

Risques et opportunités liés au climat

Une synthèse à l'échelle de la Suisse



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Risques et opportunités liés au climat

Une synthèse à l'échelle de la Suisse

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).

Impression neutre en carbone et faible en COV sur papier recyclé.

Cette publication est également disponible en allemand et en italien.

Auteurs

Pamela Köllner (OFEV, cheffe de projet), Carla Gross (OFEV),
Juliette Lerch (OFEV), Markus Nauser (dialog:umwelt GmbH)

© OFEV 2017

09.17 1650 860409072

Direction générale du projet

Christine Hofmann (OFEV), Andrea Burkhardt (OFEV), Josef
Eberli (OFEV), Stephan Müller (OFEV), Rolf Manser (OFEV),
Hans Romang (OFEV)

Référence bibliographique

Köllner P., Gross C., Lerch L., 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 : 154 p.

Traduction

Service linguistique de l'OFEV

Mise en page

Cavelti AG, medien. digital und gedruckt.

Graphisme

Zoï Environment Network

Photo de couverture

Fond : www.123RF.com

Panneaux : C. Hurni

Montage : M. Libert

Commande de la version imprimée et téléchargement au format PDF

OFCL, Vente des publications fédérales, CH-3003 Berne

www.publicationsfederales.admin.ch

N° d'art. 810.400.115F

www.bafu.admin.ch/uw-1706-f

Table des matières

Abstracts	7	8.2	Augmentation ou diminution des dommages matériels liés à l'évolution de l'activité des tempêtes	70
Avant-propos	9	8.3	Augmentation ou diminution des dommages dus à la grêle	72
Résumé	11			
1 Introduction	18	9 Dégradation de la qualité de l'eau, des sols et de l'air	75	
1.1 Contexte	18	9.1 Dégradation de la qualité de l'eau	77	
1.2 Structure du rapport et explications concernant les illustrations	19	9.2 Dégradation de la qualité des sols	78	
		9.3 Dégradation de la qualité de l'air	79	
2 Identification des risques et des opportunités	22	10 Modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages	81	
		10.1 Évolution d'écosystèmes spécifiques	83	
3 Accentuation des fortes chaleurs	25	10.2 Évolutions touchant tous les écosystèmes	86	
3.1 Dégradation de la santé humaine	27			
3.2 Baisse de la productivité au travail	30	11 Propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques	89	
3.3 Augmentation du besoin en énergie de refroidissement	32	11.1 Dégradation de la santé humaine	91	
		11.2 Dégradation de la santé des animaux de rente et des animaux de compagnie	94	
4 Accroissement de la sécheresse	35	11.3 Baisse des rendements agricoles	95	
4.1 Baisse des rendements agricoles	37	11.4 Dégradation des services écosystémiques forestiers	97	
4.2 Augmentation du risque d'incendies de forêt	40			
4.3 Augmentation des pénuries d'eau	42	12 Amélioration des conditions locales	100	
4.4 Diminution de la production hydroélectrique estivale	45	12.1 Diminution du besoin en énergie de chauffage	102	
		12.2 Augmentation des revenus du tourisme estival	103	
5 Élévation de la limite des chutes de neige	46	12.3 Hausse des rendements agricoles	105	
5.1 Baisse des revenus du tourisme hivernal	49			
5.2 Augmentation de la production énergétique hivernale	51	13 Risques wildcards	108	
5.3 Diminution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige	52			
		14 Impacts des changements climatiques à l'étranger	110	
6 Aggravation du risque de crues	55	15 Gestion des incertitudes	113	
6.1 Augmentation des dommages aux personnes	58			
6.2 Augmentation des dommages matériels	59	A Annexe	116	
		A1 Liste détaillée des risques et opportunités liés aux changements climatiques	116	
7 Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain	62	A2 Méthodologie	125	
7.1 Augmentation des dommages aux personnes	65	A3 Listes	131	
7.2 Augmentation des dommages matériels	65			
8 Modification de l'activité des tempêtes et de la grêle	68			
8.1 Augmentation ou diminution des dommages aux personnes liés à l'évolution de l'activité des tempêtes	70			

Abstracts

The present report identifies and prioritises climate-related risks and opportunities for Switzerland until 2060. The results from eight regional case studies conducted with the participation of numerous experts from science, industry and administration have been merged into a Switzerland-wide synthesis and supplemented. On the one hand, they serve the review and further development of the Confederation's adaptation strategy. On the other hand, the cantons and regions can use the results, along with the methodology used, to develop their own strategy and adaptation planning.

Der vorliegende Bericht identifiziert und priorisiert die klimabedingten Risiken und Chancen für die Schweiz bis 2060. Die Ergebnisse von acht regionalen Fallstudien wurden unter Mitwirkung zahlreicher Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung in einer schweizweiten Synthese zusammengeführt und ergänzt. Sie dienen einerseits der Überprüfung und Weiterentwicklung der Anpassungsstrategie des Bundes. Andererseits können sie, zusammen mit der verwendeten Methodik, von Kantonen und Regionen genutzt werden, um eine eigene Strategie und Anpassungsplanung zu entwickeln.

Le présent rapport répertorie et priorise les risques et opportunités liés au climat susceptibles de se présenter en Suisse d'ici 2060. Établi avec le concours de nombreux experts issus de l'administration ainsi que des milieux scientifiques et économiques, il regroupe et complète, dans une synthèse à l'échelle de la Suisse, les résultats de huit études de cas régionales. Il sert non seulement à vérifier et à poursuivre le développement de la stratégie d'adaptation de la Confédération, mais peut aussi être utilisé par les cantons et les régions pour élaborer leur propre stratégie et leur propre planification en matière d'adaptation.

Il presente rapporto identifica i rischi e le opportunità legati ai cambiamenti climatici per la Svizzera e fissa le priorità da qui al 2060. A tal fine sono stati riuniti in una sintesi nazionale e completati con la partecipazione di numerosi esperti del mondo scientifico, dell'economia e dell'amministrazione i risultati di otto casi di studio regionali. Da un lato tali risultati servono a verificare e sviluppare ulteriormente la strategia di adattamento della Confederazione e dall'altro i Cantoni e le regioni possono utilizzarli, unitamente alla metodologia adottata, per elaborare la loro strategia e pianificare il loro adattamento.

Keywords:

Climate change, impacts, adaptation, risk analysis, risks, opportunities

Stichwörter:

Klimawandel, Auswirkungen, Anpassung, Risikoanalyse, Risiken, Chancen

Mots-clés :

changements climatiques, impacts, adaptation, analyse des risques, risques, opportunités

Parole chiave:

cambiamenti climatici, impatto, adattamento, analisi dei rischi, rischi, opportunità

Avant-propos

La loi du 23 décembre 2011 sur le CO₂ assigne à la Confédération la tâche de coordonner les mesures visant à éviter et à maîtriser les dommages susceptibles de résulter de l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. En parallèle, elle la charge de veiller à l'élaboration et à l'obtention des bases nécessaires à la prise de ces mesures.

Le présent rapport est le fruit d'un vaste travail d'analyse qui apporte une contribution importante à la réalisation de ce double mandat. Il repose sur huit études de cas portant sur les conséquences auxquelles il faut s'attendre si, au cours des prochaines décennies, l'augmentation des émissions mondiales de gaz à effet de serre se poursuit à un rythme comparable à celui que nous connaissons actuellement. Les résultats de ces études de cas ont été transposés à toutes les régions du pays et utilisés comme base pour déterminer les risques et opportunités liés au climat à traiter en priorité en Suisse. Ils fournissent en outre des informations utiles à la poursuite du développement de la stratégie d'adaptation du Conseil fédéral adoptée en 2012, et permettent de cibler encore davantage les efforts sur les domaines où ceux-ci devraient être les plus utiles. En mettant à disposition une méthodologie et en présentant de premières possibilités d'action, le présent travail permet aux cantons et aux régions de poursuivre le développement de leur propre stratégie et de leur propre planification de l'adaptation.

Le présent rapport s'appuie sur les connaissances les plus avancées disponibles à ce jour au sujet des impacts des changements climatiques sur la Suisse. Il reconnaît que notre savoir sur le climat de demain et ses effets sur la nature, la société et l'économie est encore lacunaire. Nous n'ignorons toutefois pas que les enjeux sont énormes, non seulement pour la santé humaine, mais aussi pour certaines branches de l'économie, pour les milieux naturels et pour la biodiversité en Suisse. Dans ces conditions, il serait irresponsable de rester inactifs. Il nous faut non seulement tenir compte des risques existants et de ceux qui se dessinent, mais aussi exploiter les opportunités qui se présentent.

Quelque 360 experts issus des milieux scientifiques, économiques et de l'administration ont participé à l'élaboration de la présente analyse des risques. Ils ont apporté leur concours à l'élaboration de la méthodologie, participé à des ateliers, donné leur avis sur les versions préliminaires du présent rapport ou sur des problématiques spécifiques. Qu'ils en soient ici chaleureusement remerciés! C'est de cet esprit d'ouverture et de coopération par-delà les frontières techniques et institutionnelles dont nous avons besoin pour préparer la Suisse aux défis liés aux changements climatiques.

Marc Chardonens, directeur
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Résumé

Le climat de la Suisse a changé au cours des dernières décennies. Les impacts de cette évolution sur l'homme et l'environnement sont d'ores et déjà perceptibles, et ils devraient devenir de plus en plus marqués au fur et à mesure que les changements climatiques progresseront.

