019)

Fig. 57 : Évolution de la distribution altitudinale des 71 espèces les plus fréquentes d'oiseaux nicheurs en Suisse

Évolution de la distribution altitudinale entre 1993-1996 et 2013-2016 des 71 espèces les plus fréquentes d'oiseaux nicheurs en Suisse en fonction de leur distribution altitudinale moyenne. Les espèces dont le centre de distribution était déjà haut présentent une élévation particulièrement prononcée. Les populations de certains de ces oiseaux nicheurs ont nettement diminué (Knaus et al. 2018).



Source : Knaus et al. (2018)

6 Effets des changements climatiques sur les systèmes anthropiques

Les changements climatiques exercent en Suisse une pression déjà perceptible sur la société. Une vue d'ensemble est présentée dans le rapport « Risques et opportunités liés au climat » (Köllner et al. 2017). Ce rapport montre que l'on doit s'attendre à des conséquences négatives bien plus nombreuses que les effets positifs. Divers indicateurs illustrent notamment les effets graves sur la santé humaine (6.1). D'autres impacts concernent la gestion de l'énergie (6.2), la gestion de l'eau (6.3), le tourisme d'hiver (6.4), ainsi que la gestion des dangers naturels, l'aménagement du territoire et l'agriculture (6.5). Dans certains domaines, les données disponibles sont insuffisantes pour établir des relations de cause à effet ; dans deux d'entre eux, les coûts économiques des changements climatiques (6.6) et les risques internationaux (6.7), les conséquences sont encore difficiles à quantifier.

6.1 Santé humaine

6.1.1 Conséquences des vagues de chaleur sur la mortalité et les admissions aux urgences

La chaleur exerce un stress sur l'organisme humain. Lorsque le corps est exposé à des températures élevées, il tente de se refroidir en transpirant et en augmentant la circulation sanguine dans la peau. Les effets aigus d'une régulation insuffisante de la température corporelle sont la déshydratation, les crampes et la perte de connaissance. En cas d'exposition prolongée à la chaleur, la thermorégulation exerce une contrainte sur le système cardiovasculaire et augmente la probabilité de complications chez les personnes souffrant d'affections cardiaques, pulmonaires ou rénales chroniques. Les personnes âgées sont particulièrement vulnérables, leur thermorégulation étant moins efficace, mais les nourrissons sont également sensibles à la chaleur et à ses conséquences.

L'augmentation du nombre de décès pendant les vagues de chaleur des étés 2003, 2015 et 2018 illustre les conséquences graves que peuvent avoir les températures extrêmes sur la santé humaine (figure 58). Durant l'été record de 2003, la canicule a causé environ 70 000 décès supplémentaires en Europe (Robine et al. 2008). En Suisse, 975 décès excédentaires ont été recensés entre juin et août par rapport aux prévisions statistiques pour cette même période, soit une surmortalité de 6,9 % (Grize et al. 2005). Une hausse de la mortalité a également été observée durant l'été 2015, le deuxième été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864, qui a fait environ 800 victimes, ce qui correspond à une surmortalité de 5,4 % (OFEV 2016). Au cours de l'été 2018, également caniculaire, le stress thermique a entraîné environ 200 décès supplémentaires au mois d'août, soit 3,4 % de plus qu'en temps normal à la même période. L'augmentation du nombre de décès durant la canicule d'août 2018 a été la plus marquée en Suisse alémanique.

Les nuits tropicales (nuits où les températures minimales sont supérieures à 20 °C) sont particulièrement éprouvantes pour l'organisme car le corps humain n'est plus en mesure de récupérer (Ragettli et al. 2017). Elles sont plus fréquentes dans les villes qu'à la campagne. En effet, la circulation de l'air entravée par les bâtiments, l'absorption du rayonnement solaire par les rues et les immeubles, et la chaleur résiduelle des processus industriels, du trafic et des systèmes de refroidissement induisent ce que l'on appelle un effet d'îlot de chaleur urbain, qui fait que, dans les zones à forte densité bâtie, le réchauffement diurne est plus intense et le refroidissement nocturne plus faible que dans les zones vertes environnantes.

Les vagues de chaleur ont également pour effet une augmentation du nombre des admissions aux urgences. L'analyse de la canicule de 2015 montre que les causes les plus fréquentes d'admissions supplémentaires à l'hôpital étaient des maladies infectieuses, des affections du système urogénital ou digestif, ainsi que des pneumonies. La propagation plus rapide des virus et des bactéries les jours de forte chaleur semble avoir un impact important sur le nombre des admissions (Ragettli et al. 2019). La charge d'ozone au sol peut aussi avoir des effets néfastes sur la santé pendant les vagues de chaleur. Des concen-

trations élevées d'ozone entraînent une augmentation à court terme des admissions à l'hôpital pour des affections respiratoires ainsi que des décès prématurés (Académies suisses des sciences 2016a).

6.1.2 Début de la saison des pollens de graminées

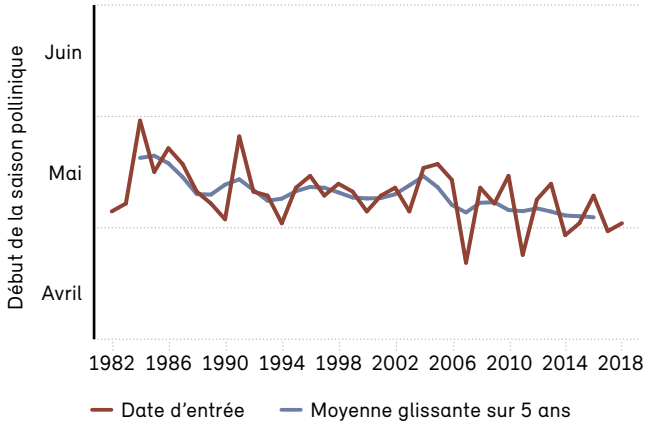
Les pollens de graminées sont les principaux déclencheurs d'allergies en Suisse. Aussi, le début de la dissémination des pollens est un élément important pour les personnes allergiques. Il est étroitement lié aux températures printanières, en particulier celles des mois de mars à mai. Plus ces températures sont élevées, plus la saison pollinique commence tôt. Son début est défini comme la date à laquelle ces pollens dépassent pour la première fois une concentration moyenne journalière de 20 grains/m^3, ce qui correspond au seuil à partir duquel la charge pollinique est considérée comme moyenne.

Depuis 1982, la date du début de la floraison des graminées, déterminée en tant que valeur moyenne pour les stations de mesure de Bâle, Buchs (SG), Genève, Neuchâtel et Zurich, a avancé de neuf jours (figure 59). La durée de la saison de pollinisation des graminées, qui dépend non seulement des conditions météorologiques mais aussi de l'exploitation agricole, est passée de 105 à 88 jours depuis 1982.

Les mesures des pollens effectuées par MétéoSuisse ne servent pas seulement à alerter rapidement les personnes allergiques ; elles sont aussi un indicateur important des modifications de la saison pollinique sous l'effet des changements climatiques. Le début de la saison des pollens d'autres espèces allergènes, comme le bouleau, le frêne, le noisetier et l'aulne, se fait selon un modèle très similaire à l'indice du printemps (cf. 5.4.1).

Fig. 59 : Début de la saison des pollens de graminées

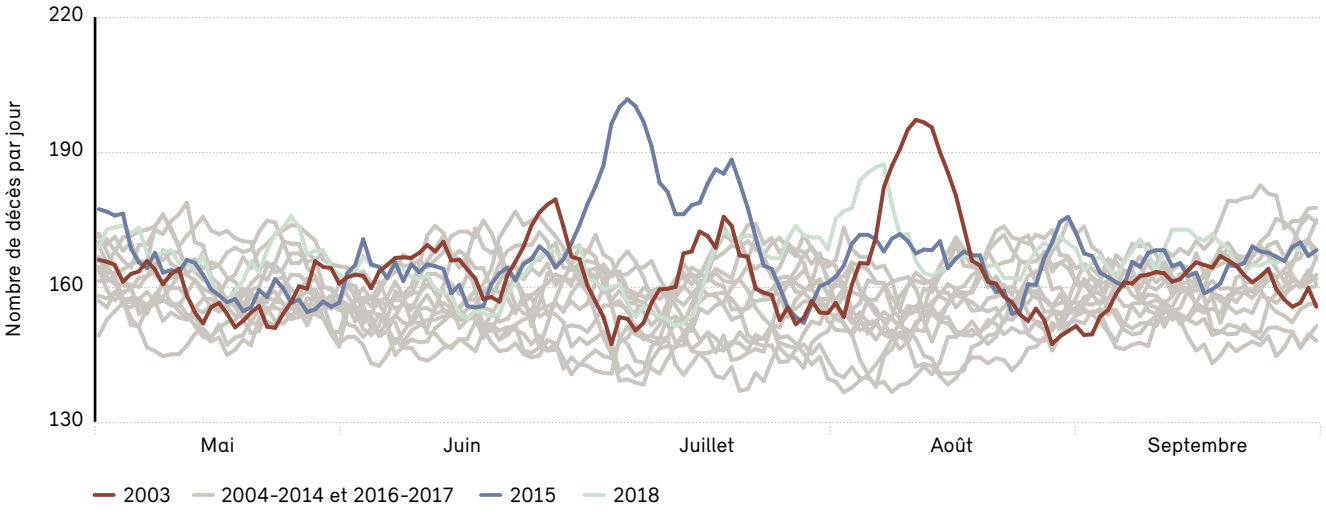
Date moyenne du début de la saison des pollens de graminées de 1982 à 2011 pour les stations de mesure de Bâle, Buchs (SG), Genève, Neuchâtel et Zurich. La tendance est indiquée par une moyenne glissante calculée sur cinq ans.



Source : MétéoSuisse (2020a)

Fig. 58 : Nombre de décès par jour pendant la saison chaude de 2003 à 2018

Décès enregistrés entre mai et septembre en Suisse. Les lignes lissées sont obtenues à partir des moyennes sur sept jours (trois jours avant et trois jours après valeur indiquée). Valeurs absolues non corrigées pour la croissance démographique entre 2003 et 2018.



Source : OFS et Swiss TPH (2019)

6.1.3 Propagation des tiques et maladies transmises par les tiques

La borréliose de Lyme et la méningo-encéphalite à tiques (FSME) sont les maladies les plus fréquentes transmises à l'homme par les tiques en Suisse. Selon une estimation faite par l'Office fédéral de la santé publique (OFSP), il y aurait eu 7712 à 21 024 nouveaux cas de borréliose de Lyme par an entre 2008 et 2018 (OFSP 2019a), avec un nombre de cas particulièrement élevé en 2018 (figure 60). S'agissant de la FSME, le nombre de cas enregistrés ces dernières années est en nette progression. D'autres maladies également transmises par les tiques, comme l'anaplasmose, la rickettsiose, la babésiose, la neoehrlichiose ou la tularémie, sont plus rares.

La tique du mouton *(Ixodes ricinus)* est l'espèce de tique la plus répandue en Suisse ; elle est connue comme étant le vecteur de la borréliose et du virus FSME. Elle est surtout active entre mars et novembre et vit souvent dans des sous-bois de feuillus, à la lisière des forêts ou dans des clairières.

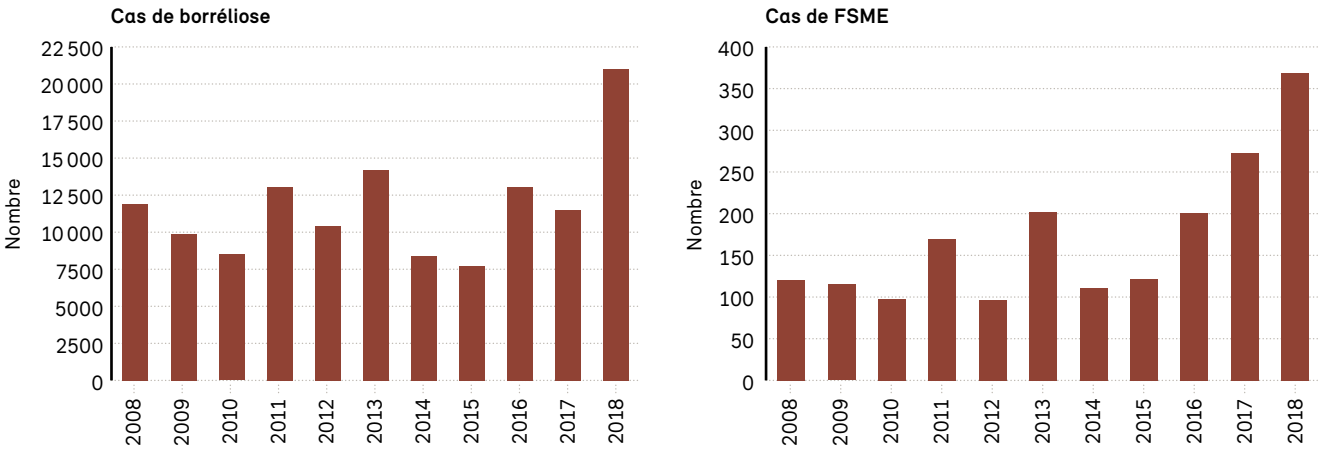
Sous nos latitudes, parallèlement aux changements climatiques, on observe une propagation des tiques en altitude et un allongement de la durée de leur activité saisonnière (Ogden et Lindsay 2016). La présence croissante des tiques pourrait expliquer en partie l'augmentation du nombre de cas enregistrés. Par ailleurs, la chaleur influence aussi les comportements en matière de loisirs ainsi que l'habillement des personnes, ce qui accroît la probabilité de contact avec des tiques (Randolph et al. 2008). Outre le changement climatique, d'autres facteurs, tels que les modifications des habitats naturels, jouent également un rôle important et peuvent avoir un impact encore plus grand que le climat sur la dynamique de la transmission des maladies (Léger et al. 2013).

Des espèces de tiques exotiques du genre *Hyalomma* sont fréquemment introduites en Suisse par des oiseaux migrateurs (Papadopoulos 2002) et se sont probablement établies dans le canton du Tessin (ECDC 2019). Ces tiques, très répandues dans le sud de l'Europe, en Afrique et en Asie, sont bien adaptées à un climat chaud et sec et pourraient donc aussi se propager en Suisse sous l'effet des changements climatiques (Chitimia-Dobler et al. 2019). En Allemagne, des tiques *Hyalomma* ont été détectées pour la première fois en 2019 avant l'arrivée des oiseaux migrateurs, ce qui laisse à penser qu'elles ont hiverné au nord des Alpes (Université de Hohenheim 2019). Théoriquement, ces tiques peuvent transmettre des agents pathogènes tels que les rickettsies ou la fièvre hémorragique de Crimée-Congo.

6.1.4 Propagation du moustique tigre

Le moustique tigre *(Aedes albopictus)* est un moustique exotique envahissant susceptible de transmettre des virus dangereux pour la santé, tels que le chikungunya, la dengue ou le Zika. Aucune transmission de ces maladies

Fig. 60 : Nombre de personnes atteintes de borréliose de Lyme (à gauche) et de FSME (à droite)

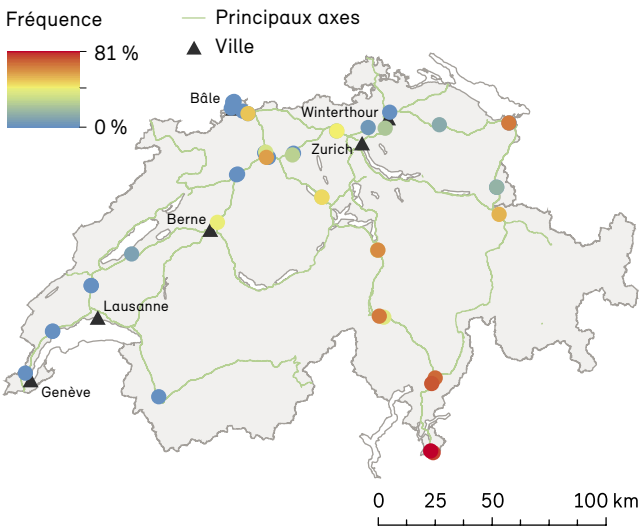


Source : OFSP (2019c)

n'a été établie jusqu'ici en Suisse mais indépendamment de ce constat, le moustique tigre est très incommodant car il pique aussi de jour et est présent dans les zones urbaines.

Le moustique tigre est originaire d'Asie du Sud-Est et s'est propagé à travers la Planète de par la mondialisation du commerce (notamment de pneus usagés et de plantes d'ornement) et les voyages internationaux ; il a aussi été introduit en Suisse par le biais du transport de biens et de marchandises (figure 61). Il a été décelé pour la première fois dans le canton du Tessin en 2003 (Flacio et al. 2004) et s'est étendu depuis vers le nord (Flacio et al. 2016). Avec le réchauffement, il faut s'attendre à ce qu'il s'établisse également dans des régions de Suisse où les conditions climatiques sont pour l'instant encore défavorables à sa propagation (Neteler et al. 2013).

Fig. 61 : Introduction du moustique tigre le long des principaux axes de transport



Source : Müller et al. (2019), carte de base : swisstopo

Un climat plus chaud pourrait également raccourcir le temps de génération du moustique, de sorte que des populations plus importantes se formeraient plus rapidement. Par ailleurs, les températures plus élevées sont favorables au développement des agents pathogènes, ce qui augmente le risque de transmission de la dengue ou du chikungunya. D'autres agents pathogènes transmis par des espèces de moustiques indigènes, tels que le virus du Nil occidental, pourraient également être favorisés par les changements climatiques (Shlomit 2015). Toutefois, outre le climat, d'autres facteurs influencent la propagation des moustiques et des agents pathogènes, si bien qu'il est pratiquement impossible d'établir des pronostics précis.

6.2 Production d'énergie et consommation d'énergie

Les changements climatiques ont aussi un impact sur la production d'énergie. La modification de la répartition des précipitations (cf. 3.3), l'intensification des événements météorologiques extrêmes (cf. 3.3.2) ou la fonte des glaciers (cf. 5.2.1) sont des facteurs susceptibles d'affecter la production d'énergie hydraulique (Confédération suisse 2012). Cette dernière devrait augmenter en hiver mais diminuer en été à cause de la sécheresse (Köllner et al. 2017). Des événements naturels plus fréquents et plus intenses (cf. 6.5), en particulier des mouvements de terrain, pourraient en outre présenter un risque pour certaines lignes de transport d'électricité ou de gaz (Confédération suisse 2012). À cela s'ajoute le fait que les infrastructures pour la production et le transport de l'énergie importée de l'étranger par la Suisse sont également exposées aux conséquences des changements climatiques (cf. 6.7).

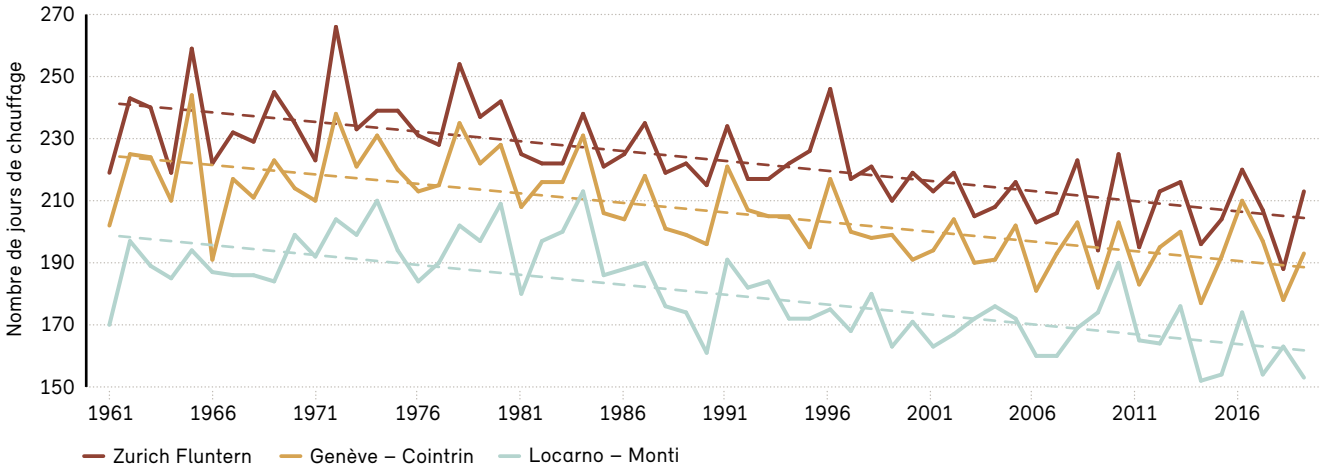
La consommation d'énergie finale a diminué de 13,6 PJ, toutes sources d'énergie confondues, entre 2000 et 2018 en raison des conditions météorologiques, ce qui correspond à un recul de 1,6 % depuis 2000 (Prognos, TEP, Infras 2019a). Avec la hausse de la température moyenne et la multiplication des hivers doux qui en résulte, la consommation d'énergie de chauffage continuera de diminuer en hiver. On enregistre une forte baisse du nombre de jours de chauffage dans les stations climatiques de toutes les régions du pays, soit en moyenne six jours par décennie ou -16,6 % pour la période de 1961 à 2019.

En revanche, la hausse des températures estivales moyennes devrait entraîner une consommation accrue d'énergie pour le refroidissement (Confédération suisse 2012). L'évolution des jours de climatisation[36] montre une forte tendance à la hausse, de 6,8 jours par décennie ou +93 % durant la période de 1961 à 2019 (figure 63).