Afin de contribuer à limiter la hausse des températures mondiales et d'éviter par là les impacts les plus dangereux des changements climatiques, la Suisse applique une politique active de réduction des émissions de CO₂. En complément, le Conseil fédéral a adopté une stratégie d'adaptation aux changements climatiques en deux volets (OFEV 2012b, OFEV 2014a), qui vise à réduire les risques existants et à minimiser les risques inévitables à venir tout en exploitant les opportunités qui s'offrent et en améliorant la capacité d'adaptation de la Suisse.

Les changements climatiques touchent de multiples façons la nature, la société et l'économie. Si l'on veut utiliser efficacement les moyens limités disponibles, il faut fixer des priorités. Cela permettra à la Confédération, aux cantons, aux communes et à d'autres parties concernées de planifier et mettre en œuvre les mesures d'adaptation de façon coordonnée.

L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a procédé à une analyse des risques et opportunités liés au climat à l'échelle de la Suisse comme base de l'adaptation aux changements climatiques. Des études de cas ont été menées dans huit cantons (Argovie, Bâle-Ville, Fribourg, Genève, Grisons, Jura, Tessin et Uri), de manière à couvrir les six grandes régions qui composent la Suisse (Jura, Plateau, Préalpes, Alpes, Suisse méridionale et grandes agglomérations). Ces huit études de cas ont permis, d'une part, de déterminer les risques et opportunités qui découlent des conditions climatiques actuelles et, d'autre part, d'évaluer – au moyen d'un scénario axé sur des changements climatiques de grande amplitude – l'ampleur des risques et opportunités attendus à l'horizon 2060 (c'est-à-dire pendant la période allant de 2045 à 2074).

Pour ces études de cas, on n'a pas établi de nouvelles projections climatiques ni procédé à de nouvelles simu-

lations. Ces études se sont appuyées sur les résultats de recherches et les publications disponibles, qu'elles ont réunis de manière à former un cadre d'analyse uniforme pour tous les secteurs pris en compte¹. L'élaboration des études de cas s'est faite avec le concours d'un vaste panel d'experts : pas moins de 360 spécialistes issus de tout le pays y ont participé.

La présente synthèse se fonde sur ces études de cas ainsi que, en complément, sur des informations tirées de la littérature spécialisée et sur des connaissances d'expert. Elle a permis, d'une part, d'établir une liste détaillée des risques et opportunités liés au climat (voir annexe A1) et, d'autre part, de déterminer les risques et opportunités qui sont prioritaires pour la Suisse.

La figure 1 indique les douze défis² et les quelque 30 risques et opportunités prioritaires qui forment le paysage suisse des risques dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques. Les conclusions, sommairement résumées, que l'on peut tirer de cette figure sont les suivantes :

- il existe nettement plus de risques prioritaires (colonne de gauche) que d'opportunités prioritaires (colonne de droite);
- plusieurs défis (en particulier les fortes chaleurs, les dangers naturels, les maladies) concernent la santé de la population suisse;
- les changements climatiques engendrent à la fois des risques et des opportunités pour l'agriculture, le secteur de l'énergie et le tourisme. Il faut également tenir compte des impacts qu'auront les modifications du climat à l'étranger sur l'économie et la société suisses;
- la biodiversité est exposée à des risques importants, mais bénéficiera aussi de quelques opportunités. Certaines espèces et certains milieux feront partie des perdants, d'autres des gagnants.

1 L'annexe A2 du présent document et un rapport méthodologique séparé (Holthausen et al. 2013a) décrivent en détail la façon dont les risques et opportunités liés aux changements climatiques ont été répertoriés et évalués.

2 Pour plus d'informations sur le concept de défi, voir le chapitre 2 de la stratégie d'adaptation du Conseil fédéral (BAFU 2012b).

Risques

Accentuation des fortes chaleurs

- Dégradation de la santé humaine
- Baisse de la productivité au travail
- Augmentation du besoin en énergie de refroidissement



Accroissement de la sécheresse

- Baisse des rendements agricoles
- Risque d'incendies de forêt
- Pénuries d'eau
- Diminution de la production hydroélectrique estivale



Élévation de la limite des chutes de neige

- Baisse des revenus du tourisme hivernal



Aggravation du risque de crues

- Dommages aux personnes
- Dommages matériels



Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain

- Dommages aux personnes
- Dommages matériels



Dégradation de la qualité de l'eau, des sols et de l'air



Modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages

- Dégradation de la biodiversité



Propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques

- Dégradation de la santé humaine
- Dégradation de la santé des animaux de compagnie et des animaux de compagnie
- Baisse des rendements agricoles
- Dégradation des services écosystémiques forestiers



Risques wildcards

- Risques difficiles à évaluer



Impacts des changements climatiques à l'étranger

- Risques indirects



Risques ou opportunités

Impacts ambigus : conséquences positives ou négatives possibles



Modification de l'activité des tempêtes et de la grêle

- Dommages aux personnes
- Dommages dus aux tempêtes
- Dommages dus à la grêle

Impacts positifs et négatifs

Impacts positifs et négatifs

Impacts positifs et négatifs

Opportunités



Amélioration des conditions locales

- Diminution du besoin en chauffage
- Augmentation des revenus du tourisme estival
- Hausse des rendements agricoles



- Augmentation de la production énergétique hivernale
- Diminution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige



- Modification de la composition des espèces et des milieux naturels



- Opportunités indirectes

Figure 1

Changements climatiques : risques et opportunités prioritaires pour la Suisse

Les défis liés aux changements climatiques sont symbolisés par douze pictogrammes. Ceux-ci sont subdivisés en risques (en rouge, colonne de gauche) et en opportunités (en vert, colonne de droite). Dans un cas (activité des tempêtes et de la grêle), on ignore encore si le défi en question engendrera plutôt des risques ou plutôt des opportunités (colonne du milieu, en gris).

À ces défis sont rattachés des risques prioritaires (points rouges), des opportunités prioritaires (points verts) et des cas encore peu clairs (points gris).

Certains défis – élévation de la limite des chutes de neige ; modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages ; impacts des changements climatiques à l'étranger – impliquent à la fois des risques et des opportunités. Ils sont indiqués par une ligne qui relie la colonne de gauche à celle de droite. Le défi concernant l'amélioration des conditions locales est un terme générique qui désigne différentes opportunités offertes par les changements climatiques.

L'exemple de l'agriculture montre clairement que les impacts des changements climatiques sont source aussi bien de risques que d'opportunités. Si l'accroissement de la sécheresse est susceptible de provoquer une importante baisse des rendements agricoles (risque), la hausse des températures moyennes devrait avoir des répercussions généralement positives sur les conditions de croissance des cultures (opportunité).

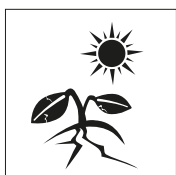
Les quelques paragraphes ci-dessous décrivent brièvement les risques et opportunités prioritaires présentés à la figure 1 dans le contexte des défis auxquels ils se rapportent. Cette description se réfère aux impacts attendus à l'horizon 2060.

Les modèles climatiques permettent une estimation fiable des impacts des changements climatiques sur l'évolution des **températures**, des **précipitations** et de la **limite des chutes de neige**. À ce niveau, l'évolution à venir est bien comprise sur le plan scientifique, et ses impacts directs sur la société et l'économie ont été relativement bien étudiés. Il est possible de planifier des mesures d'adaptation concrètes ; certaines sont d'ailleurs déjà en cours d'application. Même si les changements climatiques ont surtout des impacts négatifs, ils offrent aussi des opportunités, en particulier en ce qui concerne l'influence de la hausse des températures moyennes sur les **conditions locales**.



L'accentuation des fortes chaleurs est susceptible d'entraîner une importante dégradation de la santé de certains groupes de population.

Dans un passé récent, les vagues de chaleur ont déjà provoqué de nombreux décès. À l'avenir, la population subira des vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses en été, surtout à basse altitude et dans les grandes agglomérations. Les possibilités d'adaptation à ce type de phénomènes sont connues. Relevons que dans l'intérêt de la protection du climat, les mesures impliquant une hausse du besoin en énergie de refroidissement doivent autant que possible être évitées.



L'augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse pourrait à l'avenir entraîner une augmentation des pénuries d'eau locales et temporaires, et aggraver par là les conflits

d'utilisation. La baisse des rendements agricoles et le risque d'incendies de forêt sont également susceptibles d'augmenter. La sécheresse accentue la concurrence pour l'accès à l'eau potable et à l'eau d'usage pour l'agriculture, l'industrie, la production d'énergie, les services du feu ainsi que pour le maintien de débits résiduels pour la préservation des milieux naturels dans les cours d'eau.

Les conflits d'utilisation peuvent être évités par une gestion globale et anticipée des ressources en eau.



La diminution de l'enneigement constitue une menace pour la rentabilité des stations de sports d'hiver situées à moyenne et basse altitude, mais elle est bénéfique à d'autres

domaines. L'élévation de la limite des chutes de neige entraînera une diminution de la sécurité d'enneigement et raccourcira la saison d'hiver. De nos jours déjà, de nombreuses pistes sont enneigées artificiellement. Or la production de neige artificielle est très gourmande en eau et en énergie, ce qui non seulement génère des coûts, mais pose aussi des problèmes de durabilité. L'élévation de la limite des chutes de neige peut constituer une opportunité pour la production hydroélectrique hivernale, dans la mesure où les précipitations tomberont davantage sous forme de pluie. Elle tendra par ailleurs à réduire les coûts du déneigement et de l'entretien des routes.



La hausse des températures offre des opportunités à différents secteurs de l'économie et de la société.

L'élévation des températures moyennes favorise la croissance des végétaux (à condition que ces derniers disposent de suffisamment d'eau), ce qui est bénéfique à l'agriculture et à l'économie forestière. Elle réduit le besoin en énergie de chauffage et augmente l'attractivité des régions de montagne pour le tourisme estival. Il est toutefois essentiel de sensibiliser les acteurs concernés si l'on veut que les opportunités qui se présentent soient reconnues à temps et exploitées de manière ciblée.

Le déroulement des **dangers naturels** est influencé par les interactions entre de nombreux facteurs situationnels. Quant à l'ampleur des dommages causés par ces événements, elle dépend fortement de l'évolution des valeurs menacées. Les prédictions relatives aux impacts des changements climatiques comportent des incertitudes relativement importantes. En Suisse, les dangers naturels font l'objet d'une gestion intégrée des risques. Les changements climatiques sont susceptibles d'entraîner un déplacement des risques vers d'autres localités ou

régions et de modifier le moment auquel les événements dommageables surviennent. Ils peuvent aussi agir sur le déroulement des processus. D'où l'importance de réévaluer régulièrement les risques liés aux aléas naturels soumis à l'influence de paramètres climatiques.



On s'attend à une légère augmentation du risque de crue et à un allongement de la période des crues. L'évolution des précipitations et la fonte plus précoce des neiges entraî-

neront un allongement de la saison des crues potentielles et son déplacement du début de l'été au semestre d'hiver. Il est en outre vraisemblable que les zones urbanisées continueront de s'étendre et que de ce fait, un nombre croissant de personnes, de biens matériels et d'infrastructures seront exposés à un risque de crue. Il est donc essentiel de veiller à ce que les zones exposées à des dangers naturels soient utilisées en tenant compte des risques.



Le recul des glaciers et le dégel du pergélisol sont susceptibles d'accroître la fréquence et/ou l'ampleur des mouvements de terrain. Ces derniers (éboulements, chutes de pierres,

glissements de terrain, etc.) peuvent avoir de graves conséquences au plan local. S'ils se produisent le plus souvent en dehors des zones fréquentées, ils sont toutefois susceptibles de se déplacer vers des régions qui n'étaient jusqu'à présent pas exposées à de tels risques. Les changements survenant par exemple le long des voies de communication et dans des régions touristiques de montagne doivent être détectés à un stade précoce et faire l'objet d'un suivi.

Bon nombre des impacts qu'auront les changements climatiques sur les **écosystèmes** sont presque impossibles à estimer aujourd'hui : les interactions et interdépendances entre les espèces, leurs milieux et les paramètres naturels (humidité, température, etc.) sont trop complexes. Malgré ce manque de certitudes scientifiques quant aux impacts prévisibles, il est possible d'améliorer les conditions, de manière à permettre aux espèces potentiellement menacées et aux milieux naturels de grande valeur écologique de s'adapter à l'évolution du climat.



Les changements climatiques auront de nombreux impacts, majoritairement négatifs, sur la biodiversité. La hausse des températures et l'accroissement de la sécheresse sont des

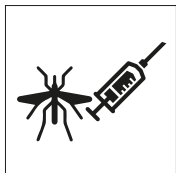
facteurs de stress qui dégradent de nombreux écosystèmes, en particulier aquatiques et alpins. Ils peuvent toutefois aussi avoir des conséquences positives ou ambivalentes sur certaines espèces. Les milieux naturels les mieux à même de s'adapter à l'évolution du climat sont ceux qui sont encore intacts, qui présentent une taille suffisamment importante et qui sont interconnectés. Il est essentiel de les protéger.

Il n'existe pas de projections robustes concernant l'évolution de **l'activité des tempêtes et de la grêle**. Les prévisions relatives à la **propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques**, aux risques dits « **risques wildcards** » et aux conséquences pour la Suisse des **impacts des changements climatiques à l'étranger** comportent de nombreuses incertitudes. Ces défis se caractérisent par des événements aléatoires et des chaînes d'impacts complexes, qu'il n'est possible de modéliser que dans certaines limites. Il convient non seulement de poursuivre les recherches, mais aussi de se préparer au mieux à des évolutions inattendues.



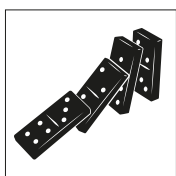
Les tempêtes peuvent provoquer des dommages sur de grandes étendues, tandis que la grêle est susceptible de causer de gros dégâts au plan local.

Les violentes tempêtes et les graves épisodes de grêle sont relativement rares, mais de tels événements peuvent occasionner des coûts élevés aux pouvoirs publics et aux milieux économiques. Une éventuelle augmentation de l'activité des tempêtes et de la grêle sous l'effet des changements climatiques pourrait n'être détectée que lorsqu'elle aura pris une ampleur considérable. Il convient donc de prendre à un stade précoce des mesures permettant d'augmenter la résilience de l'économie et de la société face aux dommages dus aux tempêtes et à la grêle.



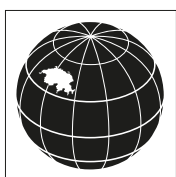
La propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques augmente le risque de maladies chez l'homme et l'animal.

Les organismes nuisibles, les maladies et les espèces exotiques peuvent aussi avoir des effets négatifs sur l'agriculture, l'économie forestière et la biodiversité. Les changements climatiques favorisent certes leur propagation, mais ce sont le transport de marchandises et le comportement de l'être humain en voyage qui jouent le rôle le plus important en la matière. Il est urgent de mettre en œuvre des mesures de surveillance afin de garantir leur détection précoce.



Les risques wildcards correspondent à des événements imprévus ayant un important potentiel de dommages.

Il s'agit d'événements dont le déroulement est plausible, mais dont la probabilité de survenance et les impacts possibles sont presque impossibles à évaluer aujourd'hui. Parmi les risques wildcards, on compte notamment l'apparition de situations météorologiques encore inédites en Suisse ou des enchaînements critiques de catastrophes naturelles. Les analyses de scénarios sont un des moyens possibles de se préparer à ce type de risques.



Dans une économie mondialisée, les impacts des changements climatiques à l'étranger engendrent des risques et des opportunités pour la Suisse.

Des événements extrêmes peuvent perturber la production de biens commerciaux importants, entraver les importations et les exportations, et déstabiliser politiquement les régions particulièrement exposées. La Suisse se voit toutefois offrir de nouvelles opportunités en tant que fournisseur de services en matière d'adaptation aux changements climatiques. Dans les domaines particulièrement sensibles à l'évolution du climat, l'influence des perturbations du commerce mondial sur la sécurité d'approvisionnement doit être prise en compte de façon prévoyante.

Le présent rapport de synthèse décrit les risques et opportunités auxquels la Suisse doit s'attendre à l'horizon 2060 en raison des changements climatiques et l'importance

qui doit leur être accordée du point de vue actuel. Il est apparu que la stratégie d'adaptation du Conseil fédéral (OFEV 2012b) ne couvre pas entièrement les défis, risques et opportunités existants. Elle doit être développée en prenant en compte l'évolution de l'activité des tempêtes et de la grêle, l'amélioration des conditions locales, les risques wildcards et les impacts des changements climatiques à l'étranger. De plus, la dénomination de deux défis doit être modifiée : l'accentuation des fortes chaleurs ne concerne pas seulement les villes et les agglomérations, et la sécheresse ne constitue pas un risque seulement en été.

Dans son ensemble, l'analyse des risques livre de nombreux constats et outils méthodologiques que les cantons et régions peuvent utiliser pour élaborer leur propre stratégie d'adaptation. La procédure suivie pour l'établissement des huit études de cas peut être transposée à d'autres régions ; les résultats de ces études et de la synthèse peuvent l'être à des entités géographiques comparables.

Les risques et opportunités liés aux changements climatiques ont été priorisés de manière assez générale, à l'échelle de la Suisse. Il se peut que les priorités doivent être fixées différemment à l'échelon local ou régional. Dès que de nouvelles connaissances sont disponibles, que les connaissances existantes sont approfondies ou que les conditions-cadres se modifient de façon significative, les risques et opportunités répertoriés devraient être passés en revue et, s'il y a lieu, adaptés ou complétés en tenant compte des spécificités locales.

L'évaluation de certains impacts peut être rendue difficile par la complexité des interactions dans et entre les systèmes naturels et socio-économiques, par la non-linéarité de certaines évolutions et par le fait qu'on ne connaît pas la valeur de certains seuils (points de basculement). L'établissement de nouveaux scénarios climatiques, l'approfondissement des recherches relatives à différents domaines d'impact et l'observation systématique des changements qui se manifestent déjà permettront de réduire les incertitudes et d'évaluer plus précisément le besoin d'agir. Il ne serait cependant pas réaliste de s'attendre à ce que les processus à l'œuvre soient compris en détail dans un avenir proche et qu'il soit ainsi possible

de mettre en place des mesures d'adaptation sur mesure dans tous les domaines concernés.

Le présent document constitue néanmoins une base permettant de définir efficacement les modalités de l'adaptation et d'utiliser de façon ciblée les ressources existantes. L'éventail des risques et opportunités répertoriés est très large. De ce fait, les approches à appliquer sont très diverses, allant de l'amélioration des connaissances relatives aux processus à l'élaboration et à l'introduction de mesures concrètes, en passant par la surveillance permanente des risques connus. Par ailleurs, on ne saurait se contenter d'assurer la gestion proactive des risques et opportunités connus, il faut aussi accorder une attention accrue à la capacité de maîtriser des évolutions inattendues.