36 Jours où la température extérieure moyenne est supérieure à 18,3 °C et où l'on pourrait vouloir rafraîchir les locaux

Fig. 62 : Nombre de jours de chauffage

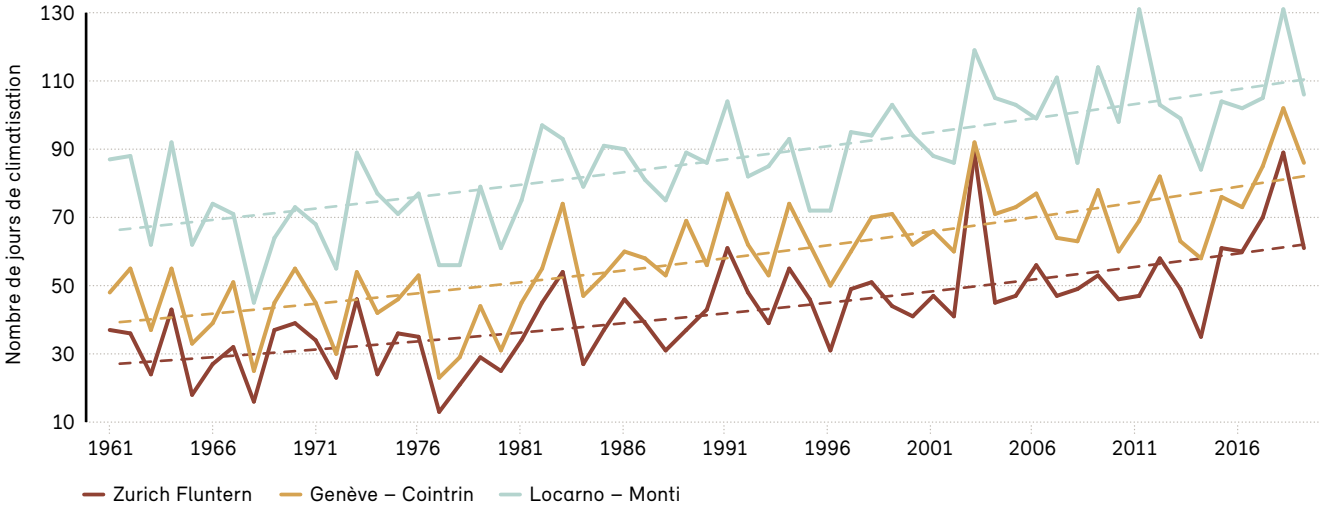
Nombre de jours par an où la température journalière était inférieure à 12 °C durant la période de 1961 à 2019. Les lignes en pointillé indiquent les tendances linéaires.



Source : MétéoSuisse (2020a)

Fig. 63 : Jours de climatisation

Nombre de jours par an où la température journalière était supérieure à 18,3 °C durant la période de 1961 à 2019. Les lignes en pointillé indiquent les tendances linéaires.



Source : MétéoSuisse (2020a)

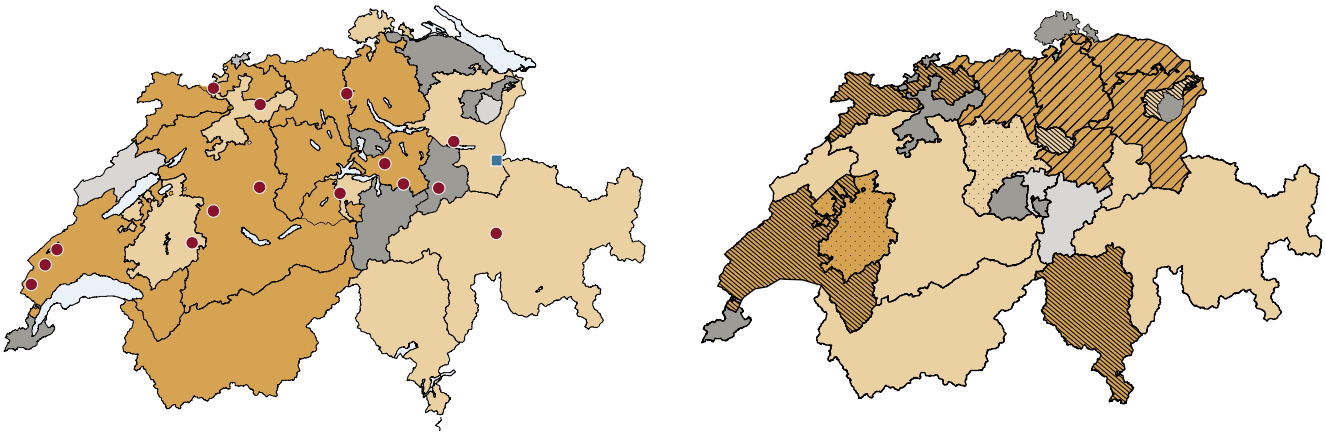
6.3 Gestion de l'eau

Le passé récent a montré que, même en Suisse, l'approvisionnement en eau peut être limité temporairement et localement pendant les périodes de chaleur et de sécheresse. Les étés de 2003, 2015 et 2018, en particulier, ont été exceptionnellement secs. À mesure que les changements climatiques progressent et que la sécheresse s'accentue, la fréquence des situations de pénurie risque de s'accroître, augmentant ainsi la pression sur les ressources en eau.

Durant la canicule de 2015, plusieurs communes de dix cantons ont appelé à économiser l'eau (OFEV 2016, figure 64).

Fig. 64 : Appels aux économies d'eau et pénuries d'eau en 2015 et en 2018

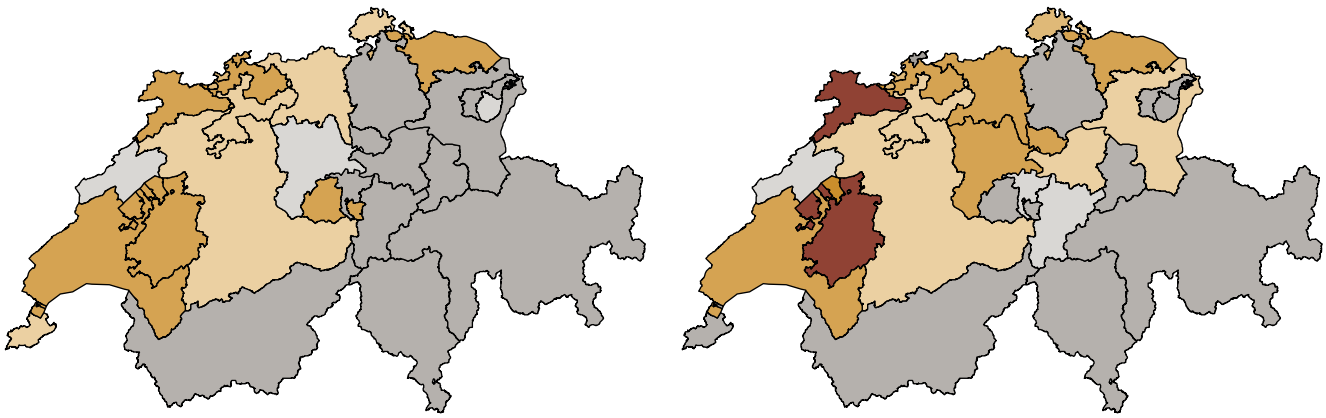
À gauche : situation en 2015 ; à droite : situation en 2018.



Sources : à gauche : OFEV (2016) ; à droite : OFEV et al. (2019)

Fig. 65 : Prélèvements d'eau : interdictions et restrictions en 2015 et en 2018

À gauche : situation en 2015 ; à droite : situation en 2018.



Sources : à gauche : OFEV (2016) ; à droite : OFEV et al. (2019)

Certaines régions ont également dû faire face à des situations de pénurie d'eau durant l'été 2018 (OFEV et al. 2019). Le nord-est de la Suisse a été particulièrement touché : les débits des sources ont progressivement diminué à partir du printemps en raison des faibles précipitations. En août 2018, des niveaux très bas ont été atteints en de nombreux endroits et certaines sources se sont même complètement taries. La plupart des pénuries d'eau ont pu être contenues grâce à l'approvisionnement par des réseaux voisins. Des mesures d'urgence ont néanmoins dû être prises dans six cantons.

S'agissant des prélèvements d'eau par l'agriculture, des interdictions et des restrictions ont dû être imposées durant les étés 2015 et 2018, notamment dans les cantons de l'Arc jurassien, le Seeland et le nord-est de la Suisse (OFEV 2016, OFEV et al. 2019, figure 65).

Le déversement d'eau provenant de circuits de refroidissement dans les rivières peut également engendrer des problèmes pendant les périodes de canicule et de sécheresse. L'eau déversée ne doit pas augmenter la température du cours d'eau de plus de 3 °C et, dans les zones à truite, le réchauffement ne doit pas dépasser 1,5 °C (ordonnance sur la protection des eaux, RS 814.201). La centrale nucléaire de Mühleberg a ainsi dû réduire son rendement de 20 % pendant 16 jours en 2015 afin de respecter les prescriptions légales concernant le déversement d'eau de refroidissement (OFEV 2016).

6.4 Tourisme d'hiver

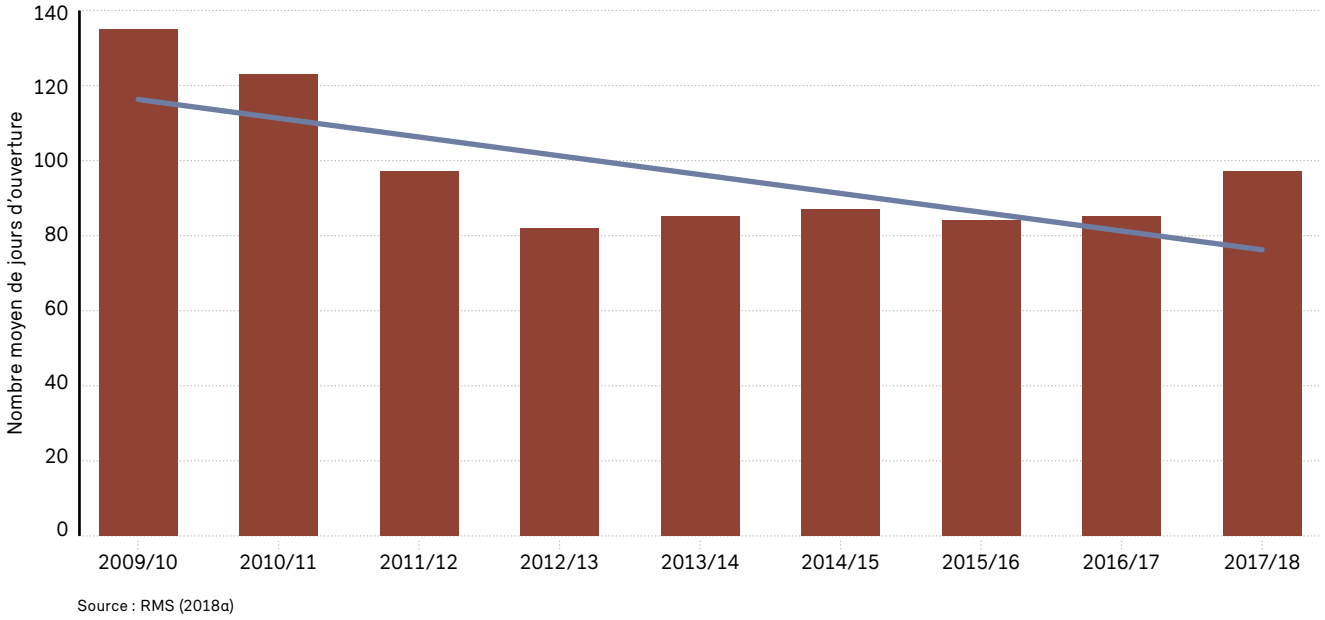
La stratégie touristique de la Confédération souligne que la péjoration des conditions d'enneigement due aux changements climatiques présente un risque pour le tourisme suisse (Confédération suisse 2017). La présence de neige et l'épaisseur de la couverture neigeuse (cf. 3.4) sont des aspects déterminants pour le succès économique du tourisme d'hiver (König et Abegg 1997). Bien que le nombre de jours d'exploitation des domaines skiables varie fortement d'une saison à l'autre en fonction de la météorologie, une tendance à la baisse se dessine entre les saisons 2009/2010 et 2017/2018 : 135 jours d'exploitation par domaine skiable ont été enregistrés en moyenne pour la saison 2009/2010, mais seulement 97 pour la saison 2017/18 (figure 66).

La disponibilité de la neige et, partant, le nombre de jours d'exploitation par saison devrait diminuer encore à l'avenir, tout au moins à basse et moyenne altitude (Uhlmann et al. 2009, cf. 3.4). Si aucune mesure de protection du climat n'est mise en œuvre, la couverture neigeuse naturelle devrait se réduire d'environ 40 % à une altitude de 1500 à 2000 m d'ici à 2060, voire même de 55 % entre 1000 et 1500 m (NCCS 2018). En Suisse, de nombreux domaines skiables sont situés à une altitude supérieure et seraient donc probablement moins durement touchés par les changements climatiques que ceux d'autres pays alpins. La figure 67 montre que l'enneigement serait toujours garanti dans la plupart des domaines skiables du Valais et des Grisons en cas de hausse de +4 °C de la température mondiale par rapport au niveau actuel, mais que la situation est plus critique à plus basse altitude. Là l'enneigement ne serait pas entièrement garanti même en mettant en œuvre une politique climatique très ambitieuse[37].

37 Conformément au scénario d'émission RCP2.6 avec une hausse de la température mondiale ne dépassant pas +2 °C par rapport à la période préindustrielle, cf. 4.2

Fig. 66 : Nombre moyen de jours d'exploitation des domaines skiables suisses

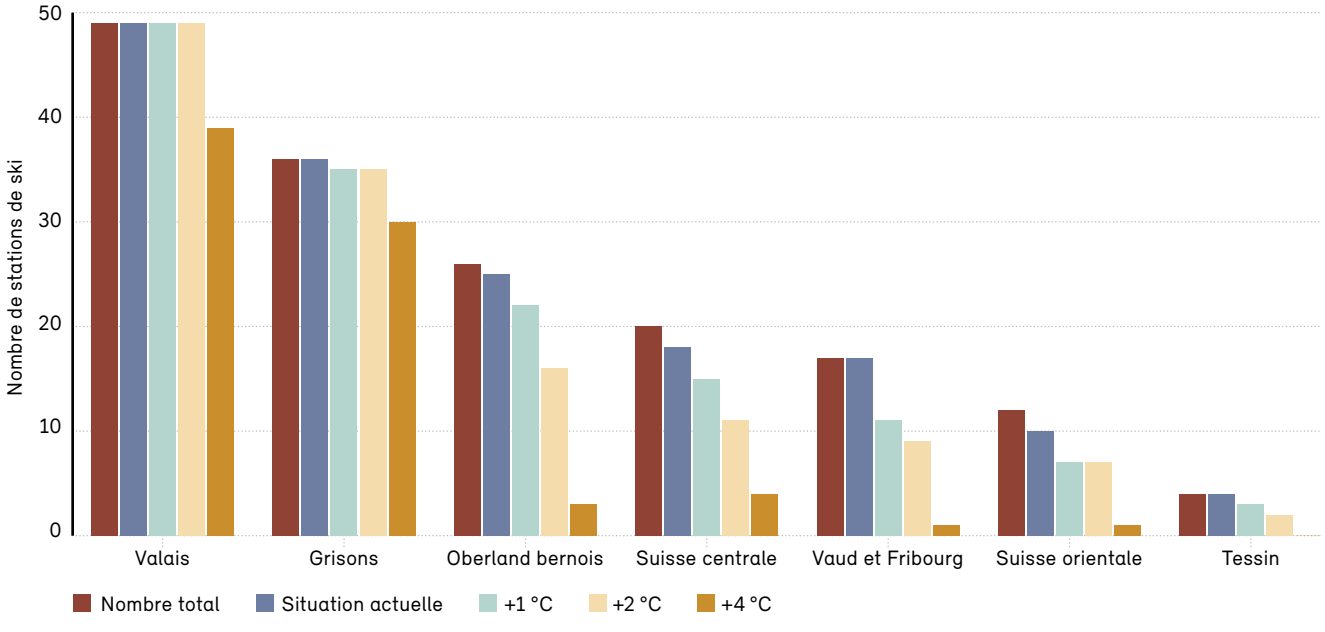
Évolution du nombre moyen de jours d'exploitation des domaines skiables suisses entre 2009/2010 et 2017/2018. L'échantillon comprend 63 domaines skiables.



Source : RMS (2018a)

Fig. 67 : Évolution de la disponibilité de la neige dans les domaines skiables suisses

Nombre total des domaines skiables et nombre de domaines skiables où l'enneigement est garanti en fonction de la hausse de la température moyenne mondiale par rapport à la situation actuelle.



Source : Abegg et al. (2007)

6.5 Conséquences dans d'autres secteurs

Les changements climatiques n'impactent pas seulement les secteurs de la santé, de l'énergie, du tourisme et de la gestion de l'eau mais aussi d'autres domaines sociétaux. Ceux-ci sont brièvement décrits ci-après.

Événements naturels extrêmes : la Suisse est exposée à de nombreux dangers naturels, tels que les crues, les laves torrentielles, les glissements de terrain, les chutes de pierres, les avalanches et les tempêtes. En tant que pays alpin, elle est particulièrement touchée par les effets des changements climatiques. La hausse de l'isotherme du zéro degré (cf. 3.4) et la diminution de la quantité de neige ont un impact sur les glaciers et le pergélisol (cf. 5.2) et, par conséquent, sur la stabilité des pentes et l'apparition de mouvements de terrain (NCCS 2018). En haute montagne, des problèmes peuvent aussi se poser pour les infrastructures à cause de tassements au-dessus de lentilles de glace ou de la mobilisation du sous-sol. L'augmentation de l'intensité et de la fréquence des événements de précipitations extrêmes aggravera encore la situation de crue (NCCS 2018). Sans plans de protection adéquats, les dommages causés aux personnes, aux biens et à l'environnement, dont le coût atteint souvent plusieurs millions, continueront d'augmenter.

Développement territorial : la hausse de la température induite par les changements climatiques, notamment les vagues de chaleur, affectera plus particulièrement les villes et les agglomérations. La densification qualitative souhaitée pour les espaces urbains et les agglomérations (développement de l'habitat vers l'intérieur) accroît la pression exercée sur les espaces ouverts, déterminants pour le climat local. De plus, l'imperméabilisation des sols progresse et les constructions sont plus compactes, ce qui augmente encore l'effet d'îlot de chaleur. Les fortes précipitations constituent elles aussi un défi pour les zones urbaines. Les changements climatiques devraient accroître la fréquence et l'intensité des précipitations extrêmes (4.3.3). L'imperméabilisation des sols limite l'infiltration des précipitations dans le milieu bâti d'où une augmentation du ruissellement de surface.

Agriculture : les hivers doux et la hausse de la température moyenne favorisent la survie et la propagation de nombreux organismes nuisibles, d'où un risque accru de pertes de récolte (Köllner et al. 2017). La sécheresse et les fortes pluies (cf. 3.3 et 4.3) peuvent également affecter la production. Cependant, les effets sur l'agriculture ne sont pas tous négatifs : l'augmentation de la température moyenne, la diminution des jours de gel et l'allongement de la période de végétation devraient avoir un impact positif sur le développement des cultures agricoles (Köllner et al. 2017).

6.6 Coûts économiques

Les estimations des coûts liés aux changements climatiques s'avèrent généralement difficiles et sont entachées d'une grande incertitude en raison de nombreux facteurs d'influence et d'un horizon à long terme, et ce plus particulièrement pour les estimations de phénomènes à petite échelle. Un concept communément employé pour exprimer les conséquences économiques des changements climatiques est celui des coûts de l'inaction. En 2006 déjà, l'économiste Nicholas Stern avait montré que des changements climatiques non maîtrisés au cours des deux prochains siècles entraîneraient une réduction moyenne du PIB mondial de 5 à 20 % par an. En revanche, les coûts de la stabilisation des émissions à un niveau où le réchauffement planétaire ne dépasserait pas 2 °C ne représenteraient qu'environ 2 % du PIB mondial par an (Stern 2006).

L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) confirme également, dans un rapport sur les effets économiques des changements climatiques, que les coûts de l'inaction s'élèveraient à un multiple de ceux de l'action. Elle prévoit que les pertes de PIB mondial pourraient atteindre 10 % d'ici à 2100 si ces changements n'étaient pas freinés (OCDE 2015).

Les coûts liés aux changements climatiques sont déjà considérables aujourd'hui. Dans l'UE, les dommages liés au climat causés aux infrastructures critiques ainsi que dans les secteurs directement touchés se sont élevés à plus de 3 milliards d'euros en 2010. Ces dommages devraient être multipliés par six d'ici à 2050 et par dix d'ici à 2100 si les changements climatiques ne sont pas atténués efficacement (Union européenne 2016).

On ne dispose encore que de peu de données quantifiées sur les coûts des changements climatiques en Suisse. L'EPF de Lausanne a examiné les conséquences des changements climatiques sur six domaines (santé, bâtiments et infrastructures, énergie, approvisionnement en eau, agriculture et tourisme) et calculé les coûts qui résulteraient de changements plus ou moins incontrôlés par rapport à une limitation de la hausse de la température à 2 °C. Selon cette étude, ces coûts supplémentaires s'élèveraient globalement à environ 2,8 milliards de francs en 2060. Ils résulteraient, par exemple, d'une baisse de la productivité du travail liée au climat ou d'une diminution des recettes dans le tourisme d'hiver (EPFL 2017). Dans une autre étude, les pertes de prospérité dues aux changements climatiques en Suisse sont estimées entre 0,37 % et 1,37 % (Vöhringer et al. 2019). À plus long terme, c'est-à-dire d'ici la fin du siècle, le PIB de la Suisse pourraient diminuer de 12 % si l'évolution actuelle des émissions mondiales se poursuit (Kahn et al. 2019).

En revanche, les coûts de l'action sont nettement inférieurs. La mise en œuvre du paquet de mesures prévu par la révision totale de la loi sur le CO_2 ne devrait avoir qu'un impact très modéré sur la croissance économique. Si les effets positifs des mesures (p. ex. les incitations à l'innovation ou la réduction des coûts de la santé) étaient également pris en compte, les avantages économiques dépasseraient probablement les coûts directs du paquet de mesures (OFEV 2017b).

6.7 Conséquences indirectes

Dans sa stratégie d'adaptation aux changements climatiques et dans ses analyses des risques et des opportunités liés aux changements climatiques, la Confédération s'est jusqu'à présent concentrée sur les effets directs et immédiats des changements climatiques sur la Suisse (Confédération suisse 2012 et 2014, Köllner et al. 2017, INFRAS et Egli Engineering 2015). Toutefois, notre pays, dont l'économie est largement internationalisée, est également affecté dans une large mesure par les changements climatiques indirects qui se produisent à l'étranger et leurs conséquences (figure 68, Kohli et al. 2018, Académies suisses des sciences 2016b). Les conséquences des événements climatiques survenant à l'étranger peuvent se propager par le biais de différentes sphères d'influence et de longues chaînes d'effets (figure 68).