1 Introduction

1.1 Contexte

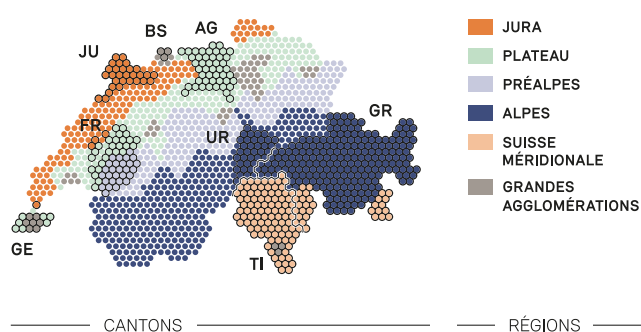
En 2009, le Conseil fédéral a chargé l'administration fédérale d'établir, pour la Suisse, une analyse des risques et opportunités liés au climat destinée à servir de base à la stratégie d'adaptation aux changements climatiques. Ce mandat a été rempli, d'une part, par des travaux menés au sein de l'administration et, d'autre part, par le vaste projet auquel le présent rapport est consacré.

Pendant la période 2009 – 2011, l'administration a répertorié neuf secteurs particulièrement concernés par les changements climatiques. La sélection opérée était axée sur les secteurs dans lesquels la Confédération dispose de possibilités d'action en matière d'adaptation. Elle reposait sur une évaluation qualitative du degré auquel ces différents secteurs sont concernés par les changements climatiques, évaluation effectuée du point de vue des services spécialisés compétents, principalement sur la base des connaissances d'experts disponibles au sein de l'administration. Ce processus a débouché sur l'établissement du premier volet de la Stratégie d'adaptation aux changements climatiques du Conseil fédéral (OFEV 2012b).

En parallèle, les risques et opportunités découlant des changements climatiques ont été analysés au moyen d'une approche fondée sur des données; cette approche est transversale et englobe tous les secteurs concernés. Ce projet (ci-après analyse des risques) se composait de huit études de cas cantonales menées dans différentes régions de Suisse (EC1 – EC8, cf. encadré à la fin du chapitre) et était rattaché aux travaux menés au sein de l'administration; il repose sur une méthodologie spécifique (Holthausen et al. 2013a). Les résultats de ces études de cas ont été transposés à six grandes régions, qui ensemble couvrent toute la Suisse (fig. 2). C'est sur cette base que les risques et opportunités prioritaires à l'échelle nationale ont été répertoriés.

Figure 2

Analyse des risques et opportunités liés aux changements climatiques : régions faisant l'objet des études de cas et grandes régions



Le présent rapport final relatif à l'analyse des risques constitue l'une des bases qui serviront à vérifier et à poursuivre le développement de la stratégie d'adaptation (OFEV 2012b) et du plan d'action (OFEV 2014a) du Conseil fédéral. Les résultats qu'il fournit permettent de fixer les priorités des activités d'adaptation à l'échelon fédéral et de gérer l'adaptation aux changements climatiques en Suisse de façon plus ciblée.

L'analyse des risques livre également des constats et des outils méthodologiques susceptibles d'être utiles aux cantons et aux régions lors de l'élaboration de leurs propres stratégies d'adaptation. La procédure suivie pour l'élaboration des huit études de cas peut être appliquée à d'autres régions ou à l'analyse plus détaillée d'un espace géographique de plus petite envergure. Lorsque les conditions-cadres sont comparables, les résultats peuvent être transposés à d'autres unités spatiales et utilisés pour concrétiser la suite du processus d'adaptation. Le rapport méthodologique relatif aux études de cas (Holthausen et al. 2013a) décrit en détail la procédure suivie pour répertorier et évaluer en toute transparence les risques et opportunités liés au climat. Le présent rapport de synthèse contient une liste détaillée des risques et opportunités pertinents pour la Suisse; il présente avec précision les risques et opportunités prioritaires et décrit une méthode de priorisation.

1.2 Structure du rapport et explications concernant les illustrations

Ce rapport de synthèse se compose d'une vue d'ensemble des principaux résultats (**résumé**) ainsi que de quinze chapitres. La présente introduction constitue le **chapitre 1**. Elle est suivie d'une description de l'approche fondée sur les risques sur laquelle repose le projet (**chapitre 2**).

Les **chapitres 3 à 14** constituent la pièce maîtresse du rapport. Ils traitent des différents défis que présente l'adaptation aux changements climatiques en Suisse et décrivent en détail les risques et les opportunités prioritaires dans le contexte de ces défis.

Les **chapitres 3 à 8 ainsi que 11 et 12** ont tous la même structure. En guise d'introduction, ils décrivent le défi tel qu'il se présente actuellement et la façon dont il pourrait évoluer sous l'effet du scénario climatique. La figure 3 (ci-dessous) montre, en prenant comme exemple le défi «Élévation de la limite des chutes de neige», la façon dont les risques (en rouge) et les opportunités (en vert) sont représentés graphiquement, selon qu'ils sont ou non prioritaires, pour chaque défi. Les risques prioritaires (et les opportunités prioritaires, lorsqu'il y en a) sont mis en évidence à l'aide d'un grand point. Lorsqu'un risque prioritaire est discuté dans le contexte d'un autre défi, le pictogramme du défi en question est indiqué.

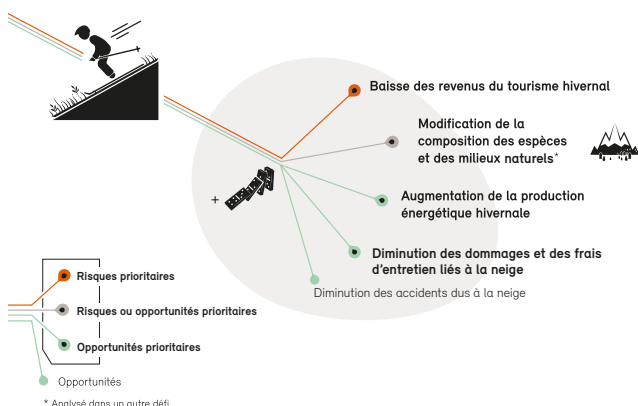
Les risques et opportunités prioritaires associés au défi en question sont ensuite décrits dans des sections séparées.

La section relative à chaque risque (ou opportunité³) prioritaire décrit :

- l'importance du secteur concerné par le risque prioritaire et l'importance des impacts possibles ;
- le processus qui mène aux impacts et l'ampleur des impacts actuels (si cela est pertinent) ;
- l'ordre de grandeur de l'évolution possible du risque sous l'effet des changements climatiques jusqu'en 2060 pour chaque grande région (cf. fig. 4) ;
- les autres critères qui font que le risque est considéré comme prioritaire (irréversibilité, infrastructures critiques, évolutions socio-économiques, conflits d'intérêts, capacité d'adaptation, cf. annexe A2.3) et les grandes régions dans lesquelles le risque est considéré comme prioritaire (cf. fig. 5) ;
- les grandes lignes des mesures d'adaptation (uniquement les axes stratégiques ; le lecteur trouvera des exemples concrets d'activités d'adaptation dans le rapport final relatif au Programme pilote d'adaptation aux changements climatiques lancé par l'OFEV (OFEV 2017c).

Figure 3

Graphique d'ensemble illustrant les risques et opportunités se rapportant au défi «Élévation de la limite des chutes de neige» (exemple)



3 L'énumération ci-dessous s'applique aussi, mutatis mutandis, aux opportunités prioritaires.

Figure 4

Carte décrivant l'évolution du risque prioritaire « Baisse des revenus du tourisme hivernal » dans les différentes grandes régions (exemple)

La carte indique sommairement et schématiquement l'ampleur des changements liés au climat qui sont attendus d'ici 2060 dans chacune des six grandes régions. Les risques sont représentés en rouge, les opportunités en vert.

Augmentation du risque :

- légère
- modérée
- importante
- non pertinent

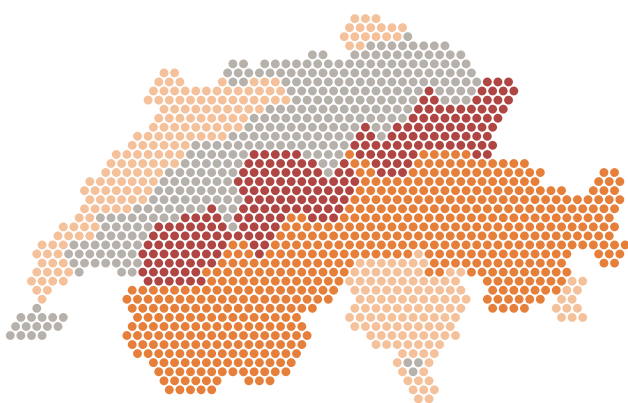


Figure 5

Pictogrammes désignant les grandes régions dans lesquelles un risque (ou une opportunité) est prioritaire

Si le risque (ou l'opportunité) n'est pas prioritaire dans une grande région, le pictogramme est représenté en nuances de gris.



Les chapitres 9 et 10 ainsi que 13 et 14 ont une structure différente de celle décrite ci-dessus. Au chapitre 9, les impacts généraux relatifs au défi « Dégradation de la qualité de l'eau, des sols et de l'air » sont présentés brièvement, alors que les risques prioritaires en relation avec ce défi sont décrits plus en détails sous le défi pour lequel ils jouent un rôle particulier. Quant au chapitre 10, qui porte sur le défi « Modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages », il est subdivisé en sections traitant, pour les premières, des écosystèmes particulièrement sensibles aux changements climatiques et, pour les suivantes, des enjeux généraux qui se posent à tous les écosystèmes. Les risques et opportunités prioritaires liés à ce défi sont traités dans les sections auxquelles ils se rapportent.

Les chapitres 13 et 14 décrivent les risques dits « wild-cards » ainsi que les risques et opportunités liés aux impacts climatiques touchant l'étranger. Ils traitent des enjeux découlant de la complexité des interactions entre le climat, la nature, la société et l'économie aux plans national et international. Le chapitre 13 porte sur les risques susceptibles de toucher la Suisse, dont la probabilité de matérialisation est minime ou presque impossible à estimer, mais qui présentent un gros potentiel de

Référencement des études de cas dans le présent rapport

Les huit études de cas cantonales constituent l'un des principaux fondements du présent rapport. Elles sont donc fréquemment citées. Par souci de simplicité, elles sont référencées par un sigle. On trouvera dans la bibliographie les informations complètes y relatives.

- EC1 = Étude de cas portant sur le canton d'Argovie
- EC2 = Étude de cas portant sur le canton de Bâle-Ville
- EC3 = Étude de cas portant sur le canton de Fribourg
- EC4 = Étude de cas portant sur le canton de Genève
- EC5 = Étude de cas portant sur le canton des Grisons
- EC6 = Étude de cas portant sur le canton du Jura
- EC7 = Étude de cas portant sur le canton du Tessin
- EC8 = Étude de cas portant sur le canton d'Uri

dommages. Le chapitre 14 tient compte du fait que la Suisse est très fortement engagée dans des relations économiques internationales susceptibles d'être impactées par des événements ou des évolutions liés au climat.

Quant au dernier chapitre, le **chapitre 15**, il aborde les incertitudes liées à l'évaluation des impacts des changements climatiques sur la nature, la société et l'économie. Il nomme les déficits de connaissance existants et renseigne sur les actions possibles dans un contexte marqué par l'incertitude.

Le rapport se termine par une longue **annexe** comportant la liste complète des risques et opportunités identifiés, une description détaillée de la procédure méthodologique suivie ainsi que la liste complète des experts ayant participé à l'élaboration de la méthodologie, des études de cas ou de la synthèse.

2 Identification des risques et des opportunités

La présente synthèse répertorie et priorise les risques et opportunités liés au climat pour l'ensemble du territoire suisse. Elle repose sur les informations obtenues dans le cadre des huit études de cas cantonales ainsi que sur un vaste éventail de publications spécialisées et de connaissances d'experts. L'approche méthodologique choisie est décrite plus en détail à l'annexe A2. Les principales caractéristiques de la procédure choisie sont les suivantes :

- s'agissant de l'évolution du climat aux plans mondial, national et régional, l'analyse repose sur des bases consolidées scientifiquement et bien documentées (dont les projections les plus récentes disponibles) ;
- les connaissances de quelque 360 experts nationaux, régionaux ou locaux ont été prises en compte à l'occasion d'ateliers et au travers de la relecture des ébauches des différents rapports, y compris le présent rapport ;
- l'élaboration des études de cas et la transposition de leurs résultats aux grandes régions de Suisse correspondantes reposent sur une méthodologie s'appliquant de façon cohérente à tous les secteurs.

Scénarios climatiques

Les affirmations relatives aux risques et opportunités figurant dans le présent rapport reposent sur le scénario d'évolution du climat « Changements climatiques de grande amplitude » établi à partir du scénario d'émissions A1B du GIECC. Le scénario A1B part du principe que les émissions mondiales de gaz à effet de serre continueront d'augmenter au même rythme qu'aujourd'hui au cours des prochaines décennies. Un scénario climatique avait déjà été calculé pour la Suisse sur cette base il y a quelques années (CH2011 2011). Il décrivait l'évolution attendue, saison par saison, des températures et des précipitations entre « aujourd'hui », c'est-à-dire la moyenne de la période 1980 – 2009, et « 2060 », c'est-à-dire la moyenne de la période 2045 – 2074, et indiquait au moyen de fourchettes les valeurs de températures et de précipitations les plus vraisemblables pour 2060.

Pour le scénario « Changements climatiques de grande amplitude », ce ne sont pas les estimations moyennes qui ont été prises en compte, mais la valeur la plus élevée ou la plus basse de la fourchette, selon le paramètre considéré. Ainsi, on a retenu les valeurs les plus hautes pour les projections de température relatives à toutes les saisons, tandis que, pour les projections concernant les précipitations, on a pris les valeurs les plus hautes pour l'hiver et le printemps, et les valeurs les plus basses pour l'été et l'automne. Le scénario « Changements climatiques de grande amplitude » décrit donc des changements d'une ampleur légèrement plus importante que les valeurs moyennes découlant du scénario d'émissions A1B (hausse plus importante des températures, davantage de précipitations en hiver et sécheresses plus marquées en été).

Priorisation des risques et opportunités

Les huit études de cas ont débouché sur l'établissement d'une liste détaillée de risques et d'opportunités. Pour pouvoir fixer les grands axes de la planification des mesures d'adaptation ou de l'amélioration des bases de planification, cette liste a été priorisée au moyen de critères uniformes au terme des études de cas.

Une première priorisation a été établie sur la base de la différence entre le risque actuel et le risque à l'horizon 2060 dans l'hypothèse où aucune mesure d'adaptation ne serait prise. Pour affiner l'appréciation des risques et opportunités, d'autres critères ont été pris en compte, comme les changements socio-économiques prévisibles, le caractère irréversible d'un dommage potentiel ou la capacité d'adaptation de la région concernée. On trouvera la liste complète des critères utilisés pour la priorisation dans la description de la méthodologie appliquée (annexe A2.3).

Cette procédure a été appliquée aux résultats des huit études de cas, puis, dans une deuxième étape, aux résultats des six grandes régions. C'est ainsi qu'une trentaine

de risques et opportunités prioritaires ont pu être dégagés, puis rattachés aux principaux défis à relever au plan fédéral pour l'adaptation aux changements climatiques (OFEV 2012b). Ces risques et opportunités prioritaires sont décrits de manière approfondie aux chapitres 3 à 14.

Défis de l'adaptation aux changements climatiques : quelques précisions

La stratégie d'adaptation du Conseil fédéral (OFEV 2012b) distingue douze défis à relever dans le cadre de l'adaptation aux changements climatiques. Huit d'entre eux se rapportent à des impacts climatiques bien précis :

- accentuation des fortes chaleurs dans les agglomérations et les villes ;
- accroissement de la sécheresse estivale ;
- élévation de la limite des chutes de neige ;
- aggravation du risque de crues ;
- fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain ;
- dégradation de la qualité de l'eau, des sols et de l'air ;
- modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages ;
- propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques.

La stratégie d'adaptation mentionne quatre autres défis liés à des thématiques transversales⁴. Ces défis ne sont pas traités dans la présente analyse des risques. Les nouveaux résultats obtenus montrent toutefois que la liste des défis doit être complétée par quatre nouveaux défis :

- amélioration des conditions locales (terme générique désignant les opportunités offertes par les changements climatiques) ;
- risques wildcards (terme générique désignant les risques dont la probabilité de survenance n'est pas quantifiable, mais qui pourraient être lourds de conséquences) ;
- impacts des changements climatiques à l'étranger ;
- modification de l'activité des tempêtes et de la grêle (ne peut pour l'heure pas être évaluée avec suffisamment de certitude).

Les douze défis susmentionnés sont présentés et illustrés par des pictogrammes dans le résumé (fig. 1). La désignation de certains défis a dû être légèrement modifiée par rapport à celle figurant dans la stratégie d'adaptation afin de couvrir tous les risques et toutes les opportunités. Ainsi, le premier défi porte désormais la désignation plus générale d'« Accentuation des fortes chaleurs », car les recherches effectuées ont montré que le besoin d'agir dû à la canicule devrait aussi augmenter en dehors des régions densément bâties. Le défi « Accroissement de la sécheresse » s'est vu lui aussi attribuer une appellation plus générale, car il ne concerne pas seulement la saison estivale.

Portée des résultats

La présente analyse des risques n'a pas la prétention d'avoir identifié l'ensemble des risques et opportunités liés au climat susceptibles de concerner la Suisse. Son objectif est d'en donner une vue d'ensemble à l'échelle de la Suisse et des grandes régions. Elle tient ainsi compte des principales caractéristiques des différents milieux naturels de Suisse, mais non de toute la diversité des

Risques et opportunités (définition)

Par **risque**, on entend le produit de la probabilité de survenance d'un événement et de l'ampleur des dommages qu'il provoque. Par **opportunité**, on entend le produit de la probabilité de survenance d'un événement et des avantages qu'il apporte. Les risques et opportunités sont déterminés pour la période actuelle (2010 env.) et pour la période aux alentours de 2060 (moyenne de la période 2045 – 2074).

Pour analyser des **aléas naturels** tels que les tempêtes et les crues, on se fonde sur des **événements centennaux**. Pour les **évolutions lentes** comme celle des températures moyennes ou de la limite des chutes de neige, on détermine les **valeurs attendues chaque année** pour les risques (ou les opportunités).

Dans la présente analyse des risques, les **risques et opportunités liés aux changements climatiques (=risques et opportunités liés au climat)** correspondent à la différence entre l'évaluation du risque pour la période aux alentours de 2060 et son évaluation dans les conditions climatiques actuelles.

⁴ Suivi et détection précoce, Réduction des incertitudes et consolidation des connaissances, Sensibilisation, information et coordination et Besoins en ressources et financement

particularités climatiques, géographiques et socio-économiques existant à l'échelon local. Pour pouvoir tirer des conclusions à ce niveau-là, il faudra procéder à des recherches à la fois ciblées et approfondies, qui pourront se fonder sur le présent rapport de synthèse et sur les différentes études de cas.