Les domaines d'influence déterminants pour la Suisse sont décrits ci-après.

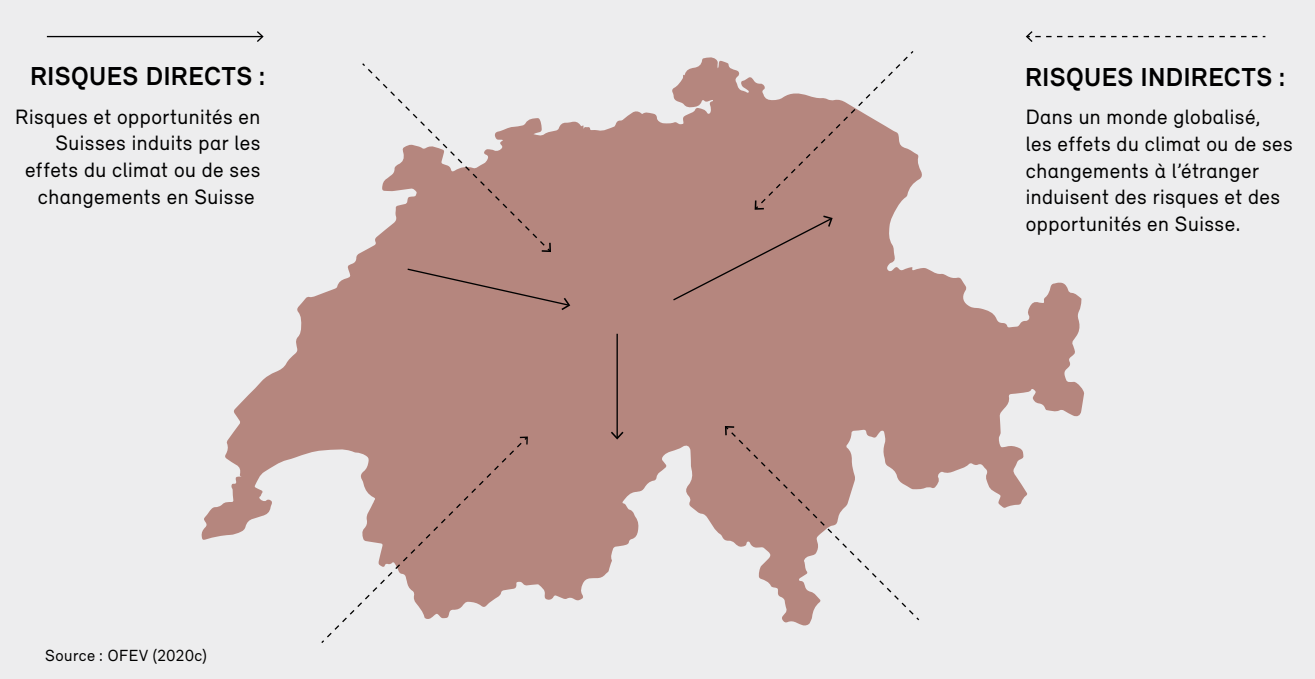
Performance économique : l'exposition aux risques liés aux changements climatiques varie en fonction de l'entreprise, de la chaîne d'approvisionnement et de la substituabilité des biens importés. Les entreprises à risque sont principalement celles qui exportent une forte proportion de leurs produits vers des pays vulnérables ou qui sont très dépendantes de produits provenant de régions sensibles au climat. En revanche, des opportunités existent pour les exportateurs de produits et de savoir-faire liés à l'adaptation aux changements climatiques (Infras 2018).

Approvisionnement alimentaire : compte tenu des importations d'aliments pour animaux, le degré d'autosuffisance de la Suisse se situait ces dernières années (1995-2014) entre 50 % et 59 % (OFAG 2016). Parmi les 14 pays dont la Suisse importe le plus de produits agricoles, on trouve des pays relativement vulnérables comme le Ghana ou l'Inde. D'importants produits de gros utilisés dans l'industrie alimentaire suisse, tels que le cacao et le café, proviennent de régions sensibles aux changements climatiques (p. ex. le Salvador, le Nicaragua, la Côte d'Ivoire). La concentration des marchés, comme c'est le cas notamment pour le soja brésilien, accroît en outre les risques liés au climat.

Approvisionnement en énergie : la Suisse à elle seule ne dispose que d'une quantité limitée d'énergie et doit donc en importer à hauteur de 75 % environ pour couvrir ses besoins. Elle importe des agents énergétiques, tels que le pétrole, le gaz naturel, le charbon et les produits issus du charbon, les combustibles nucléaires, ainsi que de l'électricité pendant le semestre d'hiver. Certaines de ces énergies proviennent de pays susceptibles de subir les effets des changements climatiques (notamment le pétrole). En d'autres termes, les changements climatiques peuvent avoir un impact important à l'étranger sur les installations d'extraction, les raffineries et les voies de transport des énergies fossiles, mais aussi sur les réseaux électriques et sur la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables.

Fig. 68 : Risques directs et indirects

La Suisse n'est pas seulement exposée aux risques directs liés aux changements climatiques, mais aussi aux risques indirects découlant de ceux-ci.



Services financiers : la place financière suisse fait figure de leader mondial dans la gestion transfrontalière de biens privés. La Suisse héberge en outre l'un des dix plus grands marchés des assurances en Europe. Les clients fortunés (étrangers) des banques pourraient être lésés, car les risques liés au climat en matière de gestion de fortune sont jusqu'à présent portés majoritairement par la clientèle. Les investissements suisses à l'étranger pourraient, eux aussi, être menacés étant donné le fort impact actuel des changements climatiques à l'étranger, en particulier les investissements sur le long terme (infrastructures, p. ex.) et le secteur des assurances. Les compagnies d'assurance suisses doivent s'attendre à des pertes, car elles sont actives et exposées dans des pays souvent touchés par des événements extrêmes.

Sécurité : les changements climatiques font office de multiplicateurs et peuvent accroître les risques liés à la sécurité humaine et favoriser les conflits violents à l'étranger. Ils touchent également des pays vulnérables aux structures fragiles dans lesquels la Suisse s'engage, notamment via des activités économiques, par intérêt politique ou dans le cadre de la coopération au développement, comme la région autour de la corne de l'Afrique (Éthiopie, Érythrée et Somalie). Le rapport le plus récent sur la politique de sécurité de la Suisse relève que les États se sont fragilisés au cours des dernières années en raison des changements climatiques.

Migration : les changements climatiques sont un des nombreux facteurs influant sur la migration. Ils aggravent les problèmes sociaux, économiques et politiques. Combinés à d'autres facteurs, ils peuvent contribuer à la décision de migrer. La Suisse n'est pas un pays de destination majeur pour les migrants climatiques, qui se déplacent en général sur de petites distances (p. ex. de la campagne à la ville ou vers un pays voisin) et souvent de manière temporaire, mais bien un pays de destination potentiel pour les migrants issus de pays vulnérables sans perspectives économiques. La pression migratoire sur l'Europe va également se renforcer sous l'effet des déséquilibres économiques et des conflits politiques.

Coopération au développement : la protection du climat et l'adaptation aux changements climatiques sont deux priorités de la coopération au développement de la Suisse. Les principaux pays dans lesquels la coopération au développement s'investit sont des pays vulnérables. Les changements climatiques constituent en maints endroits une grave menace pour les moyens d'existence des groupes cibles et pourraient mettre en péril les progrès déjà réalisés en matière de développement.

7 Réduction des émissions

La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, le Protocole de Kyoto et l'Accord de Paris constituent les réponses politiques de la communauté internationale au changement progressif du climat (7.1). Leur principal objectif est de réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre et d'accroître les capacités d'adaptation aux changements climatiques. En ratifiant ces accords, la Suisse s'est engagée au niveau international à réduire ses émissions (7.2). La loi sur le CO_2 constitue la base légale la plus importante en vue d'atteindre les objectifs de réduction de la Suisse. Elle transpose les objectifs soumis au niveau international dans le droit national et fixe un certain nombre de mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (7.3). D'autres aspects ou législations contribuent également à la réduction des émissions (7.4).

7.1 Objectifs de réduction internationaux

La publication, en 1990, du premier rapport du GIEC a suscité une prise de conscience de l'urgence d'agir face aux changements climatiques. La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques a été adoptée deux ans plus tard. Avec le Protocole de Kyoto et l'Accord de Paris, la politique climatique internationale s'est dotée de bases permettant de fixer des objectifs nationaux contraignants de réduction des émissions de gaz à effet de serre. La figure 69 présente une vue d'ensemble de l'évolution de la politique climatique suisse et internationale.

Le Protocole de Kyoto a été adopté en 1997 dans le cadre de la CCNUCC. Les États qui l'ont ratifié se sont engagés à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre conformément aux objectifs de réduction fixés. La prestation des forêts (puits de CO_2) et l'acquisition, dans certaines limites, de certificats de réduction des émissions étrangers pouvaient être prises en compte afin d'atteindre ces objectifs de réduction. Certains pays ont convenu d'une deuxième période d'engagement sous le Protocole de Kyoto.

L'Accord de Paris a été adopté le 12 décembre 2015 par les 196 États membres de la CCNUCC. Cet accord vise à contenir le réchauffement moyen de la Planète nettement en dessous de 2 °C, voire à le limiter autant que possible à *1,5 °C.* Contrairement au Protocole de Kyoto, l'Accord de Paris ne fait plus de distinction entre pays industrialisés et en développement. Les pays en développement ayant ratifié l'accord sont ainsi, pour la première fois, formellement tenus de contribuer, eux aussi, à la réduction des émissions. Tous les États membres doivent fixer des objectifs de réduction nationaux, les renforcer périodiquement et rendre compte régulièrement (tous les deux ans) des résultats de leurs efforts. Tous les cinq ans, un bilan international des progrès accomplis en vue de la réalisation des objectifs de l'accord sera effectué.

Fig. 69 : Vue d'ensemble de la politique climatique suisse et internationale

Monde		Suisse
Publication du premier rapport du GIEC sur les changements climatiques	**1990**	
Adoption de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements (CCNUCC)	**1992**	
Adoption du Protocole de Kyoto Des objectifs contraignants de réduction des émissions sont fixés pour les pays industrialisés. Ces derniers s'engagent à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 5,2 % en moyenne par rapport à 1990.	**1997**	
	2003	**Ratification du Protocole de Kyoto**
	2008	**Introduction de la taxe sur le CO_2**
Première période d'engagement du Protocole de Kyoto	**2008 – 2012**	À l'instar de l'UE, la Suisse s'engage à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 8 % par rapport à 1990 pour la période de 2008 à 2012.
	2013	**Entrée en vigueur de la loi sur le CO_2 révisée**
Deuxième période d'engagement du Protocole de Kyoto Seul un nombre restreint de pays sont prêts à s'engager pour une deuxième période, à savoir l'Australie, l'Union européenne, la Croatie, l'Islande, le Liechtenstein, Monaco, la Norvège et la Suisse.	**2013 – 2020**	La Suisse s'engage à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 20 % par rapport à 1990 d'ici à 2020
Adoption de l'Accord de Paris Un des objectifs principaux de cet accord est de contenir le réchauffement mondial moyen nettement en dessous de 2 °C. Tous les pays ayant ratifié l'accord sont tenus de définir un objectif de réduction national et de faire rapport sur leurs activités de mise en œuvre.	**2015**	
	2017	**Ratification de l'Accord de Paris**
	2019	Le Conseil fédéral décide d'un objectif de zéro émission nette pour tous les gaz à effet de serre d'ici à 2050
Mise en œuvre de l'Accord de Paris	**2021 – 2030**	La Suisse s'engage à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 50 % par rapport à 1990 d'ici à 2030.
	2050	Zéro émission nette

Source : adapté à partir d'OFEV (2018b)

7.2 Objectifs de réduction nationaux

La Suisse a ratifié le Protocole de Kyoto en 2003. Dans le cadre de la première période d'engagement (de 2008 à 2012), elle s'est engagée, tout comme l'UE, à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 8 % en moyenne par rapport à 1990. Cet objectif a été atteint grâce aux mesures de réduction prises en Suisse, à l'imputation de certificats de réduction des émissions étrangers et à la prise en compte des puits de carbone des forêts.

En Suisse, la mise en œuvre des engagements pris au niveau international s'effectue dans le cadre de la loi sur le CO_2. Pour la période de 2008 à 2012, un objectif de réduction des émissions de CO_2 de 10 % en moyenne par rapport à 1990 ainsi que des objectifs partiels pour les émissions de CO_2 issues des combustibles fossiles (–15 %) et des carburants fossiles (–8 %) ont été fixés dans la première loi sur le CO_2, entrée en vigueur en 2000. Compte tenu des certificats de réduction des émissions obtenus à l'étranger, l'objectif global de moins 10 % a été atteint, mais les objectifs partiels fixés pour les carburants et les combustibles n'ont pas été réalisés.

La loi sur le CO_2 a ensuite été révisée afin de couvrir la deuxième période d'engagement du Protocole de Kyoto de 2013 à 2020. La loi révisée fixe un objectif de réduction de 20 % (somme de toutes les émissions de gaz à effet de serre et non plus uniquement celles de CO_2) par rapport à 1990 d'ici à 2020[38]. Elle stipule que cet objectif doit être entièrement atteint par des mesures de réduction prises en Suisse. Les données de l'inventaire national des gaz à effet de serre pour 2020 (qui porte sur les émissions jusqu'en 2018) laissent à penser que cet objectif ne sera vraisemblablement pas atteint (figure 70).

Le rapport explicatif relatif à l'ordonnance sur le CO_2 mentionne en outre les contributions de différents secteurs à l'objectif de réduction fixé pour 2020 (en % par rapport à 1990) :

- –40 % pour le secteur des bâtiments (ménages et services), soit encore tout au plus 10,3 millions de tonnes d'éq.-CO_2 ;
- –15 % pour le secteur de l'industrie, soit encore tout au plus 11,1 millions de tonnes d'éq.-CO_2 ;
- –10 % pour le secteur des transports, soit encore tout au plus 13,4 millions de tonnes d'éq.-CO_2 ;
- –10 % pour les autres sources d'émissions (agriculture, déchets et gaz synthétiques),soit encore tout au plus 7,9 millions de tonnes d'éq.-CO_2.

Les données les plus récentes indiquent que le secteur des bâtiments n'atteindra probablement pas sa contribution à l'objectif de réduction et il n'est pas encore sûr que le secteur de l'industrie parvienne à atteindre la sienne. Quant au secteur des transports et aux autres sources d'émission, il est certain qu'ils n'atteindront pas la contribution attendue à l'objectif de réduction (figure 71).

La Suisse a ratifié l'Accord de Paris le 6 octobre 2017 et s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de moitié par rapport à leur niveau de 1990 d'ici à 2030. La mise en œuvre de cet engagement a nécessité, au plan national, une nouvelle révision de la loi sur le CO_2 pour la période de 2021 à 2030. Au moins 75 % de la réduction des émissions de gaz à effet de serre nécessaire doit être réalisée par des mesures prises en Suisse, ce qui correspond à un objectif de réduction des émissions intérieures de 37,5 % par rapport à 1990 d'ici à 2030.

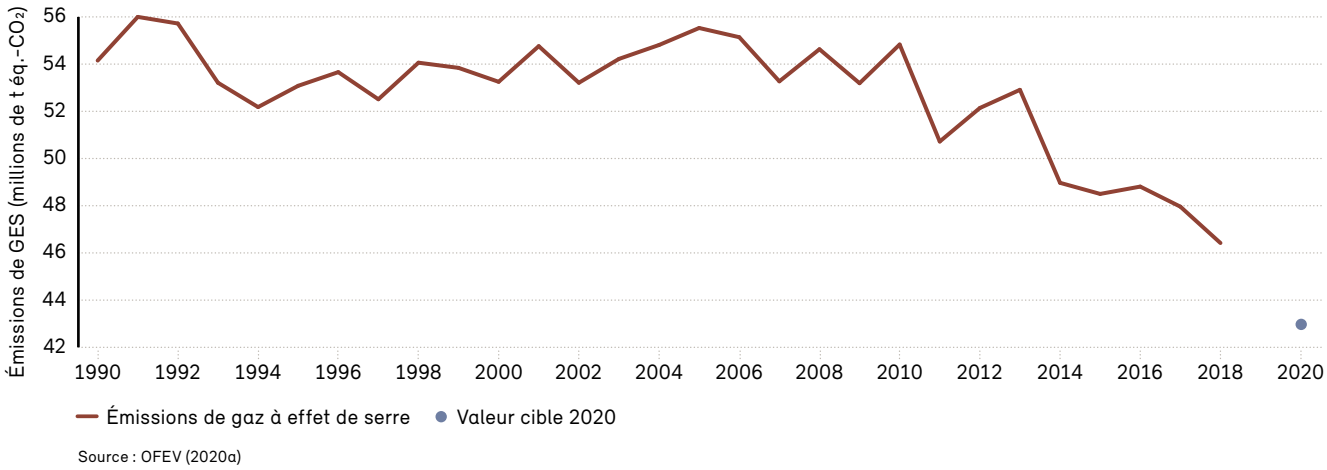
Le 28 août 2019, le Conseil fédéral a décidé que la Suisse devrait réduire ses émissions de gaz à effet de serre à zéro émission nette d'ici à 2050. À cette date au plus tard, elle ne devra pas rejeter plus de gaz à effet de serre que la quantité pouvant être absorbée par les puits naturels et techniques (équilibre entre les sources d'émission et les puits de carbone). Le Conseil fédéral n'a pas fixé les proportions de la réduction devant être réalisées en Suisse et à l'étranger[39].

38 L'inventaire des gaz à effet de serre est recalculé chaque année, ce qui donne lieu à des modifications des valeurs d'émission des années précédente (y c. de la valeur pour 1990). Les objectifs de réduction sont toutefois déterminés par rapport à une valeur de référence définie (53,71 millions de tonnes d'éq.-CO_2) ; cette valeur a été fixée de manière définitive dans le Second Initial Report (cf. OFEV 2020b).

39 Pour de plus amples informations sur l'objectif climat 2050 et d'autres aspects, cf. : *www.bafu.admin.ch/climat2050*

Fig. 70 : Émissions de gaz à effet de serre depuis 1990 et objectif de la loi sur le CO_2 pour 2020

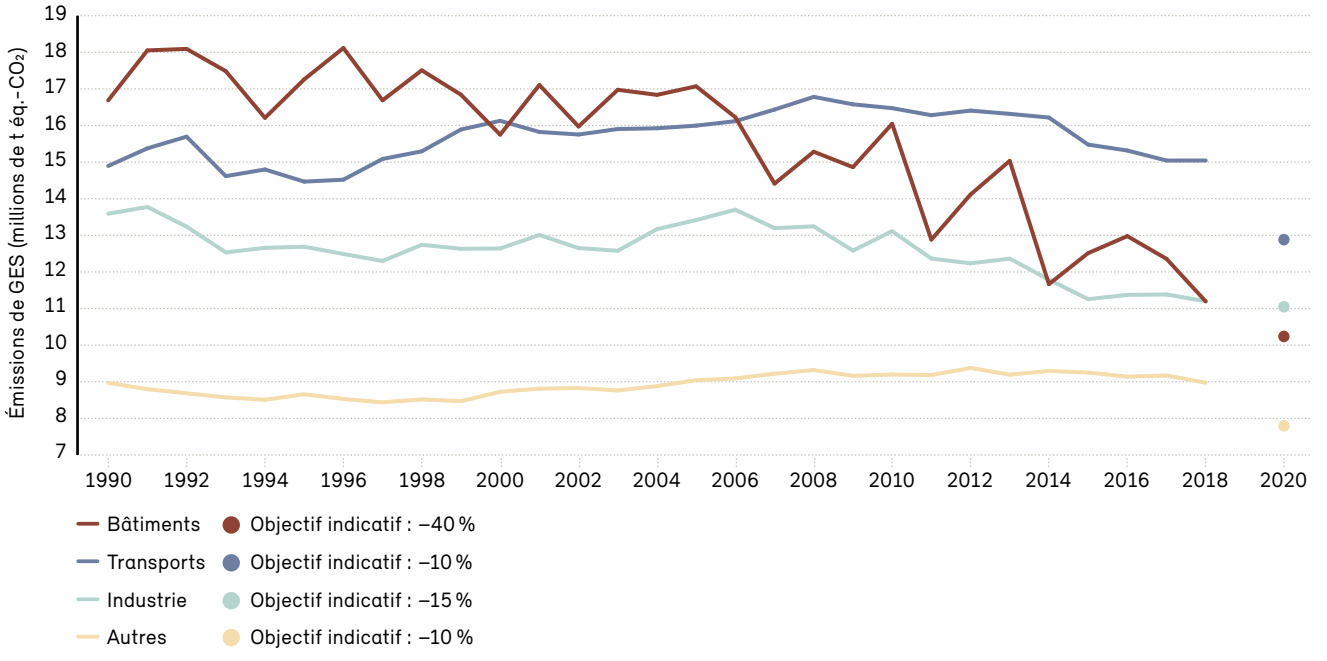
Évolution des émissions intérieures de gaz à effet de serre en Suisse de 1990 à 2018. Le faible effet de puits de carbone lié à l'exploitation forestière ainsi que les certificats de réduction des émissions acquis à l'étranger ne sont pas pris en compte ici. Le point bleu correspond à l'objectif fixé dans la loi sur le CO_2. L'objectif pour 2020 comprend la déduction de l'effet de puits de carbone imputable.



Source : OFEV (2020a)

Fig. 71 : Émissions de gaz à effet de serre par secteur et contribution sectorielle à l'objectif

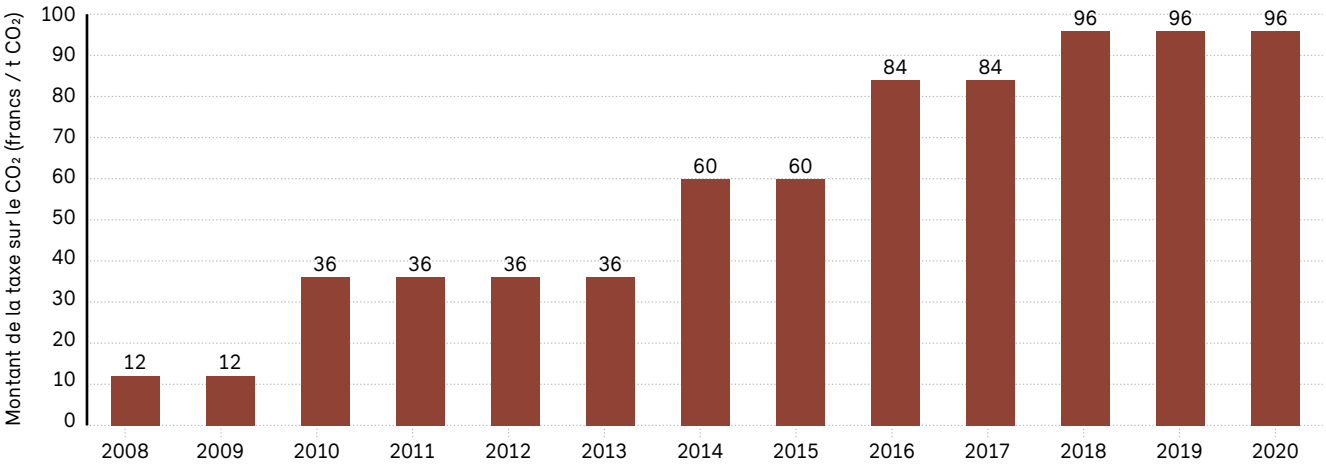
Évolution des émissions intérieures de gaz à effet de serre par secteur en Suisse de 1990 à 2018 et contribution à l'objectif de réduction attendue des différents secteurs.



Source : OFEV (2020a)

Fig. 72 : Évolution du montant de la taxe sur le CO_2

Augmentation par étapes de la taxe sur le CO_2 en raison de la non-atteinte des objectifs de réduction intermédiaires.



Source : OFEV (2020b)

7.3 Mesures de réduction des émissions selon la loi sur le CO_2

L'actuelle loi sur le CO_2[40] prévoit différentes mesures en vue d'atteindre l'objectif de réduction des émissions fixé.

7.3.1 Taxe sur le CO_2

La taxe sur le CO_2 est une taxe incitative prélevée depuis 2008 sur les combustibles fossiles (huile de chauffage, gaz naturel, etc.) lorsqu'ils sont utilisés pour l'obtention de chaleur, la production d'électricité ou l'exploitation d'installations de couplage chaleur-force. Les carburants ne sont pas soumis à cette taxe. La loi sur le CO_2 prévoit une hausse de la taxe au cas où des objectifs de réduction prédéfinis ne seraient pas atteints (figure 72), ce qui a été le cas à quatre reprises jusqu'à présent. Introduite avec un montant fixé à 12 francs par tonne de CO_2, la taxe s'élève depuis 2018 à 96 francs par tonne de CO_2.

Les deux tiers du produit de la taxe sur le CO_2 sont redistribués à la population et à l'économie proportionnellement au montant prélevé, le reste (un tiers ou 450 millions de francs au maximum) étant affecté au Programme Bâtiments (cf. 7.3.3). Par ailleurs, 25 millions de francs sont versés au fonds de technologie. Les entreprises générant des quantités très importantes de gaz à effet de serre peuvent demander à être exemptées de la taxe en s'engageant, en contrepartie, à réduire leurs émissions.

7.3.2 Système d'échange de quotas d'émission

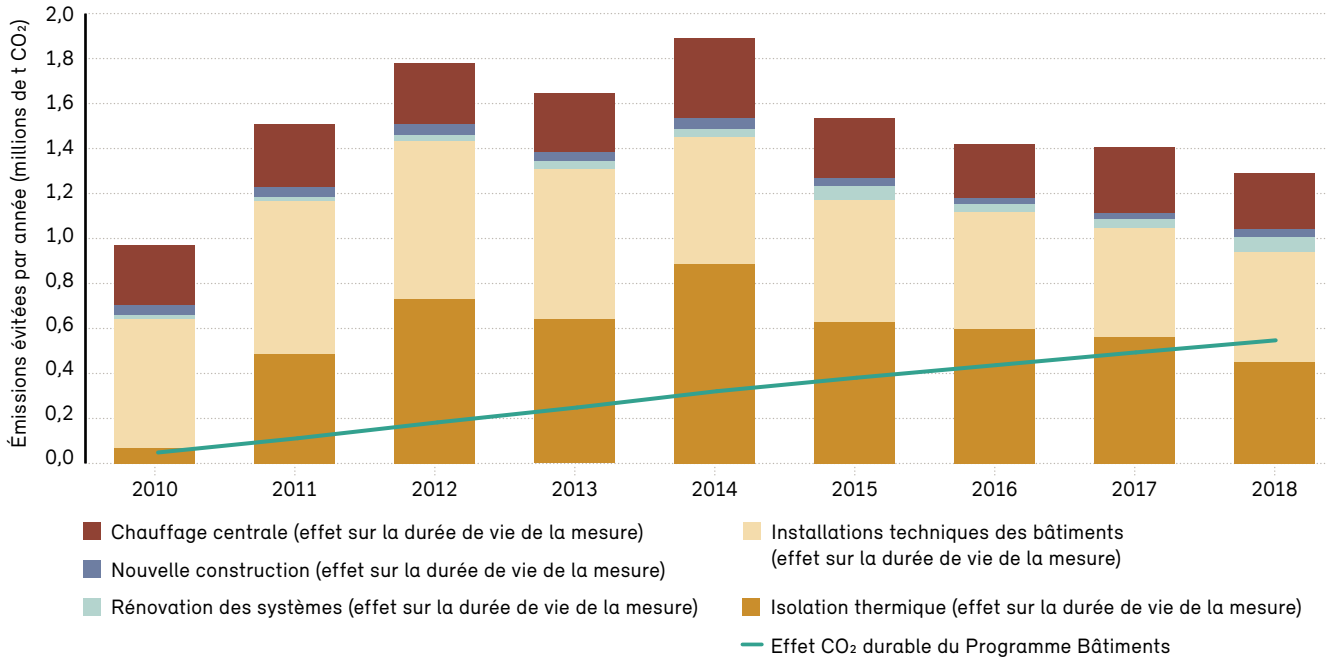
Les entreprises générant des quantités très importantes de gaz à effet de serre participent au système suisse d'échange de quotas d'émission (SEQE) et sont exemptées de la taxe sur le CO_2. Dans le cadre du SEQE, une quantité absolue de droits d'émission disponibles (plafond ou *cap*) est définie, dont une partie est attribuée gratuitement aux entreprises participantes. Les entreprises qui rejettent plus de CO_2 que ne le permettent leurs droits d'émission doivent acquérir des droits supplémentaires auprès d'autres entreprises participant au SEQE. Le plafond est abaissé chaque année ; de ce fait, les émissions totales admises diminuent également d'année en année.

Le couplage des systèmes d'échange de quotas de la Suisse et de l'UE est entré en vigueur le 1er janvier 2020. Ce couplage permet aux entreprises suisses d'avoir accès à un marché plus grand et plus liquide de droits d'émission. Le transport aérien a en outre été intégré dans le SEQE et est donc désormais aussi soumis à une réglementation en matière de politique climatique.

40 Loi fédérale du 23 décembre 2011 sur la réduction des émissions de CO_2, entrée en vigueur le 1er janvier 2013

Fig. 73 : Émissions de CO_2 évitées grâce au Programme Bâtiments

Émissions de CO_2 évitées sur la durée de vie des mesures par domaine de financement et économies de CO_2 durables[41] -de l'ensemble du Programme Bâtiments par an (env. 500 tonnes de CO_2/an).



Source : Le Programme Bâtiments (2018)

7.3.3 Programme Bâtiments[41]

En Suisse, 30 % des émissions intérieures de CO_2 ou issues de la consommation énergétique sont imputables au secteur des bâtiments (OFEV 2020a). Environ deux tiers des immeubles sont chauffés aux énergies fossiles (OFS 2019) et plus d'un million d'immeubles nécessiteraient un assainissement énergétique (Le Programme Bâtiments 2018). La Confédération et les cantons souhaitent exploiter davantage ce potentiel et mettent en œuvre différentes mesures de réduction des émissions de CO_2 et de la consommation énergétique des bâtiments dans le cadre de la législation sur le CO_2 et l'énergie.

Depuis 2000 déjà, la Confédération verse aux cantons des contributions globales annuelles pour des programmes de promotion d'une utilisation parcimonieuse et rationnelle de l'énergie ainsi que pour l'utilisation des énergies renouvelables et des rejets de chaleur. En complément, le Programme national Bâtiment a été lancé en 2010. Ces deux instruments ont ensuite été combinés en 2017. Le Programme Bâtiments est soutenu conjointement par la Confédération et les cantons.

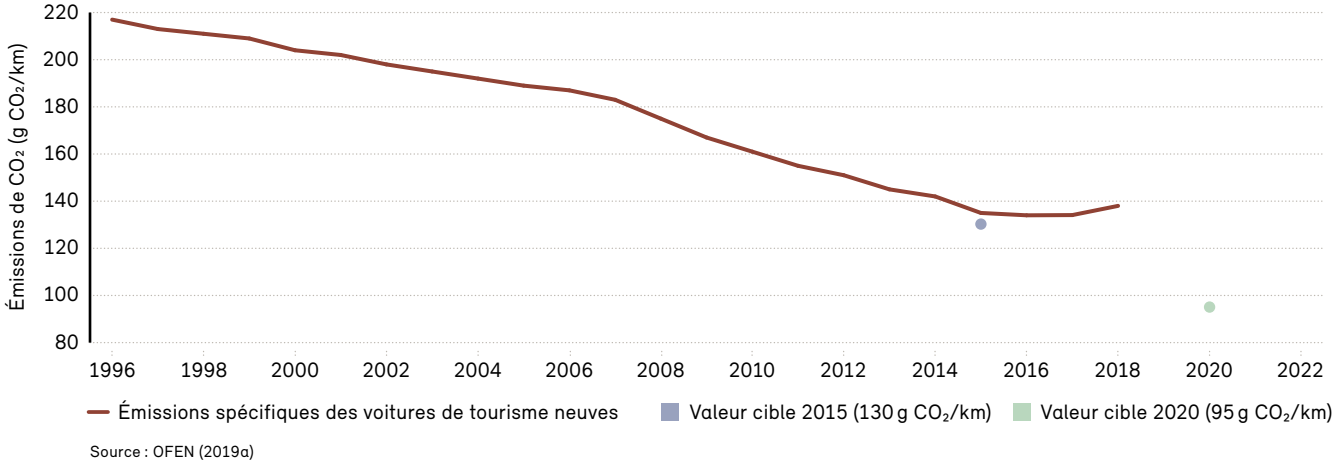
Les cantons sont responsables de la mise en œuvre du programme. Des subventions sont accordées pour des mesures de construction, telles que l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments, le remplacement de chauffages aux énergies fossiles ou de chauffages électriques directs par des raccordements à des réseaux de chauffage à distance ou des systèmes de chauffage fonctionnant avec des énergies renouvelables, ainsi que pour des assainissements énergétiques globaux ou de nouvelles constructions selon le standard Minergie. Depuis 2018, le Programme Bâtiments soutient également des mesures indirectes, telles que des manifestations destinées à des professionnels, la formation de base et continue, les analyses et le conseil, l'assurance qualité et des certificats (p. ex. CECB, Minergie, Site 2000 watts, SNBS).

Il ressort de l'analyse de l'efficacité du Programme Bâtiments qu'en 2018, le parc immobilier suisse a pu réduire

41 L'effet du Programme Bâtiments dure jusqu'à ce que les éléments et les installations aient atteint la fin de leur durée de vie (Le Programme Bâtiments 2018).

Fig. 74 : Évolution des émissions moyennes des voitures de tourisme neuves mises en circulation

Évolution des valeurs moyennes des émissions des voitures de tourisme neuves immatriculées en Suisse de 1996 à 2018.



Source : OFEN (2019a)

sa consommation d'énergie de 2,1 milliards de kilowattheures (kWh) et ses émissions de 0,55 million de tonnes de CO_2 par rapport à 2010 (figure 73). L'effet cumulé sur l'énergie et le CO_2 des mesures encouragées sur toute la durée de vie de celles-ci correspond à près de 55 milliards de kWh et plus de 13 millions de tonnes de CO_2.

7.3.4 Prescriptions concernant les émissions de CO_2 des véhicules

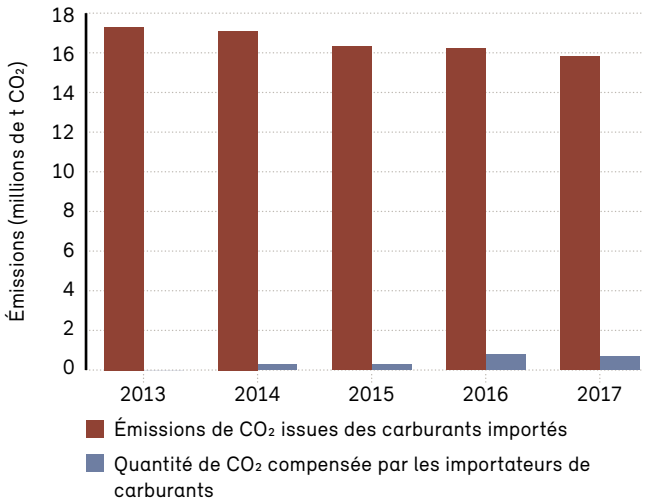
À l'instar de l'UE, la Suisse a introduit en 2012 des prescriptions concernant les émissions de CO_2 des voitures de tourisme neuves. Les valeurs cibles fixées pour les véhicules neufs sont renforcées périodiquement. Pour les voitures de tourisme neuves, une valeur cible moyenne de 130 g de CO_2/km a été fixée à partir de 2015 et de 95 g de CO_2/km à partir de 2020 (figure 74) ; pour les voitures de livraison et les tracteurs à sellette légers immatriculés pour la première fois, une valeur cible de 147 g de CO_2/km s'applique à partir de 2020. En cas de dépassement de la valeur cible spécifique, les importateurs suisses doivent verser une sanction par gramme de CO_2 supplémentaire. L'objectif fixé pour 2015 n'a pas été atteint et les émissions moyennes de CO_2 par km ont même à nouveau légèrement augmenté entre 2016 et 2018.

7.3.5 Compensation des émissions de CO_2

Les importateurs de carburants et les exploitants de centrales thermiques à combustibles fossiles sont tenus, en vertu de la loi sur le CO_2, de compenser une partie de leurs émissions en Suisse. L'OFEV délivre des attestations pour des projets de réduction des émissions réalisés en Suisse, qui peuvent être imputées pour la compensation des émissions intérieures. En 2017, 795 380 tonnes de CO_2 ont été compensées par le biais de projets de réduction de ce type (figure 75).

Fig. 75 : Compensation des émissions par les importateurs de carburants

Évolution des quantités d'émissions issues de carburants importés et des quantités d'émissions compensées par les importateurs.



Source : OFEV (2019h)

Différentes exigences doivent être remplies afin que des attestations puissent être délivrées pour des réductions d'émissions obtenues grâce à un projet réalisé en Suisse. Une attestation n'est délivrée que lorsque le projet ou le programme n'est pas rentable et ne pourrait pas être réalisé sans le produit de la vente des attestations. De plus, la prestation de réduction du projet ou du programme doit entraîner une réduction d'émissions supplémentaire par rapport à l'évolution de référence (additionnalité).

Les projets de compensation peuvent être mis en œuvre dans différents domaines. On peut citer à titre d'exemples l'utilisation et l'évitement des rejets de chaleur (utilisation de la vapeur dans l'industrie, utilisation des rejets de chaleur des stations d'épuration des eaux, ou des projets similaires), l'utilisation efficace de la chaleur industrielle chez l'utilisateur final, l'optimisation d'installations (intégration énergétique, abaissement du niveau de température, ou des projets similaires), l'utilisation de biogaz ou l'amélioration de l'efficacité du transport de voyageurs ou de marchandises (OFEV 2019e).

7.3.6 Mesures actuellement en discussion de la future politique climatique

Le 25 septembre 2020, le Parlement a adopté la révision totale de la loi sur le CO_2 pour la période de 2021 à 2030 (cf. 7.2). En vue d'atteindre l'objectif fixé, la loi prévoit en premier lieu de maintenir et de renforcer les instruments existants. Parmi les principales mesures figurent l'introduction de valeurs limites pour le CO_2 dans le domaine des bâtiments, les taxes applicables au trafic aérien et la création du Fonds pour le climat.

Selon le GIEC, les émissions mondiales nettes (émissions moins la quantité d'émissions qui sont retirées de l'atmosphère de façon permanente) doivent être réduites à zéro d'ici à 2070 afin de contenir le réchauffement climatique en dessous de 2 °C. Il est donc important d'évaluer le potentiel des mesures de captage et de stockage à long terme des émissions de CO_2 en complément des mesures de réduction des émissions. Le 2 septembre 2020, le Conseil fédéral a adopté un rapport sur l'importance des émissions négatives de CO_2 pour la future politique climatique de la Suisse, répondant ainsi au postulat 18.4211 déposé par la conseillère aux États Adèle Thorens Goumaz. Pour que le CO_2 puisse être retiré de l'atmosphère de façon permanente (émissions négatives), il est nécessaire de recourir à des technologies spéciales, qui ne sont pas encore toutes disponibles. Le rapport recommande au Conseil fédéral de créer dès aujourd'hui les conditions-cadres permettant de développer ces technologies.

En élaborant une stratégie climatique à long terme, la Suisse remplit un des mandats de l'Accord de Paris. Cette stratégie vise à montrer comment la Suisse pourra atteindre l'objectif de zéro émission nette d'ici à 2050.

7.4 Autres contributions importantes à la réduction des émissions

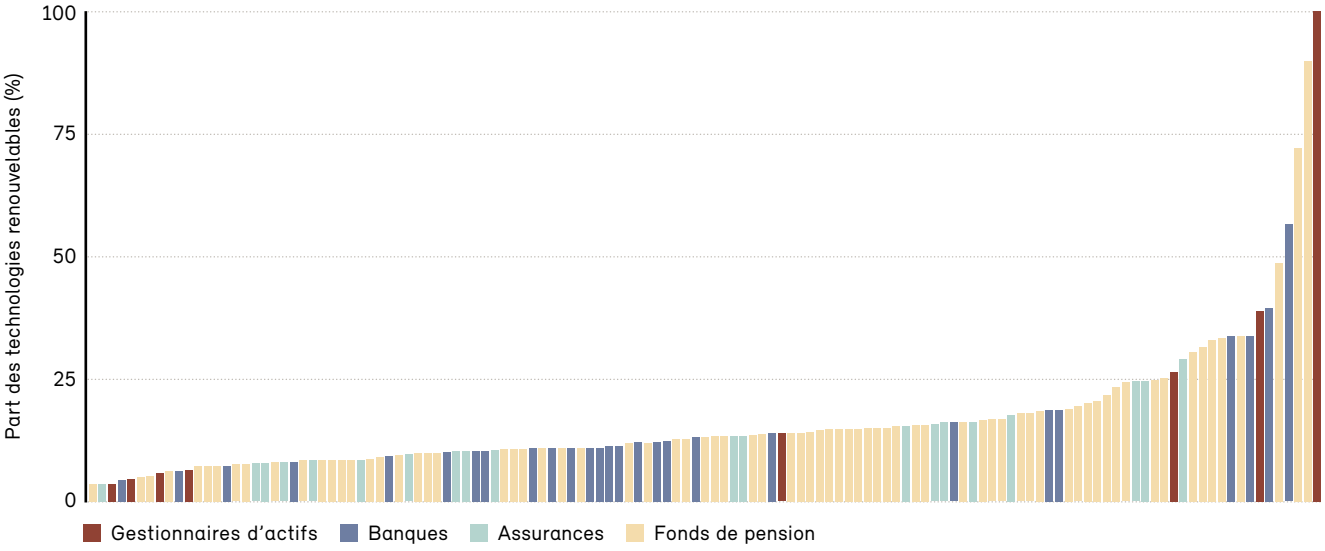
Parallèlement aux mesures définies dans la loi sur le CO_2, d'autres aspects ou législations contribuent à réduire les émissions.

7.4.1 Marché financier : mesure des progrès en matière de flux financiers respectueux du climat

Dans le cadre de l'Accord de Paris, la communauté internationale s'est également fixé pour objectif de rendre les flux financiers compatibles avec le climat (art. 2.1.c). Cet objectif est important pour la Suisse. Représentant plus de 9 % du produit intérieur brut, la place financière est un secteur essentiel pour l'économie du pays. Les investisseurs institutionnels, tels que les banques, les gestionnaires d'actifs, les assurances et les fonds de pension, peuvent soutenir ou freiner la transition vers une économie mondiale respectueuse du climat par leur comportement en matière d'investissement et de financement. Dans une optique de protection du climat, il est notamment crucial de savoir si l'on continue à investir des sommes importantes dans des entreprises qui produisent de l'électricité à partir du charbon plutôt que dans celles qui misent sur des énergies renouvelables. Les investissements et les financements sont respectueux du climat s'ils sont compatibles avec l'objectif climatique international visant à contenir le réchauffement mondial bien en dessous de 2 °C. Le Parlement a explicitement fixé cet objectif dans l'article relatif au but de la loi sur le CO_2 entièrement révisée. Dans un premier temps, il devra être atteint par des mesures librement consenties par le secteur financier. Le Conseil fédéral a également mis en place un groupe de travail qui étudie les conditions-cadres qui permettront

Fig. 76 : Cette figure illustre la part de technologies renouvelables du secteur de l'énergie par rapport à l'exposition globale du secteur

Chaque colonne correspond au résultat d'un participant. L'axe vertical couvre à la fois les combustibles à haute teneur en carbone et les options à faible teneur en carbone qui sont liées à d'autres controverses environnementales (p. ex. force hydraulique et énergie nucléaire).



Source : 2 ° Investing Initiative et al. 2020

à la place financière suisse d'être compétitive dans le domaine des finances durables.

Afin d'évaluer la compatibilité climatique de la place financière suisse, l'OFEV et le Secrétariat d'État aux questions financières internationales (SFI) ont lancé un deuxième test d'envergure en 2020 qui permet d'analyser la compatibilité climatique de portefeuilles financiers. Les banques, les gestionnaires d'actifs, les caisses de pension et les assurances suisses ont ainsi tous pu faire tester leurs portefeuilles anonymement et sur une base volontaire. Au total, 179 établissements financiers y ont participé, soit plus du double que lors du premier volet du test en 2017.