Lors de l'interprétation des résultats, il faut tenir compte du fait que les projections climatiques et les évaluations des risques sont entachées d'incertitudes considérables (cf. chapitre 15). Elles donnent certes des points de repère pour l'évolution d'importants paramètres influencés par le climat, indiquant ainsi les conséquences possibles pour la nature, la société et l'économie, et elles peuvent aider les acteurs potentiellement concernés à planifier de façon prévoyante leurs mesures d'adaptation. Néanmoins, au fur et à mesure que progresseront les connaissances sur l'évolution du climat et de ses impacts, les risques et les opportunités identifiés devront être réexaminés et, s'il y a lieu, adaptés et complétés en tenant compte du cadre économique et politique, lui aussi en constante évolution.

3 Accentuation des fortes chaleurs



- Dégradation de la santé humaine
- Baisse de la productivité au travail
- Augmentation du besoin en énergie de refroidissement



Brouillard de microgouttelettes pulvérisé pour refroidir une étable dans la région de Bâle (2015)

Photo : Juri Junkov

Les changements climatiques sont synonymes de hausse des températures. Ce ne sont pas seulement les températures moyennes qui augmentent, mais aussi les températures extrêmes. À Bâle, le thermomètre pourrait bien atteindre, à l'horizon 2060, les températures que connaît actuellement Lugano. Les températures qui règneront alors à Genève correspondront à celles que connaît actuellement Milan, et à Lugano, il fera aussi chaud qu'aujourd'hui à Florence ou à Rome (MétéoSuisse 2014a).

Les vagues de chaleur sont des périodes de chaleur extrême. La façon dont la chaleur est perçue dépend des températures habituelles à l'endroit considéré, si bien que

les fortes chaleurs ne se définissent pas de la même façon à Saint-Gall et à Sion. On parle de vague de chaleur dès lors que la température maximale diurne est supérieure au 90 % des valeurs locales mesurées lors de la période de référence (1981 – 2010) pendant au moins six jours consécutifs entre mai et septembre (Füssler et al. 2015).

Le nombre, tel que défini par des critères météorologiques, de journées de canicule (journées où la température maximale est supérieure ou égale à 30 °C) et de nuits tropicales (nuits où la température minimale est supérieure ou égale à 20 °C) ainsi que la durée de tels épisodes sont de bons indicateurs des fortes chaleurs. L'humidité

de l'air joue aussi un rôle important, car la chaleur est plus difficile à supporter lorsque l'humidité relative de l'air est élevée. MétéoSuisse émet donc des avis de canicule dès lors que le «Heat Index» ou indice de canicule, qui est calculé à partir de la température et de l'humidité relative de l'air et constitue une mesure de la «température ressentie», dépasse un seuil prédéfini pendant trois jours consécutifs (MétéoSuisse 2014b).

La canicule frappe surtout en été et à basse altitude, c'est-à-dire dans les zones où vit une grande partie de la population suisse. Dans des cantons alpins comme les Grisons et le Valais, ce sont également les vallées de basse altitude qui sont les plus densément peuplées (EC5). Quant aux grandes agglomérations et aux villes, elles sont particulièrement touchées par les fortes chaleurs en raison de l'effet d'îlot de chaleur (OFEV 2012b, EEA 2012b, Patz et al. 2005).

L'effet dit d'îlot de chaleur décrit le microclimat particulier aux villes : fort réchauffement durant la journée et faible baisse des températures pendant la nuit. Il est causé par plusieurs facteurs : circulation de l'air entravée par la

densité du milieu bâti, haut degré d'absorption du rayonnement solaire dû à la part élevée de surfaces imperméabilisées et aux matériaux de construction utilisés, chaleur émise par le trafic, l'industrie et les bâtiments, insuffisance des espaces verts et des ombrages. La différence de température entre une ville et ses environs peut atteindre 10 °C, et c'est la nuit qu'elle est la plus marquée (OFEV 2012b, Académies suisses des sciences 2016a, DEFRA 2012b).

Évolution observée et évolution attendue

En Suisse, la température des journées et des semaines les plus chaudes a augmenté d'environ 2 °C depuis 1901. Pendant la même période, le nombre d'extrêmes de température⁵ a plus que triplé (Scherrer et al. 2016). La hausse des températures de l'air moyennes et maximales en été constitue l'une des prédictions les plus robustes des projections climatiques (GIEC 2013). En Suisse, on s'attend à ce que l'intensité, la fréquence et la durée des vagues de chaleur augmentent sensiblement (CH2011 2011). L'été 2003 est vraisemblablement le plus chaud

⁵ Nombre de jours lors desquels la température maximale diurne est supérieure au 99 % des valeurs mesurées.

Figure 6

Accentuation des fortes chaleurs : vue d'ensemble des risques, qu'ils soient ou non prioritaires

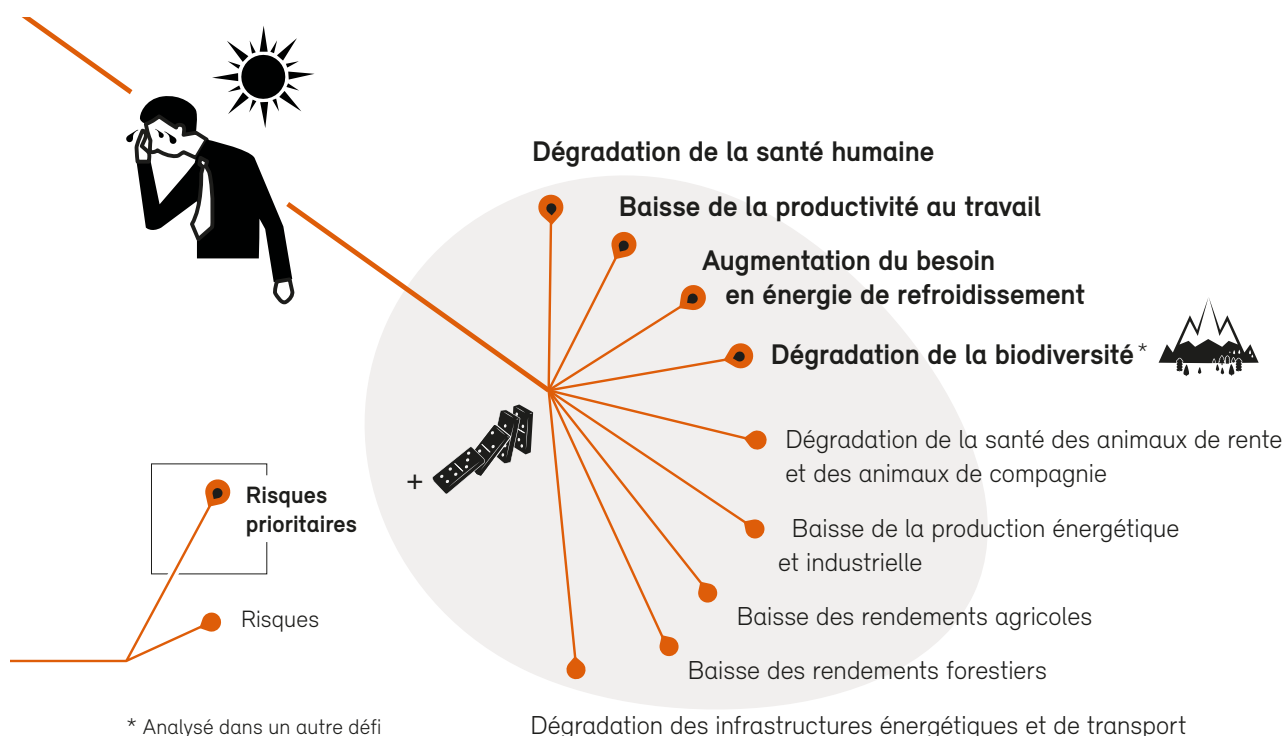


Tableau 1

Nombre de journées de canicule et de nuits tropicales à Bâle et à Genève

	Journées de canicule		Nuits tropicales	
	Aujourd'hui	2060	Aujourd'hui	2060
Bâle (sans /avec effet d'îlot de chaleur)	10/16	33/45	1/3	17/29
Genève (sans /avec effet d'îlot de chaleur)	14/22	42/54	1/2	18/31

(Source: Füssler et al. 2015)

qu'ait connu l'Europe depuis au moins 500 ans (Occc/SCNAT 2005). Il pourrait devenir la norme dès le milieu, et au plus tard à la fin de ce siècle. Au moins un été sur deux serait alors aussi chaud, voire plus, que celui de 2003 (Schär et al. 2004).

Le tableau 1 (ci-dessus) indique le nombre de journées de canicule et de nuits tropicales répertorié à Bâle et à Genève. Il présente la situation actuelle (valeur moyenne pour les années 1981 – 2010; période de référence)

La canicule de l'été 2015

L'été 2015 est, après celui de 2003, le deuxième été le plus chaud depuis le début des mesures, qui remonte à 1864. Caractérisé par des périodes de canicule persistante, le mois de juillet 2015 est même le plus chaud jamais répertorié. Genève a enregistré la température la plus élevée recensée au nord des Alpes depuis le début des mesures: 39,7 degrés.

L'été 2015 a également été marqué par le nombre de journées de canicule le plus élevé depuis 2003. Quant au nombre de nuits tropicales, il a atteint en 2015 la valeur la plus élevée jamais enregistrée, à égalité avec 2003. En 2015, Genève a connu 34 journées de canicule et 4 nuits tropicales (MétéoSuisse 2016c). L'été 2015, à l'instar de celui de 2003, n'a pas seulement été caniculaire, il a aussi été sec. La quantité de précipitation s'est inscrite nettement au-dessous de la moyenne. La sécheresse a été particulièrement marquée en juillet. La canicule et la sécheresse de l'été 2015 ont eu de nombreux impacts sur la biodiversité, la santé humaine, la gestion des eaux, l'agriculture, l'économie forestière et le secteur de l'énergie.