Les tests ont été menés selon la méthode PACTA (Paris Agreement Capital Transition Assessment)[42], qui permet d'effectuer une analyse standardisée pour les actions mondiales, les obligations d'entreprises et les portefeuilles de crédits. Les plans d'investissement et de production pour les cinq prochaines années des entreprises figurant dans les portefeuilles seront ensuite comparés aux trajectoires définies[43]. Il sera ainsi possible de déterminer la manière dont un portefeuille devrait être constitué. En 2020, un module supplémentaire a permis d'examiner les portefeuilles immobiliers et hypothécaires suisses. L'analyse de tous ces secteurs pertinents pour le climat a permis de couvrir 70 à 90 % des émissions indirectement liées aux marchés financiers.

Les résultats (2 ° Investing Initiative et al. 2020) montrent que le marché financier suisse ne se contente pas d'investir largement dans l'industrie du charbon et du pétrole, mais qu'il en favorise même l'expansion. Cela ne répond pas à l'objectif fixé dans l'Accord de Paris d'orienter les flux financiers de manière à les rendre compatibles avec le climat. En outre, de tels placements comportent des risques financiers si des mesures de politique climatique rendent les agents énergétiques fossiles moins attrayants. Toutefois, de nets progrès ont été faits : les participants qui ont indiqué avoir entrepris des actions concrètes après avoir participé aux tests de 2017 présentent de meilleurs résul-

42 *www.transitionmonitor.com/pacta-2020*

43 Le modèle PACTA utilisé pour le test de compatibilité climatique est basé sur le scénario de 2 °C de l'Agence internationale pour l'énergie (AIE 2017) qu'il traduit en trajectoires de technologie et de décarbonisation régionales pour des secteurs économiques ayant un impact particulièrement important sur le climat.

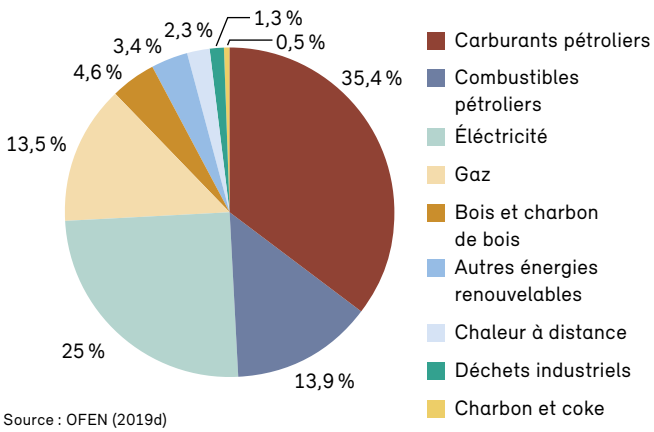
tats en 2020 que leurs concurrents. De plus, plusieurs établissements financiers proposent davantage de portefeuilles comprenant des entreprises qui visent à développer les énergies renouvelables et la mobilité électrique.

Dans l'enquête qui a été menée parallèlement au test, plus de deux tiers des participants ont déclaré suivre une stratégie climatique. Toutefois, des mesures doivent être prises pour que ces stratégies déploient des effets et que les clients soient informés des risques climatiques et des conséquences de leurs investissements. Plus de la moitié des établissements qui indiquent exclure le charbon de leurs investissements détiennent encore des actions et des obligations d'entreprises extrayant cet agent ou produisant de l'électricité à partir de celui-ci.

7.4.2 Stratégie énergétique 2050

En 2018, près des deux tiers de l'approvisionnement en énergie finale de la Suisse provenaient d'agents énergétiques fossiles (carburants et combustibles issus du pétrole et gaz) (figure 77). Une réduction de cette domination des énergies fossiles est indispensable à des fins de protection du climat.

Fig. 77 : Part d'agents énergétiques dans l'approvisionnement énergétique en 2018



Source : OFEN (2019d)

Une consommation plus faible d'agents énergétiques fossiles ainsi que l'abandon concomitant, par étapes, de l'énergie nucléaire tel que proposé dans la nouvelle législation sur l'énergie entrée en vigueur en 2018, nécessitent certains ajustements. La Stratégie énergétique 2050 vise à transformer progressivement le système suisse d'approvisionnement en énergie (OFEN 2019d). La nouvelle loi sur l'énergie (LEne) prévoit notamment la promotion des énergies renouvelables. La force hydraulique mise à part, les sources d'énergie renouvelables telles que le soleil ou le vent ne produisent jusqu'ici qu'une faible proportion de l'électricité (6,1 % en 2018) (OFEN 2019d). Les énergies renouvelables se sont néanmoins fortement développées (figure 78).

La progression des énergies renouvelables ne permettra vraisemblablement pas, à elle seule, de remplacer complètement l'énergie fossile et nucléaire. Aussi, la LEne prévoit également des efforts accrus en vue d'économiser l'énergie. D'ici à 2035, la consommation d'énergie finale par personne et par an devra diminuer de 43 % par rapport à la situation en 2000. Depuis 2000, on observe une baisse de la consommation d'énergie finale par personne, à laquelle ont contribué non seulement les mesures politiques et les progrès technologiques (isolation thermique, éclairage ou chauffage plus efficaces) mais aussi le remplacement des systèmes de chauffage à combustibles fossiles par des systèmes à énergies renouvelables (figure 79) (OFEN 2019e ; OFS 2020b ; Prognos, TEP, Infras 2019a+b).

7.4.3 Réductions des émissions dans l'agriculture

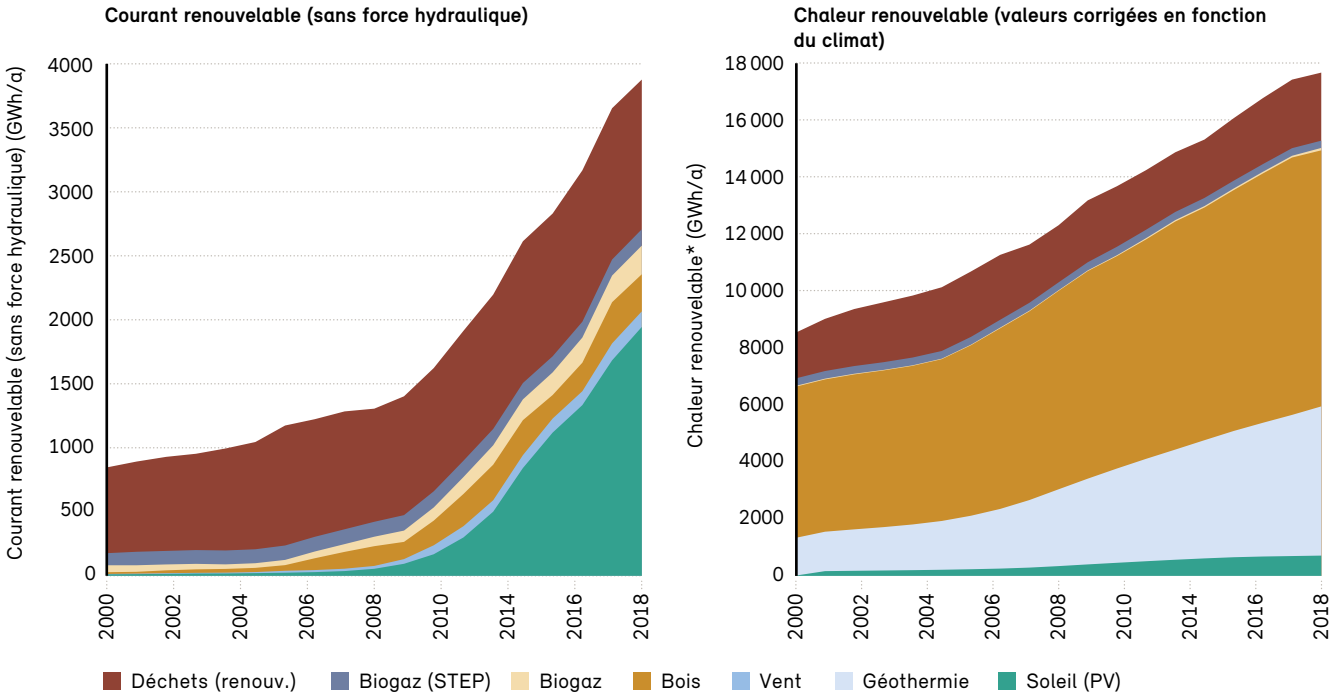
La réduction des émissions de gaz à effet de serre issues de l'agriculture est du ressort de la législation agricole. Le 12 février 2020, le Conseil fédéral a adopté le message relatif à l'évolution future de la Politique agricole à partir de 2022 (PA22+). La PA22+ vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à atténuer les effets exercés par les changements climatiques sur le secteur de l'agriculture.

La Stratégie Climat pour l'agriculture (OFAG 2011), qui porte sur un horizon à plus long terme, est établie depuis 2011. L'objectif premier de cette stratégie est une réduction des émissions d'au moins un tiers par rapport à 1990 d'ici à 2050. Différentes mesures doivent contribuer à atteindre cet objectif, notamment une augmentation de l'efficience de la production animale, une réduction des émissions générées lors du stockage et de l'épandage d'engrais et une utilisation accrue des énergies renouvelables. Le défi consiste aussi à atteindre cet objectif tout en répondant à la demande croissante

Fig. 78 : Utilisation d'énergie renouvelable par agent énergétique

Évolution de la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables (sans la force hydraulique) et de la chaleur renouvelable de 2000 à 2017 (en GWh/an).

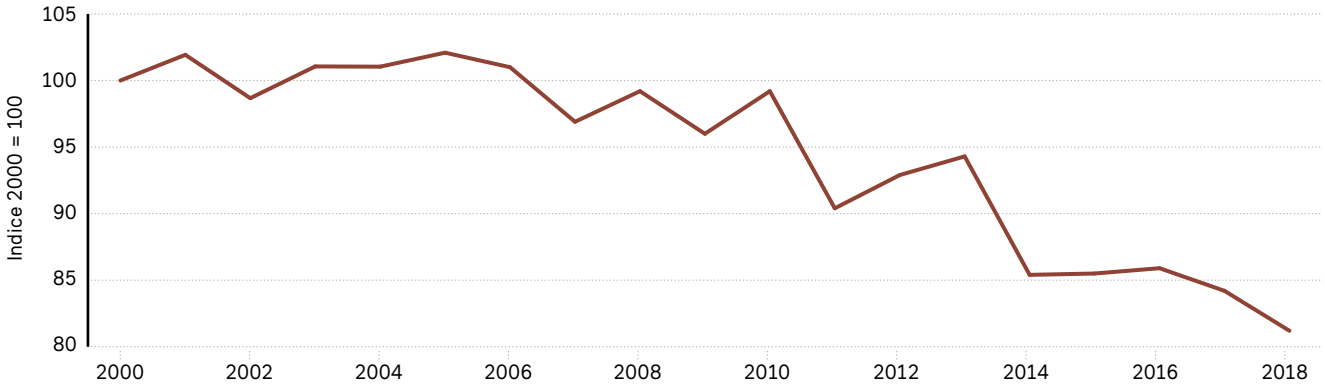
** valeurs corrigées en fonction du climat*



Source : OFEN (2019c)

Fig. 79 : Évolution de la consommation d'énergie finale par personne

Évolution de la consommation par personne et par an depuis 2000 (sans l'agriculture, le transport aérien international ni la consommation de gaz pour l'exploitation des compresseurs des gazoducs de transit). Les fluctuations importantes sont liées aux conditions météorologiques.



Sources : OFAC (2019), OFEN (2019e), OFS (2020b), Prognos, TEP, Infras (2019a)

de denrées alimentaires (OFAG 2011). Si, en plus des mesures mentionnées ci-dessus, on part du principe que les habitudes de consommation et les comportements alimentaires se modifieront, une réduction des émissions jusqu'aux deux tiers par rapport à leur niveau de 1990 pourrait être obtenue d'ici à 2050 selon la Stratégie Climat pour l'agriculture.

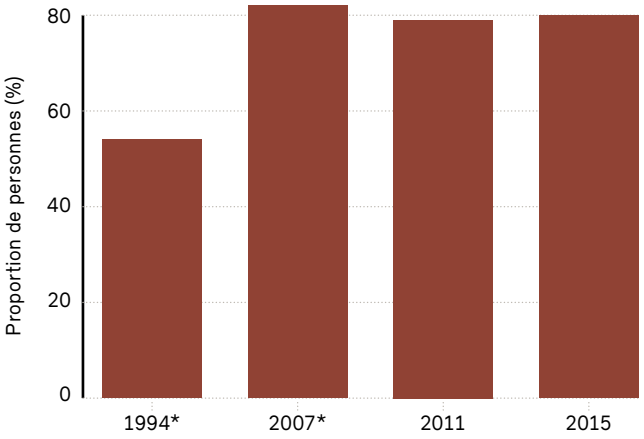
7.4.4 Modifications des comportements

Parallèlement à des mesures politiques et juridiques, des changements de comportement sont nécessaires au niveau individuel pour réduire les émissions. Adopter un comportement respectueux du climat implique toutefois souvent des inconvénients immédiats concernant des aspects qui semblent importants, notamment un allongement de la durée des trajets, des dépenses plus élevées ou, d'une manière générale, l'abandon de certaines habitudes de consommation à forte intensité énergétique (p. ex., les voyages en avion). Par contre, les conséquences positives ne se font pas sentir tout de suite et souvent seulement après un certain temps.

Ce qui rend les changements de comportement plus difficiles, c'est qu'une contribution individuelle perd de son efficacité si bon nombre d'autres personnes continuent à se comporter de manière dommageable pour le climat. Le renoncement suscite un sentiment d'injustice tant que d'autres ne sont pas prêts à changer, eux aussi, leur comportement. Les gens attachent généralement aussi plus d'importance aux conséquences à court terme de leurs actes qu'à celles à long terme. Cette priorisation tout à fait pertinente d'un point de vue évolutif est assez profondément ancrée et doit être prise en compte lorsque l'on tente d'influencer les comportements.

Il est indispensable que la gravité des changements climatiques soit reconnue pour qu'une personne soit suffisamment motivée pour contribuer à résoudre le problème. La façon dont la population perçoit les changements climatiques peut être déterminée par le biais d'enquêtes. Au cours des dix dernières années, environ 80 % des personnes interrogées ont estimé que les changements climatiques représentaient un risque « plutôt élevé » ou « très élevé » alors qu'en 1994, 54 % seulement étaient de cet avis (figure 80).

Fig. 80 : Perception des changements climatiques par la population
Proportion de personnes estimant que les changements climatiques représentent un risque « plutôt élevé » ou « très élevé ». 1994 et 2007 : résultats de l'enquête suisse sur l'environnement (Schweizer Umweltsurvey de l'EPFZ) ; 2011 et 2015 : enquête « Perception de la qualité de l'environnement et comportements environnementaux » de l'OFS.



* Une échelle à cinq degrés au lieu de quatre a été utilisée en 1994 et 2007. De ce fait, les résultats ne sont pas totalement comparables.

Sources : OFS (2011, 2015), EPFZ (1994, 2007)

Les approches les plus courantes pour encourager la population à adopter un comportement plus respectueux du climat sont l'information, l'éducation et la sensibilisation, et elles sont d'autant plus fructueuses qu'elles parviennent à établir un lien personnel avec les risques liés aux changements climatiques. Il est important d'indiquer des pistes concrètes et des contributions possibles permettant d'améliorer la situation afin d'éviter que les personnes ne se sentent impuissantes ou dépassées.

Une autre motivation importante pour changer de comportement est l'inclusion sociale. Les mesures collectives, dans lesquelles, par exemple, des groupes se fixent des objectifs qu'ils définissent ensemble et où la contribution de chacun peut même être rendue publique, sont souvent plus efficaces que des mesures qui s'adressent aux personnes individuellement. On considère souvent le comportement des autres comme étant une indication de ce qu'il est approprié et souhaitable de faire ; en d'autres termes, on se conforme souvent au comportement de la

majorité. Aussi, au lieu de se focaliser sur le nombre de personnes qui continuent à se comporter d'une manière qui porte atteinte au climat, il serait préférable de mettre en avant celles qui montrent l'exemple.

De petits gestes peuvent avoir aussi un effet d'émulation similaire à celui de mesures de protection du climat, L'objectif visé est de rendre les comportements respectueux du climat plus faciles à adopter, plus commodes, plus attrayants et moins coûteux. Ces mesures, souvent appelées « *nudging* » (ou « *nudges* », coups de pouce), rencontrent un succès croissant, car elles ont généralement un effet immédiat et indépendant de la conscience écologique des individus.

Un exemple efficace de « *nudging* » est celui dit « par défaut » *(defaults,* préréglages), qui repose sur le fait que, dans des situations où il faut faire un choix, on optera de préférence pour la variante la plus simple, qui s'impose de manière manifeste (standard). Ainsi, lorsqu'un fournisseur d'électricité propose par défaut de l'électricité verte, relativement peu de personnes décident de leur propre initiative d'opter pour une autre variante moins écologique, même si elle est moins coûteuse.

8 Adaptation aux changements climatiques

Les changements climatiques ont déjà eu de nombreux impacts en Suisse (cf. chap. 5 et 6). Ils ne pourront plus être arrêtés mais seulement limités, raison pour laquelle l'adaptation aux conséquences de ces changements revêt une importance croissante.

L'adaptation aux changements climatiques est inscrite dans la loi sur le CO_2 [44] depuis 2012. Cette dernière charge la Confédération de coordonner les mesures d'adaptation et de fournir les bases nécessaires. L'Accord de Paris souligne également l'importance de l'adaptation. Par le biais de sa stratégie « Adaptation aux changements climatiques en Suisse », le Conseil fédéral a déjà défini le cadre d'une démarche coordonnée au plan fédéral pour maîtriser les conséquences de ces changements. Cette stratégie poursuit les objectifs suivants :

- minimiser les risques liés au climat ;
- exploiter les opportunités offertes par les changements climatiques ;
- augmenter la capacité d'adaptation de la société, de l'économie et de l'environnement.

La stratégie d'adaptation se compose de deux volets : le premier volet, adopté en 2012, définit les objectifs, décrit les défis et identifie les champs d'action en vue de l'adaptation aux changements climatiques (Confédération suisse 2012). Sur cette base, deux plans d'action, l'un pour la période de 2014 à 2019 (Confédération suisse 2014) et l'autre pour la période de 2020 à 2025 (Confédération suisse 2020), ont été élaborés. Ils comportent des mesures d'adaptation concrètes concernant différents domaines : gestion des dangers naturels, protection des sols, gestion des eaux, agriculture, gestion des forêts, énergie, logement, tourisme, gestion de la biodiversité, santé et développement territorial.

Ce chapitre contient des exemples d'activités d'adaptation aux conséquences des changements climatiques. Il comporte une vue d'ensemble des activités déployées aux plans local et régional dans le cadre du plan d'action (8.1) et du programme pilote (8.2), décrit les mesures prises dans le domaine de la gestion des eaux (8.3), du développement territorial (8.4), de la gestion des dangers naturels (8.5), de l'économie forestière (8.6) et du tourisme d'hiver (8.7) et présente brièvement l'adaptation dans d'autres secteurs (8.8).

8.1 Plan d'action

Le plan d'action 2020-2025 comprend 75 mesures définies par les offices fédéraux en vue de l'adaptation aux changements climatiques, dont 63 consistent à examiner et à améliorer les conditions-cadres nécessaires pour mener à bien l'adaptation dans les différentes politiques sectorielles, améliorer le socle de connaissances au moyen de suivis et de recherches et mettre en œuvre les adaptations aux changements climatiques. Douze mesures sont de type transversal. Elles visent à améliorer le socle de connaissances et la capacité à agir grâce à la coordination, à l'information et à la sensibilisation.

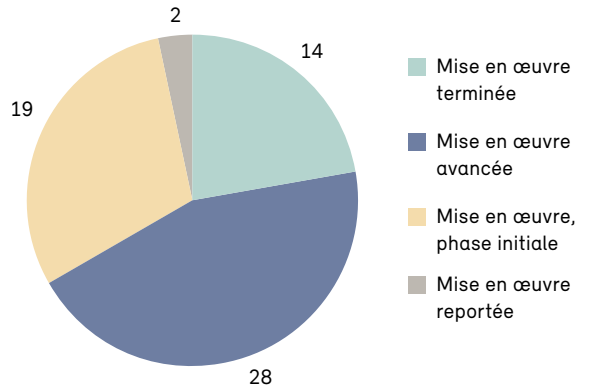
Le bilan final du plan d'action 2014-2019 est positif. Quatorze des 57 mesures ont été mises en œuvre[45], pour 28 d'entre elles la mise en œuvre est avancée[46] et 19 sont dans la phase initiale. La mise en œuvre de deux mesures a été reportée.

44 Loi sur le CO_2 (RS 641.71).

45 La figure 81 comprend 60 réponses, les réponses de tous les offices responsables ayant été prises en considération pour les mesures dn1 et dn7.

46 Comprend toutes les tâches récurrentes sur la durée

Fig. 81 : État de la mise en œuvre des mesures au plan fédéral en 2019[47]



Source : OFEV (2019h)

Une évaluation de la stratégie d'adaptation aux changements climatiques (Landis et al. 2017) aboutit à la conclusion que cette dernière a très largement contribué à l'adaptation en définissant un cadre commun permettant une démarche coordonnée des offices fédéraux concernés et des cantons. Par ailleurs, l'élaboration de cette stratégie, y compris le traitement systématique des questions déterminantes pour l'adaptation, a sensibilisé les offices fédéraux et les a incités à agir.

8.2 Programme pilote « Adaptation aux changements climatiques »

Le programme pilote soutient la mise en œuvre de la stratégie. Il encourage des projets novateurs, exemplaires et transsectoriels d'adaptation tout en sensibilisant les cantons, les villes et les communes à l'importance de l'adaptation aux changements climatiques et aux possibilités d'action existantes.

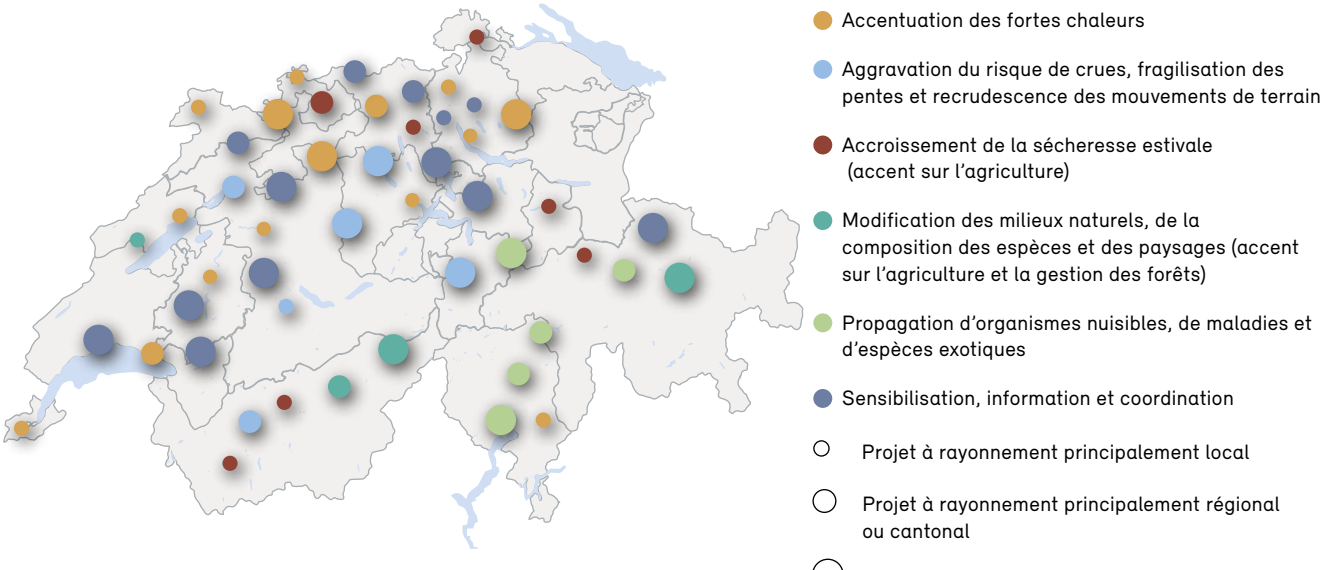
Le programme pilote constitue une activité conjointe de plusieurs offices fédéraux. Durant la première phase, de 2013 à 2017, 31 projets ont été réalisés (OFEV 2017a). Dix offices fédéraux[48] participent à la deuxième phase du programme, en cours depuis 2019, qui soutient 50 projets répartis sur l'ensemble du territoire et regroupés sous six thèmes prioritaires (figure 82).

47 La figure 81 ne comprend pas l'état de la mise en œuvre des mesures a1 à a6.

48 OFEV, ARE, OFROU, OFPP, OFEN, OFS, OSAV, OFAG, OFL et MétéoSuisse

Fig. 82 : Projets pilotes d'adaptation aux changements climatiques

Répartition géographique et thématique des 50 projets pilotes.



Source : OFEV (2019i), carte de base : swisstopo

La diversité des défis et des solutions se reflète également dans les 50 projets encouragés et les différentes approches adoptées, telles que l'efficacité des matériaux, l'expérimentation de processus de planification, la création de nouveaux réseaux et le développement d'instruments de sensibilisation et de participation. Une fois ces projets achevés, l'expérience acquise sera intégrée dans les activités d'adaptation déployées dans d'autres cantons, régions et communes[49].

8.3 Adaptation dans le secteur de la gestion des eaux

La gestion des eaux axée sur l'approvisionnement est mentionnée dans la stratégie d'adaptation aux changements climatiques du Conseil fédéral comme l'une des conditions préalables à la réalisation des objectifs formulés (Confédération suisse 2012). En adoptant le rapport « Gérer les pénuries locales d'eau en Suisse » (OFEV 2012c), le Conseil fédéral a décidé de prendre des mesures en matière de gestion des ressources en eau. Ces mesures devraient permettre de gérer intégralement les situations de pénurie à court et à long termes. L'OFEV a élaboré différents documents[50] destinés à gérer les problèmes de pénurie d'eau. Ces bases pratiques aident les cantons dans leur gestion intégrée des eaux. Une planification régionale prospective des ressources hydriques permet aux cantons d'identifier et d'appréhender les problèmes à un stade précoce et d'éviter les conflits d'utilisation.

Les stratégies cantonales en matière d'eau, la gestion régionale des ressources hydriques et la planification de l'approvisionnement en eau sont des éléments essentiels pour une gestion durable de l'eau (OFEV et al. 2019). Dix cantons disposent déjà de stratégies cantonales de l'eau, quatre en élaborent une actuellement et deux cantons en planifient une (OFEV et al. 2019).

La renaturation des cours d'eau est, dans bon nombre de cas, une mesure appropriée pour réduire les effets négatifs sur le régime des températures des cours d'eau. Les fosses profondes et les cours d'eau sans seuils élevés permettent aux poissons de se retirer dans des eaux profondes fraîches ou de migrer vers l'amont. Les rives boisées ont un impact favorable sur la température des cours d'eau ; elles sont très importantes pour les organismes aquatiques tributaires d'eaux froides. Des buissons ou des cordons boisés ne créent pas seulement des structures diversifiées et essentielles sur le plan écologique ; leur ombrage réduit également le réchauffement des eaux (Rutherford et al. 2004, Maison de la Rivière 2012, Bowler et al. 2012).

8.4 Adaptation dans le secteur du développement territorial

Les mesures d'aménagement du territoire sont également capitales pour l'adaptation aux changements climatiques. L'Office fédéral du développement territorial (ARE), met principalement l'accent sur l'élaboration de données de référence pour les planificateurs, l'extension et l'adaptation de ses propres instruments d'aménagement du territoire, l'encouragement de projets pilotes innovants et la sensibilisation à des questions telles que le développement urbain adapté au climat et l'aménagement du territoire basé sur les risques. L'effet d'îlot de chaleur doit être réduit en utilisant les possibilités offertes par l'aménagement du territoire[51]. Les espaces verts et non contruits permettent une meilleure circulation de l'air et contribuent ainsi à améliorer la qualité de l'air.

Un projet mené à Sion dans le cadre du programme pilote « Adaptation aux changements climatiques » (cf. 8.2) illustre la manière dont des options en matière d'aménagement du territoire permettent de lutter contre les vagues de chaleur. Sion a été la ville suisse ayant connu la plus forte hausse des températures au cours des dernières décennies. Ce n'est donc pas un hasard si c'est dans cette ville qu'est né le projet de développement urbain adap-

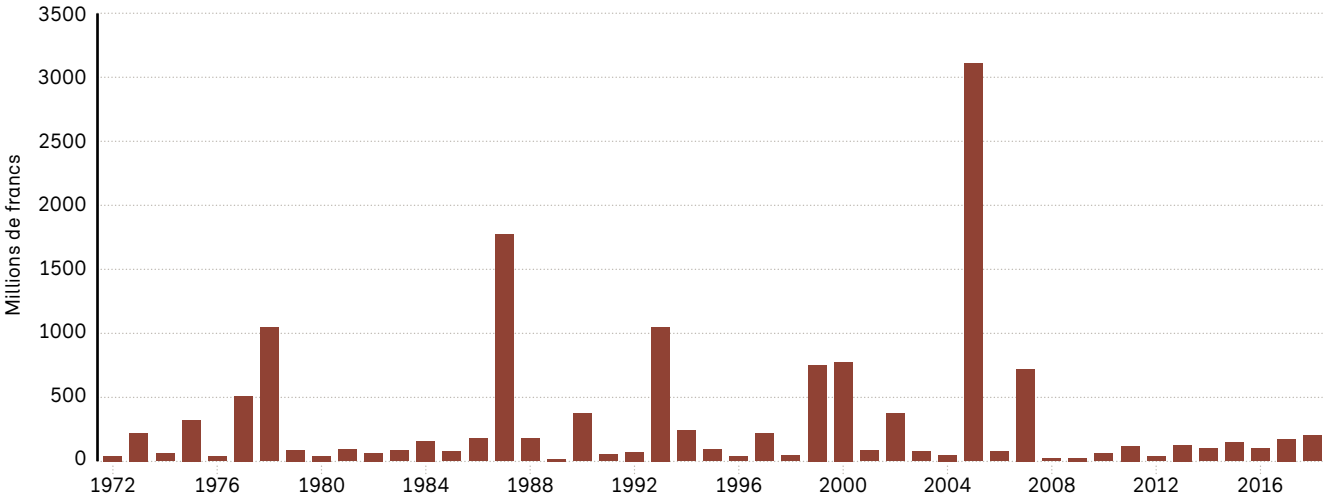
49 Pour de plus amples informations cf. *www.nccs.admin.ch/programme-pilote*

50 P. ex. bases pour l'approvisionnement en eau en 2025 (OFEV 2014a) ; gestion des ressources en eau : des instruments pour l'identification précoce des problèmes de pénurie d'eau (cartes indiquant les zones de pénurie) (Chaix et al. 2016) ; mesures visant à garantir les ressources en eau à long terme (Wehse et al. 2017) ; boîte à outils pour maîtriser les situations de pénurie d'eau à court terme (Zahner & Guhl 2017)

51 Pour de plus amples informations : OFEV et ARE 2018 : Quand la ville surchauffe. Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques. Office fédéral de l'environnement, Berne. *https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/publications-etudes/publications/quand-la-ville-surchauffe.html*

Fig. 83 : Coûts des dommages provoqués par les événements naturels

Montants annuels des dommages (corrigés de l'inflation, base 2018) induits par les crues, les laves torrentielles, les glissements de terrain ainsi que les éboulements et les chutes de pierres de 1972 à 2018.



Source : WSL (2019b)

té au climat au nom évocateur d'ACCLIMATASION. Différentes mesures ont été mises en œuvre pour prévenir la formation d'îlots de chaleur, réduire l'impact négatif sur les milieux naturels et améliorer la qualité de vie de la population : un biotope rafraîchissant a été créé aux abords d'une école avec la participation des élèves ; une toiture végétalisée, adaptée aux conditions locales, a été implantée sur une habitation privée pour favoriser la biodiversité : une zone de parking au centre-ville a été supprimée et réaménagée en une place attrayante. Le plus grand projet réalisé à Sion a toutefois été le réaménagement du Cours Roger Bonvin, long d'un kilomètre, qui invite aussi à s'attarder à l'ombre des plantations les journées tropicales afin de profiter de la fraîcheur des plans d'eau et des multiples possibilités d'activités sportives et de détente.

Divers projets de la deuxième phase du programme pilote de la Confédération concernent également le développement territorial. Celui de la Ville de Zurich, intitulé « Optimiser les bâtiments en zone urbaine », examine la manière dont elle pourrait, dans le cadre de ses propres projets de nouvelles constructions, déjà avoir un impact sur le climat urbain local au stade des concours d'architecture et du processus de planification. Des critères relatifs au climat urbain devront être intégrés dans le cahier des charges des concours et utilisés pour le développement de projets futurs. Le projet « L'arbre et la nature en ville », mené dans le cadre du plan directeur du canton du Jura, élabore un concept pour la préservation, l'entretien et le développement de la nature dans la ville de Porrentruy. Un recensement des peuplements sera réalisé afin de définir les objectifs et d'identifier les espaces publics qui devraient être améliorés du point de vue de leur biodiversité et en fonction de leur importance climatique locale.

8.5 Adaptation aux événements naturels extrêmes

L'évolution des coûts liés aux événements naturels peut être utilisée comme indicateur de l'efficacité des mesures de protection prises. Si l'on excepte les crues d'août 2005, qui ont été l'événement naturel le plus coûteux en Suisse à ce jour, on n'observe aucune augmentation du montant des dommages causés par les événements extrêmes (figure 83). Le coût des dommages liés aux intempéries s'est élevé à environ à 14,3 milliards de francs entre 1972 et 2017. L'augmentation constatée du coût annuel des dommages depuis 1970 est toutefois loin d'être en corrélation avec l'accroissement de la population, des zones

bâties et de la densité des biens matériels. Cette situation réjouissante est, dans une large mesure, imputable à l'efficacité des mesures de protection prises (OFEV, WSL 2007).

Afin d'améliorer la gestion des dangers naturels et de réduire ainsi les dommages découlant des événements naturels, la Confédération suit une approche de gestion intégrée des risques (GIR) qui orientera également la stratégie nationale actualisée contre les dangers naturels[52]. Cette dernière tient compte de conditions-cadres, telles que l'augmentation des événements météorologiques extrêmes induits par les changements climatiques (fortes précipitations, vagues de chaleur, etc.) ou l'utilisation accrue d'espaces exposés aux risques, de même que des nouveaux scénarios climatiques (CH2018 2018).

Un impératif de la GIR est que les plans de protection soient robustes et conçus de façon à pouvoir être adaptés, et qu'ils tiennent compte du cas de surcharge afin que les mesures de protection restent fonctionnelles même lorsque les processus se modifient en raison des changements climatiques (p. ex. l'intensité des précipitations, le débit d'eau, la charge en eau, les matériaux charriés, le bois flottant). La modification en cours de la loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau (LACE, RS 721.100) ancrera notamment les principes de l'utilisation du territoire axée sur les risques et l'encouragement de toutes les mesures visant une GIR.

Les mesures concernant le secteur des risques naturels mentionnées dans le plan d'action « Adaptation aux changements climatiques » sont également en ligne avec une GIR (Confédération suisse 2014). La surveillance continue des processus et événements dangereux est la démarche fondamentale adoptée dans tous les domaines de la prévention des risques ainsi que dans les secteurs touchés par les dangers naturels (agriculture, transports, énergie, etc.).

Les changements climatiques représentent un défi majeur pour la protection de la population, dont les tâches principales sont la préparation aux événements et l'intervention en cas de catastrophes et de situations d'urgence. Les risques éventuels doivent être anticipés à un stade précoce. Les responsables de la prévention des catastrophes aux différents niveaux de la Confédération, des cantons et des communes utilisent à cette fin des analyses des risques.

Ces dernières années, vingt cantons ont effectué de telles analyses dans le cadre du programme KATAPLAN en tenant compte également de l'influence des changements climatiques. Certains cantons procèdent aussi à ces analyses sous une forme simplifiée au niveau des communes. La même méthodologie est utilisée à l'échelon fédéral dans le contexte de l'analyse nationale des risques liés aux catastrophes et aux situations d'urgence en Suisse.

Le bon fonctionnement de l'information, de l'alerte et de la transmission de l'alarme à la population revêt une importance capitale au vu de l'augmentation des risques. La population est informée et alertée, si nécessaire, par le biais du portail des dangers naturels et de l'application de MétéoSuisse. L'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) exploite en outre, conjointement avec ses partenaires, la plateforme nationale « Alertswiss », qui existe également sous forme d'application pour smartphones. Par ce biais, les cantons alertent la population et diffusent des avertissements et des informations sur les catastrophes et les situations d'urgence.

Le lien entre les fortes précipitations et les interventions de Schutz & Rettung Zürich (SRZ) a été analysé dans le cadre du NCCS. L'analyse montre qu'il existe une corrélation claire entre les précipitations et le nombre d'interventions de ce service. Elle a néanmoins aussi souligné que, dans un avenir proche (20 ans), l'évolution démographique et le développement de l'urbanisation constitueront un défi plus grand que les changements climatiques pour le SRZ. Les effets des changements climatiques devraient néanmoins gagner en importance dans la seconde moitié du siècle[53].

52 Pour de plus amples informations : *www.planat.ch/fileadmin/PLANAT/Strategie2018/Strategie_fr.pdf.*

53 Pour de plus amples informations cf. : *https://www.babs.admin.ch/fr/publikservice/downloads/gefrisiken.html#ui-collapse-617* et *www.nccs.admin.ch/https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/le-nccs/themes-prioritaires/protection-de-la-population*

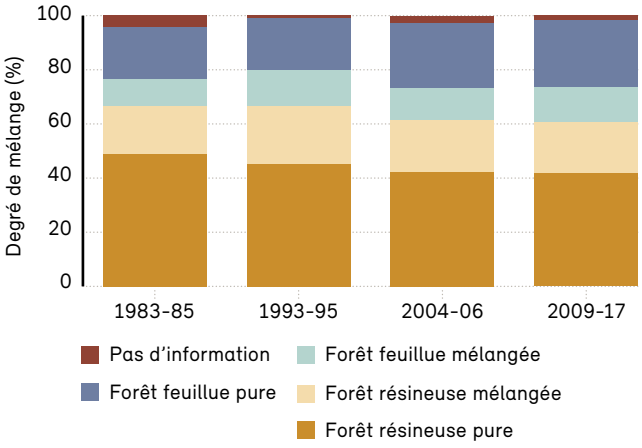
8.6 Gestion des forêts adaptée au climat

Entre 2009 et 2018, l'OFEV et le WSL ont mené un programme de recherche sur les forêts et les changements climatiques et obtenu ainsi des données stationnelles pour la gestion des forêts (Plüss et al. 2016). Les résultats du programme de recherche ont été discutés avec de nombreux experts forestiers, et leurs commentaires ont été intégrés dans la modélisation du développement des essences sous différentes conditions climatiques (Frehner et al. 2018).

Une forêt mixte proche de l'état naturel comportant une forte proportion de feuillus indigènes est mieux adaptée aux températures élevées et à la sécheresse que les forêts mixtes ou uniquement composées de résineux. Une évaluation des quatre inventaires forestiers nationaux (IFN)[54] montre que la proportion de forêts mixtes et de forêts uniquement composées de feuillus augmente en Suisse et que la proportion de forêts uniquement composées de résineux diminue (figure 84). Cette évolution reflète le fait que les critères écologiques sont davantage pris en compte dans la gestion des forêts (régression vers des mélanges d'essences plus ou moins proches de l'état naturel sur le Plateau). La tendance vers une augmentation de la proportion de feuillus sur le Plateau devrait vraisemblablement se poursuivre (Frehner et al. 2018).

Fig. 84 : Surface forestière selon le degré de mélange

Proportion de forêts de feuillus et de résineux, en % de la surface forestière, dans les quatre inventaires forestiers nationaux (IFN) 1983-1985, 1993-1995, 2004-2006 et 2009-2017.



Source : Abegg et al. (2014)

La sylviculture devra à l'avenir davantage tenir compte des modifications du climat. En plus des incertitudes concernant le développement des forêts, les risques d'incendie de forêt augmentent et la probabilité d'épisodes de vents violents, voire de tempêtes, s'accroît. Les premières mesures d'adaptation, dont quelques exemples sont présentés ci-après, sont mises en œuvre dans différentes régions du pays.

- La question de l'adaptation des forêts aux changements climatiques est abordée partout dans les services forestiers cantonaux et les exploitations forestières. Dans les exploitations forestières de la ville de Baden, par exemple, les chênes sont privilégiés et la proportion d'arbres menacés, principalement des épicéas, est réduite. On crée ainsi des forêts comportant des espèces indigènes adaptées à la station (Ville de Baden 2005).
- En Valais, les étés chauds et secs affaiblissent les pins et entraînent une mortalité accrue, surtout à des altitudes inférieures à 1200 m. L'élimination des pins infestés par des insectes et des champignons ou l'éclaircissage n'ont qu'une influence minime sur ce phénomène. Le chêne pubescent, une essence indigène habituée à la sécheresse, est plus adapté à ce type de station. Comme il n'est plus présent partout, il devrait être activement favorisé par les services forestiers afin que la forêt soit préservée et puisse continuer à remplir sa fonction de protection (Wohlgemuth 2006).

54 Les quatre inventaires forestiers nationaux reflètent l'état entre 1983 et 1985 (IFN1), 1993 et 1995 (IFN2), 2004 et 2006 (IFN3) et 2009 à 2017 (IFN4). Depuis 2009, les résultats peuvent être consultés chaque année sur Internet.

8.7 Adaptation dans le secteur du tourisme d'hiver

L'enneigement technique est de plus en plus utilisé sur de nombreux domaines skiables pour prolonger la saison et maintenir l'exploitation des pistes à plus faible altitude (WSL 2019a). Alors qu'en 1990, seuls 2,3 km² de pistes de ski (1,3 %) disposaient d'une installation d'enneigement, ce chiffre est passé à 88,2 km² en 2017, ce qui représente près de la moitié de la surface des pistes (figure 85). Cependant, d'autres facteurs expliquent également l'utilisation de neige artificielle, notamment la garantie de disposer de pistes de haute qualité.

La neige artificielle n'est pas une alternative durable ni une solution pérenne tant qu'elle nécessitera des températures de l'air proches de 0 °C (WSL 2019a). Elle requiert également de l'énergie et de l'eau, d'où des conflits d'intérêts possibles lorsque les ressources en eau se raréfient (cf. 8.3). De plus, certaines stations de ski ont tendance à étendre leur domaine skiable à des altitudes plus élevées, ce qui peut avoir un impact négatif sur le paysage ou la biodiversité (Abegg et al. 2007).

Des perspectives d'adaptation sont également offertes par la diversification de l'offre proposée par les stations de sports d'hiver. L'accent devra ainsi être mis sur des offres axées sur le tourisme d'été ou sur les personnes qui ne font pas de ski. En Suisse, les revenus des transports (téléphériques, funiculaires, télésièges, etc.) ont doublé depuis 2008 durant la saison d'été, alors qu'ils ont diminué de 20 % en hiver (RMS 2018b).