(Sources: OFEV 2016b, MétéoSuisse 2016a)

et les projections pour 2060 (valeur moyenne pour la période 2045 – 2074). Les valeurs «avec effet d'îlot de chaleur» mettent en évidence la charge thermique supplémentaire qui pèse sur les noyaux urbains. La figure 6 présente les risques, prioritaires ou non, liés au défi Accentuation des fortes chaleurs.

3.1 Dégradation de la santé humaine

Les vagues de chaleur sont les événements naturels qui ont provoqué le plus de décès en Europe au cours des dernières décennies (EEA 2017). En Suisse aussi, les spécialistes s'accordent à dire que l'accentuation des fortes chaleurs est une source majeure d'impacts sur le secteur de la santé (Jörin et al. 2016).

L'être humain, lorsqu'il est en bonne santé, présente une température corporelle d'environ 37 °C, qui est régulée par la transpiration, le débit cardiaque et l'irrigation sanguine de la peau (Millard 2016). Cette régulation se fait moins bien sous l'effet conjugué de températures élevées, d'une forte humidité, de la stagnation de l'air et du rayonnement solaire (EC1). Les effets possibles des hautes températures sont les suivants: déshydratation, sécheresse buccale, hyperthermie, élévation du pouls, faiblesse, fatigue, crampes musculaires, confusion mentale, vertiges, troubles de la conscience, troubles du sommeil, maux de tête, nausées, vomissements, diarrhée, coup de chaleur, problèmes cardio-vasculaires pouvant entraîner la mort (Thommen & Braun-Fahrlander 2004, OFSP & OFEV 2016).

Plusieurs études (Grize et al. 2005, Dousset et al. 2011, OFEV 2016b) ont montré que les températures nocturnes, lorsqu'elles sont élevées (nuits tropicales), jouent un rôle

décisif dans l'aggravation des risques sanitaires et les décès dus à la chaleur, car elles empêchent la récupération après les journées de canicule. Le moment auquel la vague de chaleur se produit a également de l'importance : les premières vagues de chaleur de l'année et celles qui surviennent en début d'été présentent plus de risques pour la santé que les suivantes. Les décès dus à la chaleur ont pour la plupart lieu au début des vagues de chaleur. L'être humain peut s'adapter temporairement à des températures inhabituellement élevées (PNUD 2016, Vicedo-Cabrera et al. 2016), et les personnes sensibles à la chaleur qui survivent à la première vague de chaleur ne décèdent généralement pas lors des suivantes (Thommen & Braun-Fahrlander 2004, Hajat et al. 2002).

Les personnes âgées sont particulièrement exposées aux risques sanitaires induits par les fortes chaleurs, car leur capacité à réguler leur température corporelle et à ressentir la soif est amoindrie. Les autres groupes à risque sont les personnes atteintes de maladies (chroniques), les jeunes enfants, les femmes enceintes et les personnes isolées socialement (Kovats & Hajat 2008, Wilhelmi & Hayden 2010).

Les vagues de chaleur peuvent aussi entraîner des hausses de la concentration d'ozone troposphérique car, moyennant la présence de gaz précurseurs (oxydes d'azote et composants organiques volatils), la formation de ce polluant augmente sous l'effet de températures élevées et d'un rayonnement solaire intense (OcCC/ProClim 2007 ; cf. 9.3). Les situations anticycloniques de longue durée augmentent encore la concentration d'ozone (Lawrence et al. 2014, Confédération Suisse 2015). En Europe, l'ozone est actuellement le polluant atmosphérique le plus dangereux pour la santé (Eis et al. 2010). Chez l'être humain, il est source d'irritations oculaires, de toux, d'asthme, d'affections pulmonaires, de dégradation de la fonction pulmonaire et, en présence de facteurs aggravants, il peut même entraîner la mort (Académies suisses des sciences 2016a et 2016b).

En plus de leurs impacts sanitaires, les fortes chaleurs et la pollution par l'ozone augmentent les coûts des soins et des traitements médicaux. C'est ainsi, entre autres, que le nombre d'hospitalisations d'urgence augmente pendant

les vagues de chaleur (Michelozzi et al. 2009, Cerutti et al. 2004, CH2014-Impacts 2014).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Avec les 1000 décès supplémentaires qu'elle a provoqués en Suisse (Grize et al. 2005, Robine et al. 2007), la canicule de l'été 2003 a montré que les vagues de chaleur peuvent d'ores et déjà avoir de graves conséquences. Selon les estimations de la Commission fédérale de l'hygiène de l'air, entre 13 et 30 % des décès supplémentaires de cet été-là sont dus à l'augmentation de la concentration d'ozone (CFHA 2004).

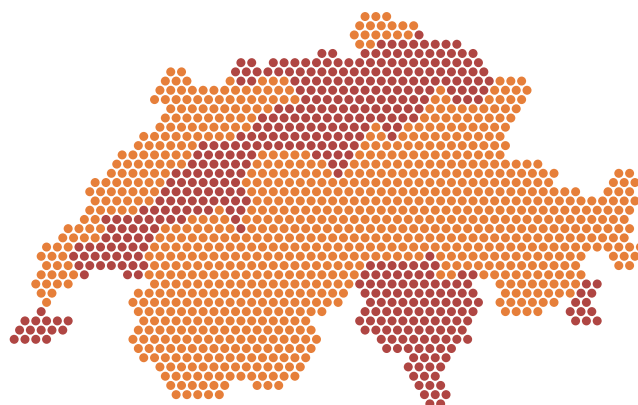
Les changements climatiques entraîneront une augmentation des risques sanitaires liés aux fortes chaleurs (GIEC 2014). À l'horizon 2060, on s'attend à une hausse significative de ces risques dans les agglomérations, en Suisse méridionale et sur le Plateau, et à une hausse modérée dans les Préalpes, les Alpes et le Jura (fig. 7).

Figure 7

Dégradation de la santé humaine : évolution du risque dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- modérée
- importante



Bien que les températures soient plus basses en altitude qu'en plaine et qu'on ne s'attende pas à ce que les Préalpes et les Alpes connaissent à l'avenir un nombre élevé de journées de canicule et de nuits tropicales, le risque sanitaire lié aux fortes chaleurs doit là aussi être

pris en compte. Peu habituée aux vagues de chaleur, la population de ces régions présente une faible capacité d'adaptation, ce qui la rend plus vulnérable aux épisodes caniculaires que, par exemple, la population de Suisse méridionale (Grize et al. 2005).

Si, d'un point de vue éthique, on attribue une grande importance au danger que représentent les fortes chaleurs, c'est que celles-ci peuvent avoir des conséquences irréversibles (décès). Les structures légales – existence de différentes lois (loi sur le travail, loi sur l'assurance-accidents), mais absence de loi-cadre uniforme – entravent la capacité d'adaptation de la Suisse à ce risque (Jörin et al. 2016), qui est influencé non seulement par des facteurs environnementaux, mais aussi par les évolutions socio-économiques (EC2 – EC5, EC7, EC8). Le vieillissement de la population et l'augmentation du nombre de personnes en situation de dépendance entraîneront un accroissement surproportionné de la vulnérabilité aux vagues de chaleur. Le fait que le pourcentage de personnes habitant dans des régions densément peuplées devrait encore augmenter rend le risque encore plus aigu. La part des bâtiments dotés d'installations de climatisation pourrait en revanche augmenter d'ici 2060, mais cela irait à l'encontre des objectifs de la politique énergétique et climatique, qui visent une réduction de la consommation d'énergie (cf. 3.3).

Une adaptation physiologique du corps humain à des températures plus élevées est certes possible, et ce aussi bien à court terme qu'à long terme (c.-à-d. chez les générations futures). L'adaptation à long terme ne peut toutefois se faire qu'en cas d'élévation des températures moyennes, non sous l'effet des extrêmes de température (Académies suisses des sciences 2016a, OcCC/ProClim 2007).

Le fait que des vies humaines sont en jeu, l'influence des évolutions socio-économiques et l'impact des changements climatiques sur ce risque font qu'il doit être considéré comme prioritaire pour l'ensemble de la Suisse (fig. 8).

Figure 8

Grandes régions dans lesquelles le risque « Dégradation de la santé humaine » est prioritaire



La mortalité lors de l'été 2015

En Suisse, on a observé pendant les mois de juin à août 2015 quelque 800 décès de plus que ce qui aurait été normal, ce qui correspond à une augmentation du taux de mortalité de 5,4 % (à titre de comparaison, la surmortalité s'était élevée à 6,9 % lors de la canicule de l'été 2003). Les trois quarts des personnes décédées avaient plus de 75 ans.

Ce sont le Tessin, le nord-ouest de la Suisse et le Plateau qui, avec une hausse du taux de mortalité de 9 % et plus, ont été les plus touchés. En Suisse orientale, région qui est restée la plus fraîche de tout le pays, on a en revanche observé des taux de mortalité inférieurs à la norme.

Bien que la Suisse romande ait elle aussi été touchée par la canicule, la surmortalité ne s'y est élevée qu'à 5,2 %, ce qui est moins que la moyenne nationale. Il est possible que ce bon résultat soit dû aux plans de mesures qui avaient été élaborés par les cantons romands à la suite de l'été 2003 et qui ont été mis en œuvre durant l'été 2015. Il n'est cependant pas exclu que les températures nocturnes et les températures ressenties aient eu plus d'impact sur le taux de mortalité que les températures maximales diurnes. Au Tessin, les premières étaient en effet plus élevées qu'en Suisse romande, même si c'est en Suisse romande qu'on a mesuré les températures maximales diurnes les plus élevées.