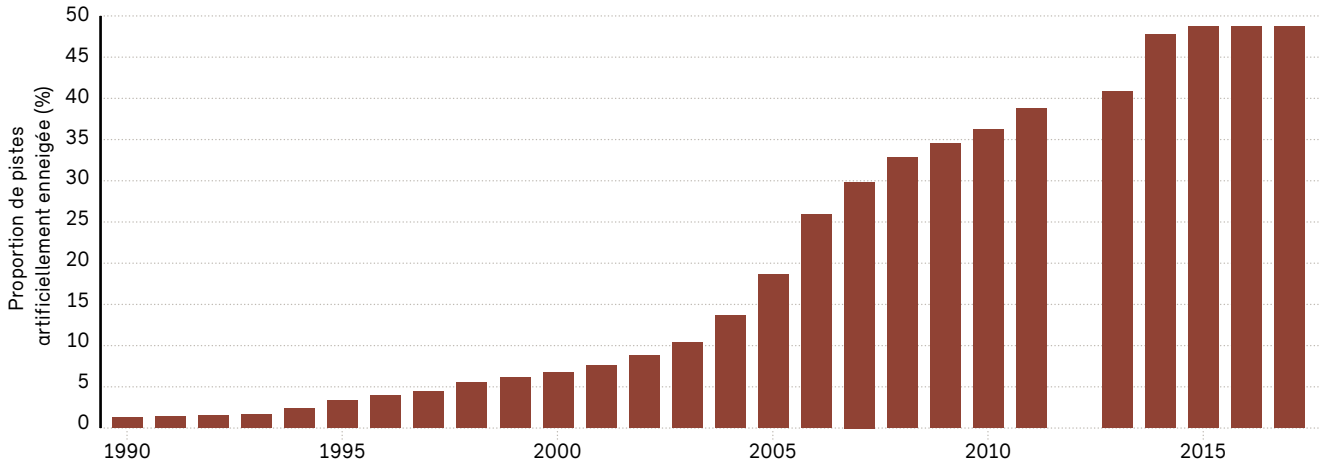
8.8 Adaptation dans d'autres secteurs

La Confédération met également en œuvre des mesures d'adaptation dans d'autres domaines touchés par les changements climatiques (cf. chap. 5 et 6).

Santé : l'OFSP soutient l'adaptation par le biais d'informations et de recommandations en cas de vagues de chaleur. Tous les cantons de Suisse occidentale à l'exception du canton du Jura, ainsi que le canton du Tessin, ont élaboré depuis 2003 des plans de mesures visant à protéger la population en cas de canicule. Des analyses statistiques indiquent que ces plans contribuent à prévenir des décès dus à la chaleur (Ragettli et Röösli 2019, OFEV et al. 2019). Par ailleurs, la propagation du moustique tigre

Fig. 85 : Proportion de pistes disposant d'installations d'enneigement

Proportion de pistes pouvant être enneigées artificiellement, en % de la surface totale des pistes recensées (100 % = 180 km²), de 1990 à 2017 (pas de données disponibles pour 2012). L'échantillon porte sur 63 domaines skiables et couvre 80 % de l'ensemble de la surface de pistes en Suisse (225 km² au total).



Source : RMS (2018a)

(cf. 6.1.4) est surveillée en permanence dans de nombreux cantons, et les maladies infectieuses transmises par un vecteur doivent être notifiées, ce qui permet, si nécessaire, de prendre rapidement des mesures de lutte ciblées. Au vu de l'augmentation de cas de FSME et de borréliose (cf. 6.1.3), l'OFSP a déclaré en 2019 que toute la Suisse, à l'exception les cantons de Genève et du Tessin, était une zone à risque (OFSP 2019b). Un vaccin contre la FSME est donc recommandé dans pratiquement toute la Suisse pour les personnes qui pourraient être en contact avec des tiques dans le cadre de leur activité professionnelle ou de leurs loisirs. On dispose, en Suisse, d'un vaccin efficace contre le virus FSME mais il n'existe pas de vaccin contre la borréliose.

Biodiversité : l'adaptation des animaux et des plantes dépend de leur capacité d'adaptation naturelle et des actions entreprises. Parmi les mesures possibles en vue d'encourager l'adaptation, on peut citer la création et la conservation d'aires protégées et la mise en réseau des milieux naturels (Köllner et al. 2017). Le Conseil fédéral a adopté la Stratégie Biodiversité Suisse en 2012 et le plan d'action correspondant en 2017[55]. Ce dernier contient des mesures visant à préserver la biodiversité et à accroître sa capacité d'adaptation.

Énergie : dans le cadre du plan d'action « Adaptation aux changements climatiques », l'OFEN suit l'évolution de la demande en énergie de chauffage et de refroidissement et est en contact avec le secteur de l'énergie afin d'assurer la sécurité d'approvisionnement.

Agriculture : l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) soutient l'adaptation du secteur agricole par le biais de recherches portant sur des variétés et une exploitation adaptées au site ainsi que de mesures de sensibilisation. En prenant des mesures prospectives en matière d'adaptation, il est possible de tirer parti des opportunités offertes et d'atténuer les impacts négatifs sur les rendements et l'environnement.

Effets indirects : selon ses sphères d'influence, la Suisse peut gérer de différentes manières les risques et les opportunités découlant des changements climatiques à l'étranger. Le secteur privé dispose de leviers pour réagir en diversifiant les chaînes d'approvisionnement et les marchés ou en collaborant avec les fournisseurs pour renforcer la résilience. Par ailleurs, les risques climatiques doivent être intégrés dans les processus d'acquisition. Une certaine diversification est possible pour les produits de gros utilisés par l'industrie alimentaire. S'agissant de l'approvisionnement énergétique, des stocks obligatoires de combustibles fossiles comme le pétrole doivent être constitués. Pour le gaz naturel, plusieurs gazoducs et différents raccordements aux installations de stockage permettent de répartir le risque. En ce qui concerne l'électricité, la capacité marginale élevée permet d'amortir les interruptions liées au climat. Dans les secteurs de la finance et des assurances, les risques climatiques sont aujourd'hui déjà partiellement pris en compte mais cet aspect peut et doit être développé davantage. La coopération au développement, l'aide humanitaire et la diplomatie de la Suisse sont sollicitées afin de renforcer la sécurité dans les États fragiles. La politique du marché du travail de la Suisse jouera un rôle déterminant en cas de migration pour des motifs économiques. La problématique transversale des changements climatiques a déjà été intégrée dans les activités de la coopération au développement.

55 *www.bafu.admin.ch/strategie-biodiversite*

9 Conclusion

Le présent rapport décrit, à l'aide de nombreux indicateurs, l'évolution du climat, les causes et les effets des changements climatiques en Suisse ainsi que les mesures d'adaptation à ces changements et de réduction des émissions mises en œuvre. Les informations scientifiques qu'il contient sur le climat passé, actuel et futur et sur les effets de ce dernier sur l'environnement, l'économie et la société sont sans cesse améliorées, ce qui en fait une base importante pour la planification et la mise en œuvre de mesures.

Des données robustes et détaillées sont disponibles pour de nombreux domaines présentés dans ce rapport. L'évolution des émissions intérieures de gaz à effet de serre s'appuie sur l'inventaire national des gaz à effet de serre établi par l'OFEV, une base de données structurée de manière systématique et couvrant une période relativement longue. Des données météorologiques, climatologiques et hydrologiques de haute qualité sont également disponibles sur une longue période. MétéoSuisse exploite depuis plus de 150 ans un réseau de mesures dense, qui sert de base aux analyses climatiques. Des séries de mesures sur le long terme concernant les conséquences des changements climatiques sur l'environnement naturel sont analysées, notamment l'évolution de la température des lacs et des cours d'eau, les modifications des glaciers et la phénologie des plantes.

Le rapport met également en évidence les lacunes en matière d'observation des changements climatiques en Suisse. Dans certains domaines, les données sont insuffisantes ou les incertitudes encore importantes. C'est le cas, notamment pour des événements à petite ou très petite échelle, ou rares, comme les orages ou la grêle. Les informations climatiques sur l'occurrence d'événements de ce type sont constamment étoffées. Les scénarios climatiques sont également mis à jour et améliorés périodiquement. Ainsi, les trajectoires d'émission les plus récentes préconisées par le GIEC sont prises en compte, et les nouvelles connaissances et possibilités de calcul intégrées dans les modèles climatiques. On espère ainsi pouvoir mieux évaluer l'évolution future des phénomènes à petite échelle afin qu'ils puissent faire l'objet de mesures d'adaptation.

S'agissant de certains aspects de l'impact des changements climatiques sur l'environnement naturel, notamment les effets sur les sols et la faune, le recensement quantitatif de l'évolution constatée en est encore à ses débuts. Les effets sur la société sont aussi souvent difficiles à déceler et à quantifier avec précision. Ainsi, en ce qui concerne le moustique tigre, il est encore difficile d'évaluer quelle est l'importance des changements climatiques sur sa propagation au regard d'autres facteurs d'influence. Les estimations des coûts économiques des changements climatiques sont entachées d'une grande incertitude. Si l'impact des mesures prises pour réduire les émissions peut être facilement vérifié et évalué de manière systématique, l'évaluation de l'efficacité des mesures d'adaptation s'avère plus difficile, notamment aussi parce que les projets ont souvent été mis en œuvre relativement récemment alors que les mesures sont conçues pour avoir un impact sur le long terme. L'OFEV travaille actuellement sur un catalogue d'indicateurs d'adaptation qui permettront vraisemblablement d'étoffer les informations dans la prochaine édition de ce rapport.

Malgré certaines lacunes constatées, ce rapport présente une vue d'ensemble quantitative très large des changements climatiques, de leurs causes et des mesures mises en œuvre en Suisse. Il permet d'évaluer les actions nécessaires et d'identifier les domaines particulièrement vulnérables. Ces informations étant pertinentes pour bon nombre d'acteurs des milieux politiques et économiques, de la recherche et de la société, il est prévu de mettre à jour et de compléter régulièrement cette publication en tenant compte des données et des connaissances les plus récentes. Dans l'intervalle, l'évolution de certains indicateurs pourra être suivie sur les sites Internet de l'OFEV[56], de MétéoSuisse[57] et du NCCS[58].

56 *https://www.bafu.admin.ch/indicateurs*

57 *https://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/le-climat-suisse-en-detail/indicateurs-de-climat.html*

58 *www.nccs.ch*

10 Liste des abréviations

AEE	Agence européenne pour l'environnement
AIE	Agence internationale de l'énergie
ARE	Office fédéral du développement territorial
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CFC	Fluorochlorocarbures
CH_4	Méthane
CIPEL	Commission internationale pour la protection des eaux du Léman
CMSC	Cadre mondial des services climatologiques
CO_2	Dioxyde de carbone
DEFR	Département fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
ECDC	Centre européen de prévention et de contrôle des maladies
EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne
EPFZ	École polytechnique fédérale de Zurich
éq.-CO_2	Équivalent de dioxyde de carbone (équivalent CO_2)
FSME	Méningo-encéphalite à tiques
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIR	Gestion intégrée des risques
H_2O	Vapeur d'eau
HFC	Hydrofluorocarbures
IFN	Inventaire forestier national
LEne	Loi sur l'énergie
MBD	Monitoring de la biodiversité
N_2O	Protoxyde d'azote (monoxyde de diazote, gaz hilarant)
NAQUA	Observation nationale des eaux souterraines
NCCS	National Center for Climate Services (Centre national de services climatologiques)
NF_3	Trifluorure d'azote
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OFAC	Office fédéral de l'aviation civile
OFAG	Office fédéral de l'agriculture
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFL	Office fédéral du logement
OFPP	Office fédéral de la protection de la population
OFROU	Office fédéral des routes
OFS	Office fédéral de la statistique
OFSP	Office fédéral de la santé publique
OMM	Organisation météorologique mondiale
ONU	Organisation des Nations Unies
OSAV	Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires
PFC	Perfluorocarbures (hydrocarbures perfluorés)
PIB	Produit intérieur brut
RMS	Remontées mécaniques suisses
SBI®	Swiss Bird Index
SECO	Secrétariat d'État à l'économie
SEQE	Système d'échange de quotas d'émission
SF_6	Hexafluorure de soufre
SIF	Secrétariat d'État aux questions financières nationales
SPEI	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
SRZ	Schutz & Rettung Zürich
Swiss TPH	Swiss Tropical and Public Health Institute
UE	Union européenne
USP	Union suisse des paysans
WSL	Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage

11 Bibliographie

2° Investing Initiative, Wüest Partner 2020 : Bridging the gap : Measuring climate goal alignment and climate actions of Swiss financial institutions (en anglais avec résumé en allemand et en français). Sur mandat de l'OFEV

Abegg B., Agrawala S., Crick F., de Montfalcon, A. 2007 : Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In Agrawala, A. (Ed.), Climate Change in the European Alps. Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, p. 25-60

Abegg M., Brändli U.-B., Cioldi F., Fischer C., Herold-Bonardi A., Huber M., Keller M., Meile R., Rösler E., Speich S., Traub B., Vidondo B. 2014 : Inventaire forestier national – Tableau n° 123807 : surface forestière. Birmensdorf, Institut de recherches forestières WSL. *https://www.lfi.ch/resultate/resultate-fr.php?prodNr=32&prodItNr=123807&lang=fr*

Académies suisses des sciences 2016a : Ozone et smog estival : les changements climatiques menacent les succès d'aujourd'hui. Swiss Academies Factsheets, 11(5), 1-6

Académies suisses des sciences 2016b : Coup de projecteur sur le climat suisse. État des lieux et perspectives. Swiss Academies Reports 11 (5)

AEE 2019 : Trends and projections in Europe 2019. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets. Agence européenne pour l'environnement. EEA Report N° 15/2019

AIE 2017 : Energy Technology Perspectives 2017. Paris.

AIE 2019 : CO_2 Emissions from Fuel Combustion Highlights 2019, Paris.

Anneville O., Souissi S., Ibanez F., Druart J.-C., Angeli N. 2002 : Temporal mapping of phytoplankton assemblages in Lake Geneva: annual and interannual changes in their patterns of succession. Limnol. Oceanogr. 47(5) : 1355-1366

Atlas web CH2018 2018 : Atlas en ligne des scénarios climatiques pour la Suisse CH2018, éd. NCCS. 2018. *https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/bibliotheque-de-donnees-et-de-medias/daten/atlas-web-ch2018.html* [état : 25.07.2019]

Barbet-Massin M., Thuiller W., Jiguet F. 2012 : The fate of European breeding birds under climate, land-use and dispersal scenarios. Glob. Change Biol. 18 : 881-890

Begert M, Frei C. 2018. Long-term area-mean temperature series for Switzerland – Combining homogenized station data and high resolution grid data. International Journal of Climatology, 38: 2792-2807. *https://doi.org/10.1002/joc.5460*

Begert M., Stöckli R., Croci-Maspoli M. 2018 : Klimaentwicklung in der Schweiz – Vorindustrielle Referenzperiode und Veränderung seit 1864 auf Basis der Temperaturmessung (en allemand). Rapport technique de MétéoSuisse, 274, 23 p.

Begert M., Schlegel T., Kirchhofer W. 2005 : Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. Int. J. Climatol., 25, 65-80

Bernet D.B., Sturny R.A., Berger C., Kipfer A., Prasuhn V., Staub B., Stoll S., Thomi L. 2018 : Werkzeuge zum Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr – eine Entscheidungshilfe. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, n° 42, Berne, 95 p.

Bigler C., Bräker O. U., Bugmann H., Dobbertin M., Rigling A. 2006 : Drought as an Inciting Mortality Factor in Scots Pine Stands of the Valais, Switzerland, Ecosystems, 9 : 330. *https://doi.org/10.1007/s10021-005-0126-2*

Bowler D. E., Mant R., Orr H., Hannah D. M., Pullin A. S. 2012 : What are the effects of wooded riparian zones on stream temperature? Environmental Evidence 1, p. 9

Braun S., Hopf S., de Witte L. 2018 : Wie geht es unserem Wald? 34 Jahre Walddauerbeobachtung. IAP, Schönenbuch.

Braun S., Remund J., Rihm B. 2015 : Indikatoren zur Schätzung des Trockenheitsrisikos in Buchen- und Fichtenwäldern. Schweiz. Zeitschr. Forstwes. 166 : 361-371

CCNUCC 2014 : Révision des directives FCCC pour la notification des inventaires annuels des Parties visées à l'annexe I de la Convention. Décision 24/CP.19 (FCCC/CP/2013/10/Add.3)

CH2018 2018 : CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, rapport technique, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 p.

Chaix O., Wehse H., Gander Y., Zahner S. 2016 : Identifier les régions où des actions s'imposent en cas de sécheresse. Gérer les pénuries locales d'eau en Suisse. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement. Berne.

Chitimia-Dobler L., Schaper S., Rieß R. Bitterwolf K., Frangoulidis D., Bestehorn M., Springer A., Oehme R., Drehmann M., Lindau A., Mackenstedt U., Strube Ch., Dobler G. 2019 : Imported Hyalomma ticks in Germany in 2018. Parasites & Vectors 12 : 134, doi: 10.1186/s13071-019-3380-4

CIPEL 2018a : Température moyenne annuelle de la couche 0-10m et du fond du lac Léman. *cipel.comoe.fr/pages/principale/principale.aspx?ressource=lot de données12237240921413456662* [état : 07.05.2019]

CIPEL 2018b : Suivi du Phytoplancton du Léman. Données fournies par le CIPEL

Confédération suisse 2012 : Adaptation aux changements climatiques en Suisse. Objectifs, défis et champs d'action. Berne, 64 p.

Confédération suisse 2014 : Adaptation aux changements climatiques en Suisse. Plan d'action 2014-2019. 2019. Berne, 100 p.

Confédération suisse 2017 : Stratégie touristique de la Confédération. Berne, 15 novembre 2017. *https://www.seco.admin.ch/seco/fr/home/seco/nsb-news.msg-id-68814.html* [état : 2.10.2019]

Confédération suisse 2020 : Adaptation aux changements climatiques en Suisse. Plan d'action 2020-2025. Berne, 166 p.

Delaloye R., Lambiel C., Gärtner-Roer I. 2010 : Overview of rock glacier kinematics research in the Swiss Alps: seasonal rhythm, interannual variations and trends over several decades. Geographica Helvetica 65: 135-145

Dobbertin M. 2005 : Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. Eur J For Res 124: 319-333

ECDC 2019 : Centre européen de prévention et de contrôle des maladies et Autorité européenne de sécurité des aliments. Tick maps. *https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/tick-maps* [état : 14.06.2019]

EPFL 2017 : Assessing the impacts of climate change for Switzerland. École polytechnique fédérale de Lausanne. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, Berne

EPFZ 1994, 2007 : Der Schweizer Umweltsurvey (enquête en allemand). *www.socio.ethz.ch/forschung/umweltsurvey.html* [état : 29.05.2019]

Etzold S., Wunder J., Braun S., Rohner B., Bigler C., Abegg M., Rigling A. 2016 : Mortalität von Waldbäumen: Ursachen und Trends. In : Plüss, A.R., Augustin, S., Brang, P. (Red.) 2016. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Office fédéral de l'environnement, Berne ; Institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf; Haupt, Berne Stuttgart, Vienne. 447 p.

Farinotti D., Huss M., Fürst J. J., Landmann J., Machguth H., Maussion F., Pandit A. 2019 : A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth. Nature Geoscience, 12(3), 168

Fischer M., Spehn E. 2016 : La biodiversité et les services écosystémiques. In : Académies suisses des sciences. Coup de projecteur sur le climat suisse. État des lieux et perspectives. Swiss Academies Reports 11(5)

Flacio E., Engeler, L., Tonolla M., Müller P. 2016 : Spread and establishment of Aedes albopictus in southern Switzerland between 2003 and 2014: an analysis of oviposition data and weather conditions. Parasites & Vectors 9:304, doi: 10.1186/s13071-016-1577-3

Flacio E., Lüthy P., Patocchi N., Guidotti F., Tonolla M., Peduzzi R. 2004 : Primo ritrovamento di Aedes albopictus in Svizzera. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali 92 :141-142

Frehner M., Brang P., Kaufmann G., Küchli C. 2018 : Standortkundliche Grundlagen für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel, WSL Ber. 66 : 43 p.

Frischknecht R., Nathani C., Alig M., Stolz P., Tschümperlin L., Hellmüller P. 2018 : Empreintes environnementales de la Suisse. De 1996 à 2015 (en allemand avec résumé en français). Office fédéral de l'environnement, Berne. État de l'environnement n° 1811 : 131 p.

Gehrig R., König N., Scherrer S. 2018 : Städtische Wärmeinsel in der Schweiz – Klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten (en allemand), Rapport technique MétéoSuisse n° 273, 61 p.

GIEC 2013/2014 : Changements climatiques 2013/2014 : résumés à l'intention des décideurs (en français). Contributions des trois groupes de travail au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

GIEC 2014a : Changements climatiques 2014. L'atténuation du changement climatique. Contribution du Groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

GIEC 2014b : Changements climatiques 2014. Rapport de synthèse. Résumé à l'intention des décideurs

GIEC 2018 : Réchauffement planétaire de 1,5 °C. Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, et T. Waterfield (eds.)]

GLAMOS 2018a : Swiss Glacier Mass Balance, release 2018, Glacier Monitoring Switzerland, doi:10.18750/massbalance.2018.r2018

GLAMOS 2018b : Swiss Glacier Length Change, release 2018, Glacier Monitoring Switzerland, doi:10.18750/lengthchange.2018.r2018

Gonseth Y., Wohlgemuth T., Sansonnens B., Buttler A. 2001 : Les régions biogéographiques de la Suisse. Explications et division standard. Documents environnement n° 137, 48 p. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne.

Grize L., Huss A., Thommen O., Schindler C., Braun-Fabrlander C. 2005 : Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. Swiss Medical Weekly, 135(13-14), 200-205

Güsewell S., Pietragalla B., Gehrig R., Furrer R. 2018 : Representativeness of stations and reliability of data in the Swiss Phenology Network. Rapport technique MétéoSuisse n° 267, 100 p.

Herold T. 2019 : Temperaturmonitoring Oberflächengewässer Schweiz (éditorial). Auqua & Gas 04-2019: 36-39

Herold T., Schaffner M., Chaix O. 2018 : Temperaturmonitoring der Fliessgewässer, Anpassung an zukünftige Herausforderungen. Aqua & Gas 12-2018: 54-59

Huss M., Funk M., Ohmura A. 2009 : Strong Alpine glacier melt in the 1940s due to enhanced solar radiation. Geophysical Research Letters, 36(23)

Indermühle M., Raetz P., Volz R. 2005 : Tempête « Lothar » – Causalités et évolution du risque. Synthèse du programme partiel 6 (en allemand avec résumé en français). Documents environnement n° 184, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 145 p.

Infras 2018 : Auswirkungen des Klimawandels im Ausland. Risiken und Chancen für die Schweiz.

Infras, Egli Engineering 2015 : Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz. Regionale Fallstudie Kanton Basel-Stadt. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement

Kahn M. E., Mohaddes K., Ng. R., Pesaran M. H., Raissi M., Yang J-C. 2019: Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis, National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper No. 26167, doi: 10.3386/w26167

Keller V., Ayé R., Müller W., Spaar R., Zbinden N. 2010 : Die prioritären Vogelarten der Schweiz: Revision 2010. Ornithol. Beob. 107: 265-285

Klein T., Holzkämper A., Calanca P., Seppelt R., Fuhrer J. 2013 : Adapting agricultural land management to climate change: a regional multi-objective optimization approach. Landscape ecology, 28(10), 2029-2047

Knaus P., Antoniazza S., Wechsler S., Guélat J., Kéry M., Strebel N., Sattler T. 2018 : Atlas des oiseaux nicheurs de Suisse 2013-2016. Distribution et évolution des effectifs des oiseaux en Suisse et au Liechtenstein. Station ornithologique suisse, Sempach.

Knaus P., Sattler T., Schmid H., Strebel N., Volet B. 2019 : État de l'avifaune en Suisse : rapport 2019. Station ornithologique suisse, Sempach

Kohli A., Steinemann M., Guyer M., Füssler J. 2018 : Relevanz des Klimawandels für die Schweizer Sicherheitspolitik. Herausforderungen und mögliche Handlungsfelder. Rapport final d'infras, du 20 février 2018, sur mandat du Département fédéral des affaires étrangères

Köllner P., Gross C., Lerch J., Nauser M. 2017 : Risques et opportunités liés au climat. Une synthèse à l'échelle de la Suisse. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1706 : 148 p.

König U., Abegg B. 1997 : Impacts of Climate Change on Winter Tourism in the Swiss Alps, Journal of Sustainable Tourism, 5:1, 46-58, doi: 10.1080/09669589708667275

Körner, C. 2009 : Mountain vegetation under environmental change. In R. Jandl, A. Borsdorf, H. van Miegroet, R. Lackner, R. Psenner, Global change and sustainable development in mountain regions. Proceedings of the COST Strategic Workshop April 7-9, 2008, Congress Innsbruck, Innsbruck University Press, 25-30

Landis F., Hertig V., Haefeli U., Balthasar A., Raible C. 2017 : Schlussbericht Evaluation der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel: Modul A. Rapport final sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement. Interface Politikstudien Forschung Beratung und Oeschger Centre for Climate Change Research, Lucerne/Berne.

Landolt E., Bäumler B., Erhardt A., Hegg O., Klötzli F., Lämmler W., Nobis M., Rudmann-Maurer K., Schweingruber F., Theurillat J.-P., Urmi E., Vust M., Wohlgemuth T. 2010 : Flora indicativa = Ecological indicator values and biological attributes of the flora of Switzerland and the Alps: ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen (en anglais et en allemand), Berne.

Léger E., Vourc'h G., Vital L., Chevillon Ch., McCoy K. D. 2013 : Changing distribution of ticks: causes and consequences. Experimental and Applied Acarology 59 : 219-244, doi: 10.1007/s10493-012-9615-0

Le Programme Bâtiments 2018 : Rapport annuel 2018. Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie

Maggini R., Lehmann A., Zbinden N., Zimmermann N. E., Bolliger J., Schröder B., Foppen R., Schmid H., Beniston M., Jenni L. 2014 : Assessing species vulnerability to climate and land use change. The case of the Swiss breeding birds. Diversity and Distribution 20: 708-719

Maison de la Rivière 2012 : Rapport Clim-arbres. La Maison de la Rivière, hepia Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, p. 173

MétéoSuisse 2018 : Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Rapport technique MétéoSuisse n° 272, 38 p.

MétéoSuisse 2020a : Données et graphiques fournis par MétéoSuisse

MétéoSuisse 2020b : Rapport climatologique 2019. Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse), Zurich. 106 p.

Møller A. P., Fiedler W., Berthold P. (éds.) 2010 : Effects of climate change on birds. Oxford Biology. Oxford University Press, Oxford [etc.]

Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD) 2019 : données fournies par Hintermann & Weber AG

Müller P., Suter T., Engeler L., Vavassori L., Guidi V., Flacio E., Tonolla M. 2018 : Nationales Programm zur Überwachung der asiatischen Tigermücke. Rapport 2016 (en allemand). Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement. 24 p.

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

Neteler M., Metz M., Rocchini D., Rizzoli A., Flacio E., Engeler L., Guidi V., Lüthy P., Tonolla M. 2013 : Is Switzerland suitable for the invasion of Aedes albopictus? PLoS One 8:e82090, doi: 10.1371/journal.pone.0082090

North N., Kljun N., Kasser F., Heldstab J., Maibach M., Reutimann J., Guyer M. 2007 : Changements climatiques en Suisse. Indicateurs des causes, des effets et des mesures. État de l'environnement n° 0728. Office fédéral de l'environnement, Berne. 77 p.

OCDE 2015 : Les conséquences économiques du changement climatique, Publications de l'OCDE, Paris.

OCDE 2017 : Croissance, investissement et transition à faible teneur en carbone, Publications de l'OCDE, Paris.

OCDE 2019 : Base de données Contenu en émissions de CO_2 des échanges ($TECO_2$) *https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=IO_GHG_2019# www.oecd.org/fr/sti/ind/contenuenemissionsdedioxidedecarbonedanslesechangesinternationaux.htm* [état : 06.05.2019]

OFAC 2019 : Extrait préalable de données concernant le trafic aérien international 2018 dans le cadre de l'inventaire des gaz à effet de serre

OFAG 2011 : Stratégie Climat pour l'agriculture. Protection du climat et adaptation au changement climatique pour une agriculture et une économie alimentaire suisses durables. *https://www.blw.admin.ch/blw/fr/home/nachhaltige-produktion/umwelt/klima.html* [état : 03.05.2019]

OFAG 2016 : Fiche d'information sur la sécurité alimentaire, n° 1 : Taux d'autoapprovisionnement

OFEN 2019a : Energieverbrauch und Energieeffizienz Personenwagen und leichten Nutzfahrzeuge 2018. 23. Berichterstattung im Rahmen der Energieeffizienzverordnung (en allemand avec résumé en français). Office fédéral de l'énergie. Berne.

OFEN 2019b : Données fournies par l'OFEN, variation annuelle des SRE, données compilées par Wüest Partner AG

OFEN 2019c : Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Édition 2018. Office fédéral de l'énergie. Septembre 2019.

OFEN 2019d : Stratégie énergétique 2050 – Rapport de monitoring 2019 (version détaillée). Office fédéral de l'énergie, Berne.

OFEN 2019e : Stratégie globale suisse de l'énergie 2018. Office fédéral de l'énergie. Berne.

OFEV 2012a : Spuren des Klimawandels in der Vegetation? BDM Facts 4. Office fédéral de l'environnement, Berne.

OFEV 2012b : Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau. Rapport de synthèse du projet « Changement climatique et hydrologie en Suisse » (CCHydro). Connaissance de l'environnement n° 1217, Office fédéral de l'environnement, Berne, 76 p.

OFEV 2012c : Gérer les pénuries locales d'eau en Suisse. Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat 10.353 « Eau et agriculture. Les défis de demain » déposé le 17 juin 2010 par le conseiller national Hansjörg Walter. Office fédéral de l'environnement, Berne.

OFEV 2014a : Grundlagen für die Wasserversorgung 2025. Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen (avec abstract en français). Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1404 : 116 p.

OFEV 2016 : La canicule et la sécheresse de l'été 2015 : impacts sur l'homme et l'environnement Office fédéral de l'environnement, Berne. État de l'environnement n° 1629 : 108 p.

OFEV 2017a : Impulsions pour une adaptation de la Suisse aux changements climatiques. Conclusions de 31 projets pilotes sur l'adaptation aux changements climatiques. Office fédéral de l'environnement, Berne. Environnement Info n° 1703 : 96 p.

OFEV 2017b : Synthesebericht: Volkswirtschaftliche Beurteilung der klimapolitischen Massnahmen nach 2020. Office fédéral de l'environnement, Berne. 90 p.

OFEV 2018a : Switzerland's seventh national communication and third biennial report under the UNFCCC, Office fédéral de l'environnement, Berne, Suisse, 1er janvier 2018.

OFEV 2018b : La politique climatique suisse – Mise en œuvre de l'Accord de Paris. Office fédéral de l'environnement, Berne.

OFEV 2019a : 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 n° 1901, 142 p.

OFEV 2019b : Données fournies par la division Hydrologie de l'Office fédéral de l'environnement

OFEV 2019c : Données de l'Observation nationale des eaux souterraines NAQUA

OFEV 2019d : Données fournies par la division Espèces, écosystèmes, paysages, section Milieux aquatiques

OFEV 2019e : Projets et programmes de réduction des émissions réalisés en Suisse. Un module de la Communication de l'OFEV en sa qualité d'autorité d'exécution de l'ordonnance sur le CO_2. 5e édition actualisée, janvier 2019. Office fédéral de l'environnement, Berne.

OFEV 2019f : Statistiques fédérales de la pêche. Office fédéral de l'environnement. Section Milieux aquatiques. *https://www.fischereistatistik.ch/fr/home* [état : 17.05.2019]

OFEV 2019g : Données fournies par la division Protection de l'air et produits chimiques

OFEV 2019h : Données de la division Climat de l'Office fédéral de l'environnement

OFEV 2019i : Carte établie sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement

OFEV 2020a : Inventaire des gaz à effets de serre de la Suisse, Office fédéral de l'environnement. Soumis en 2020

OFEV 2020b : Émissions de gaz à effet de serre visées par la loi sur le CO_2 révisée et par le Protocole de Kyoto, 2e période d'engagement (2013-2020). Office fédéral de l'environnement, Berne. Dernière mise à jour en avril 2020

OFEV 2020c : Effets des changements climatiques à l'étranger : risques et opportunités pour la Suisse. Résumé. Office fédéral de l'environnement, Berne. Environnement Info n° 2002 : 17 p.

OFEV et al. 2019 : La canicule et la sécheresse de l'été 2018. Impacts sur l'homme et l'environnement. Office fédéral de l'environnement, Berne. État de l'environnement n° 1909 : 91 p.

OFEV, ARE 2018 : Quand la ville surchauffe. Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques. Office fédéral de l'environnement. Berne. *https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/publications-etudes/publications/quand-la-ville-surchauffe.html* [état : 12.06.2019]

OFEV, MétéoSuisse 2019 : Données fournies par la division Hydrologie

OFEV, WSL 2007 : Ereignisanalysen Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung (en allemand avec abstract en français). Connaissance de l'environnement n° 0707, Office fédéral de l'environnement, Berne.

OFS 2011 : Perception de la qualité de l'environnement et comportements environnementaux. Résultats de l'enquête Omnibus 2011. *https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/publikationen.assetdetail.350747.html* [état : 29.05.2019]

OFS 2015 : Enquête Omnibus 2015 : qualité de l'environnement et comportements environnementaux. Les pratiques environnementales de la population s'accordent en général avec sa perception de l'environnement. *https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/publications.assetdetail.415326.html* [état : 29.05.2019]

OFS 2019 : Domaine énergétique. Systèmes de chauffage et agents énergétiques. *https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/construction-logement/batiments/domaine-energetique.html* [état : 25.09.2019]

OFS 2020a : Comptes nationaux. Compte de production par secteur économique, Office fédéral de la statistique. Extrait de janvier 2020

OFS 2020b : Statistique de la population de la Suisse, population résidante permanente, Office fédéral de la statistique. Extrait de janvier 2020

OFS 2020c : Statistique des transports publics, statistique du transport de marchandises, parc de véhicules routiers, prestations du transport de personnes, Office fédéral de la statistique. Extrait de janvier 2020

OFS, Swiss TPH 2019 : OFS, population résidante en Suisse ; Swiss TPH, données fournies par Madame Martina Ragettli.

OFSP 2019a : Données fournies par Monsieur Ekkehardt Altpeter

OFSP 2019b : Méningo-encéphalite à tiques (FSME). *https://www.bag.admin.ch/bag/fr/home/krankheiten/krankheiten-im-ueberblick/fsme.html* [état : 14.06.2019]

OFSP 2019c : Données fournies par l'OFSP

Ogden N. H., Lindsay L. R. 2016 : Effects of climate and climate change on vectors and vector-borne diseases : ticks are different. Trends in Parasitology 32: 646-656, doi: 10.1016/j.pt.2016.04.015

OMM 2007 : The role of climatological normals in a changing climate, WMO/TD-No. 1377 (2007). Téléchargeable sous : *www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WCDMPNo61.pdf* [état : 25.07.2019]

OMM 2015 : Dix-septième congrès météorologique mondial, Genève, OMM-No. 1157

Papadopoulos B., Humair P. F., Aeschlimann A., Vaucher C., Buttiker W. 2002 : Ticks on birds in Switzerland. A. Acarologia 42: 3-19

PERMOS 2019 : Données fournies par Madame Jeannette Noetzli. *www.permos.ch* [état : 05.12.2019]

Perroud M., Bader S. 2013 : Changements climatiques en Suisse. Indicateurs des causes, des effets et des mesures. État de l'environnement n° 1308. Office fédéral de l'environnement, Berne, et Office fédéral de météorologie et de climatologie, Zurich, 86 p.

Pluess A.R., Augustin S., Brang P. 2016 : Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien, Berne, Stuttgart. Office fédéral de l'environnement OFEV, Institut fédéral de recherches WSL, Haupt, 447 p.

Prasuhn V., Doppler T., Spycher S., Stamm. C. 2018 : Pflanzenschutzmitteleinträge durch Erosion und Abschwemmung. Agrarforschung Schweiz 9(2), 44-51

Prognos, TEP, Infras 2019a : Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2018 nach Verwendungszwecken. Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie, Berne.

Prognos, TEP, Infras 2019b : Ex-Post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 bis 2018 nach Bestimmungsfaktoren. Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie, Berne.

Ragettli M. S., Röösli M. 2019 : Hitzeaktionspläne zur Prävention von hitzebedingten Todesfällen – Erfahrungen aus der Schweiz. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz. 1-7

Ragettli M. S., Vicedo-Cabrera A. M., Schindler C., Röösli M. 2017 : Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. Environmental Research 10; 158: 703-709

Ragettli M.S., Vicedo-Cabrera A.M., Flückiger B. et al. 2019 : Impact of the warm summer 2015 on emergency hospital admissions in Switzerland. Environ. Health 18: 66, *https://doi.org/10.1186/s12940-019-0507-1*

Randolph S. E., Asokliene L., Avsic-Zupanc T., Bormane A., Burri C., Gern L., Golovljova I, Hubalek Z., Knap N., Kondrusik M., Kupca A., Pejcoch M., Vasilenko V., Žygutiene M. 2008 : Variable spikes in tickborne encephalitis incidence in 2006 independent of variable tick abundance but related to weather. Parasites & Vectors 1: 44, doi: 10.1186/1756-3305-1-44

Remund J., Augustin S. 2015 : Zustand und Entwicklung der Trockenheit in Schweizer Wäldern. Schweizer Zeitschrift für Forstwesen 166: 352-360

RMS 2018a : Données fournies par Monsieur Beat Wolfensberger

RMS 2018b : Faits et chiffres relatifs à la branche des remontées mécaniques. *https://www.seilbahnen.org/fr/La-branche/Statistiques/Faits-chiffres* [état : 13.05.2019]

Robine J.-M., Cheung S. L. K., Le Roy S., Van Oyen H., Griffiths C., Michel J.-P., Herrmann F. R. 2008 : Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. Comptes Rendus Biologies 331(2), 171-178

Rutherford J. C., Marsh N. A., Davis P. M., Bunn S. E. 2004 : Effects of patchy shade on stream water temperature : how quickly do small streams heat and cool? Marine and Freshwater Research 55: 737-748

Scherrer S. C., Fischer E. M., Posselt R., Liniger M. A., Croci-Maspoli M., Knutti R. 2016 : Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland, J. Geophys. Res. Atmos., 121,2626-2637, doi:10.1002/2015JD024634

Scherrer, S.C., Begert, M. 2019 : Effects of large-scale atmospheric flow and sunshine duration on the evolution of minimum and maximum temperature in Switzerland. Theoretical and Applied Climatology. *https://doi.org/10.1007/s00704-019-02823-x*

Schmid M., Dami J., Bouffard D. 2019 : Beobachtung der Seetemperaturen. Aqua & Gas (sous presse)

Scripps 2019 : CO_2 Beobachtungen des Mauna Loa Observatory Hawaii im Rahmen des Scripps CO_2 Programms. doi: doi.org/10.6075/J08W3BHW. Site Internet (état : 25.07.2019) : *scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2/primary_mlo_co2_record,* décrit dans : C. D. Keeling, S. C. Piper, R. B. Bacastow, M. Wahlen, T. P. Whorf, M. Heimann, and H. A. Meijer, Atmospheric CO_2 and 13 CO_2 exchange with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000: observations and carbon cycle implications, pages 83-113, in "A History of Atmospheric CO_2 and its effects on Plants, Animals, and Ecosystems", editors, Ehleringer, J.R., Cerling T.E., Dearing M.D., Springer Verlag, New York, 2005.

SECO 2020 : Valeurs trimestrielles du produit intérieur brut (PIB), approche par la production, données brutes, état en janvier 2020

Shlomit P. 2015 : Climate change impacts on West Nile virus transmission in a global context. Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences 370: 20130561. *dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0561*

Steinbauer M. J., Grytnes J.-A., Jurasinski G., Kulonen A., Lenoir J., Pauli H., Rixen C., Winkler M., Bardy-Durchhalter M., Barni E., Bjorkman A. D., Breiner F. T., Burg S., Czortek P., Dawes M. A., Delimat A., Dullinger S., Erschbamer B., Felde V. A., Fernández-Arberas O., Fossheim K. F., Gómez-García D., Georges D., Grindrud E. T., Haider S., Haugum S. V., Henriksen H., Herreros M. J., Jaroszewicz B., Jaroszynska F., Kanka R., Kapfer J., Klanderud K., Kühn I., Lamprecht A., Matteodo M., di Cella U. M., Normand S., Odland A., Olsen S. L., Palacio S., Petey M., Piscová V., Sedlakova B., Steinbauer K., Stöckli V., Svenning J.-C., Teppa G., Theurillat J.-P., Vittoz P., Woodin S. J., Zimmermann N. E., Wipf S. 2018 : Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming, Nature, 2018, 556, 231-234

Stern N. 2006 : Stern Review on the Economics of Climate Change, HM Treasury, London.

Straile D., Livingstone D. M., Weyhenmeyer G. A., George D. G. 2003 : The response of freshwater ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. In J. W. Hurrell, Y. Kushnir, G., Ottersen, M. Visbeck (eds), The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact. Geographical Monograph, 134, 263-279

Swiss TPH 2019 : Données fournies par Monsieur Pie Müller

Uhlmann B., Goyette S., Beniston M. 2009 : Sensitivity analysis of snow patterns in Swiss ski resorts to shifts in temperature, precipitation and humidity under conditions of climate change. Royal Meteorological Society. International Journal of climatology, 29: 1048-1055 DOI: 10.1002/joc.1786

Union européenne 2016 : Resilience of large investments and critical infrastructures in Europe to climate change, by JSR, Ispra, Italy.

Université de Constance 2019 : Données fournies par le Dr Dietmar Streile

Université de Hohenheim 2019 : Tropische Zecken: Neu eingewanderte Art überwintert erstmals in Deutschland [communiqué de presse]. 11.06.2019. *https://www.uni-hohenheim.de/pressemitteilung?tx_ttnews%5Btt_news%5D=43734&cHash=5fd3c0e9da33d842f4ee127beaf7b078* [état : 24.06.2019]

USP 2019 : Statistiques et évaluations concernant l'agriculture et l'alimentation, 2018. Union suisse des paysans, Brugg.

Vicente-Serrano S. M., Begueíra S., López-Moreno J. I. 2010 : A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index – SPEI, J. Clim., 23: 1696-1718

Ville de Baden 2005 : Klimawanderungen. Klima und Wald früher – heute – morgen. *www.klimawanderungen.ch/downloads/Klimadossier_Erwachsene.pdf* [état : 11.04.2019]

Ville de Zurich 2019 : Données fournies par Monsieur Olivier Köster *https://www.stadt-zuerich.ch/wasserversorgung* [état : 13.05.2019]

Vitasse Y., Bottero A., Rebetez M., Conedera M., Augustin S., Brang P., Tinner W. 2019 : What is the potential of silver fir to thrive under warmer and drier climate? European Journal of Forest Research, 138: 547-560.

Vitasse Y., Schneider L., Rixen C., Christen D., Rebetez M. 2018 : Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. Agricultural and Forest Meteorology 248: 60-69

Vöhringer F., Vielle M., Thalmann P., Frehner A., Knoke W., Stocker D., Thurm B. 2019 : Cost and benefits of climate change in Switzerland. Climate Change Economics, Vol. 10, No. 02, 1-34.

Wehse H., Chaix O., Gander Y., Birrer A., Fritsch M., Meylan B., Zahner S. 2017 : Élaboration de mesures visant à garantir les ressources en eau sur le long terme. Une démarche basée sur les outils de planification existants. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement. Berne.

Wohlgemuth T. (Red.) 2006 : Wald und Klimawandel. Forum für Wissen 2006: 71 p.

WSL 2019a : Neige de culture. *https://www.slf.ch/de/schnee/schneesport/schnee-und-ressourcenmanagement/technischer-schnee.html* [état : 13.05.2019]

WSL 2019b : Collecte de données concernant les crues, les laves torrentielles et les glissements de terrain (depuis 1972) et concernant les chutes de pierre et les éboulements (depuis 2002), sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement

Zahner S., Guhl F. 2017 : Utilisation économe des ressources en eau. Aqua & Gas, Nr 6. *https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/info-specialistes/mesures-pour-la-protection-des-eaux/instruments-fondamentaux/gestion-des-ressources-en-eau.html* [état : 12.04.2019]

Zbinden N., Maggini R., Keller V., Schmid H. 2012 : Swiss Bird Index SBI Climate Change. Station ornithologique suisse, Sempach.

Zekollari H., Huss M., Farinotti, D. 2019 : Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. Cryosphere, 13(4), 1125-1146

Zemp M., Frey H., Garnert-Roer I., Nussbaumer S. U., Hoelzle M., Paul F., ... Baroni C. 2015 : Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. Journal of Glaciology 61 (228), 745-762. *dx.doi.org/10.3189/ 2015JoG15J01.*

Zubler E.M., Scherrer S.C., Croci-Maspoli M., et al. 2014 : Climatic Change (2014) 123: 255, *https://doi.org/10.1007/s10584-013-1041-8*