(Sources : OFEV 2016b, Vicedo-Cabrera et al. 2016)

Diminution du nombre de décès et de maladies dues au froid⁶

À l'avenir, la population suisse devrait moins souffrir de maux dus au froid (hypothermie, affections cardio-vasculaires et affections des voies respiratoires). Les impacts dus au froid, à la différence de ceux liés à la chaleur, se font sentir surtout en altitude et jusqu'à trois à quatre semaines après les vagues de froid (Gasparrini et al. 2015).

En Suisse, le taux de mortalité est plus élevé en hiver qu'en été. Cette mortalité hivernale accrue s'explique moins par l'effet des basses températures sur l'homme que par le virus de la grippe, dont la propagation est favorisée par le froid (Ballester et al. 2016).

Il est très probable que la fréquence et la durée des vagues de froid diminueront à l'avenir, ce qui ne signifie cependant pas qu'il n'y en aura plus (CH2011 2011). Les vagues de froid continueront de constituer un risque sanitaire, surtout si la population suisse devait perdre sa capacité d'adaptation aux basses températures (Ballester et al. 2016).

Mesures d'adaptation

Différentes mesures peuvent contribuer à réduire le risque de dégradation de la santé humaine sous l'effet des fortes chaleurs. La sensibilisation de la population contribue à l'adoption des bons comportements (OFEV 2014a). Chacun peut par exemple éviter les efforts physiques durant les heures les plus chaudes de la journée, se rafraîchir, ne pas laisser entrer la chaleur, boire suffisamment et manger léger, ce qui diminue le risque de façon significative (OFSP & OFEV 2016). Les systèmes d'alerte canicule et les plans canicule permettent en outre de mettre en œuvre rapidement des procédures coordonnées et ciblées. Des mesures d'aménagement du territoire dans les villes (corridors d'aération, espaces non bâtis, augmentation des espaces verts et des étendues d'eau, ombrages) et des mesures architecturales (façades et toits végétalisés ou de couleur claire, climatisation) peuvent réduire encore davantage le risque (DEFRA 2012c, OcCC/ProClim 2007).

3.2 Baisse de la productivité au travail

La Suisse vante ses produits et services en invoquant des valeurs comme la qualité, la précision, l'innovation et la fiabilité, qui dépendent entre autres des performances de la main-d'œuvre. Si la productivité de cette dernière diminue en raison de la chaleur, cela ne sera pas sans conséquence pour l'économie suisse.

Les fortes chaleurs sur le lieu de travail ont pour effet de diminuer le bien-être, ce qui peut se traduire par une sensation de faiblesse, de la fatigue, des difficultés de concentration, etc. Ces symptômes n'empêchent certes pas de travailler, mais ils réduisent la productivité (EC1). Le risque de baisse de la productivité au travail est étroitement lié au risque de dégradation de la santé humaine (cf. 3.1). Les baisses de productivité se produisent elles aussi durant les vagues de chaleur, et elles ne dépendent pas seulement de la chaleur qui règne pendant la journée, mais aussi de l'humidité de l'air, du vent et du rayonnement solaire (DEFRA 2012a).

Contrairement à ce qui se passe pour la dégradation générale de la santé humaine sous l'effet des fortes chaleurs, les baisses de productivité dues à la chaleur touchent en premier lieu la population active occupée, et non les personnes âgées ou affaiblies. La baisse de productivité dépend d'une part du lieu de travail et d'autre part du type de travail exercé. La chaleur extrême réduit la productivité des personnes travaillant dans des bâtiments mal isolés ou non climatisés. L'activité physique lors des périodes de canicule aggrave les impacts sur la santé. Les personnes qui effectuent un travail physique en plein air sont donc particulièrement exposées. Il y a là un risque accru de baisse de la productivité (EC7, EEA 2017, UNDP 2016).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Aujourd'hui déjà, les vagues de chaleur provoquent une importante diminution du bien-être et des baisses de productivité chez de nombreuses personnes (EC1). Le Secrétariat d'État à l'économie (SECO) estime que, dans le cas des personnes effectuant des travaux pénibles en plein air, les performances commencent à diminuer à partir d'une température de 23 °C, tandis que les personnes effectuant du travail de bureau (en position assise) peuvent

⁶ L'opportunité (non prioritaire) « Diminution du nombre de cas de maladies et de décès liés au froid » est rattachée au défi « Amélioration des conditions locales » (chapitre 12).

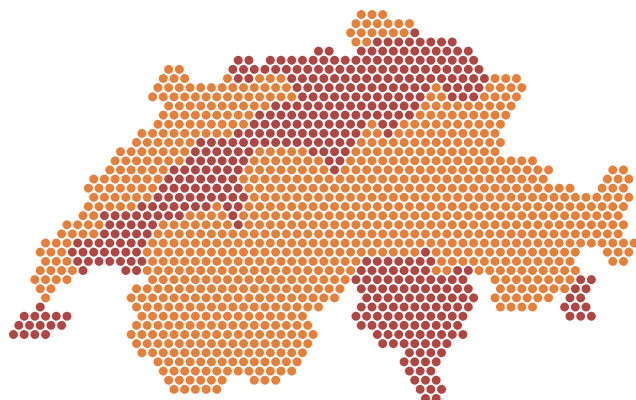
rester efficaces jusqu'à 31 °C au plus (SECO 2007a et 2007b). Selon d'autres analyses, les performances diminuent à partir de 26 °C et les pertes de productivité s'inscrivent entre 3 et 12 % pour les températures allant de 26 à 36 °C (Bux 2006, OcCC/ProClim 2007).

À l'avenir, le risque de baisse de la productivité au travail augmentera pendant les périodes de fortes chaleurs. On s'attend à une augmentation significative de ce risque dans les grandes agglomérations, sur le Plateau et en Suisse méridionale. En revanche, ce risque ne devrait augmenter que de façon modérée dans les Préalpes, les Alpes et le Jura, car les fortes chaleurs seront moins marquées dans ces régions-là (fig. 9).

Figure 9
Évolution de la baisse de la productivité au travail dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- modérée
- importante



Pour évaluer les pertes pour l'économie nationale dues à la baisse de la productivité au travail à l'horizon 2060, il faut prendre en compte non seulement les changements climatiques, mais aussi les évolutions socio-économiques. En effet, l'influence des facteurs non climatiques (évolution de la valeur ajoutée brute du pays et de la répartition de cette dernière entre les différents secteurs de l'économie, etc.) est tout aussi significative (EC2, EC4, EC7, EC8). De manière générale, les personnes employées dans le secteur tertiaire sont moins touchées par la canicule que celles travaillant dans les autres secteurs. La croissance

démographique, l'évolution de la pyramide des âges et la possible élévation de l'âge de la retraite doivent également être pris en compte.

L'évolution future du comportement de la main-d'œuvre et des conditions de travail jouent également un rôle. Pour le travail en plein air, les principaux aménagements pertinents sont la possibilité de travailler aux heures les plus fraîches de la journée, de planifier un nombre suffisant de pauses et d'utiliser les ombrages existants.

À l'horizon 2060, le bien-être thermique dans les bâtiments pourrait être amélioré par la pose d'installations de climatisation et par des optimisations de l'enveloppe des bâtiments tenant compte du réchauffement climatique (EC7, Brunner et al. 2008). Il s'agira toutefois de maintenir à un minimum la consommation supplémentaire d'énergie de refroidissement afin d'éviter à la fois des conflits avec la politique énergétique et une éventuelle hausse des émissions de gaz à effet de serre due à la production d'électricité (OFEV 2012b, OFEV 2014a).

Relevons que si certaines de ces évolutions amèneront une amélioration du bien-être de la main-d'œuvre et, par là, une diminution des baisses de la productivité au travail, elles risquent tout de même de provoquer des surcoûts dus à la climatisation ou aux augmentations de salaire à consentir en raison d'horaires de travail non conventionnels (EC7).

Le risque de baisse de la productivité au travail est prioritaire dans les grandes agglomérations, sur le Plateau et en Suisse méridionale parce que, d'une part, c'est dans ces régions-là que les changements climatiques les plus importants sont attendus et que, d'autre part, les évolutions socio-économiques et les conflits potentiels pourraient aggraver la situation (fig. 10).

Figure 10

Grandes régions dans lesquelles le risque « Baisse de la productivité au travail » est prioritaire



Mesures d'adaptation

Comme indiqué sous 3.1, l'homme peut s'adapter sur le long terme à des températures plus élevées. Il existe en outre des mesures efficaces permettant de réduire la baisse de la productivité au travail. La sensibilisation de la main-d'œuvre aux effets de son comportement et l'adaptation des conditions de travail (horaires de travail, protection solaire, mesures architecturales concernant les bâtiments) permettent de réduire sensiblement le risque (UNDP 2016).

Les baisses de la productivité en chiffres – l'exemple du Tessin

Le produit intérieur brut (PIB) du canton du Tessin s'élève aujourd'hui à quelque 27 milliards de francs. Selon l'étude de cas relative à ce canton, les coûts annuels induits par la baisse de la productivité au travail sur le territoire cantonal s'élèvent actuellement à quelque 5 millions de francs. Les pertes en cas d'événement extrême comme la canicule de l'été 2003 sont estimées à quelque 30 millions de francs (environ 1 ‰ du PIB). Vers 2060, les pertes moyennes pourraient atteindre 33 millions de francs par an.

(Source : EC7)

3.3 Augmentation du besoin en énergie de refroidissement

La hausse des températures liée aux changements climatiques est susceptible d'entraîner une augmentation du besoin en énergie de refroidissement (GIEC 2014). Une telle évolution n'est pas souhaitable du point de vue de la politique énergétique et climatique (OFEV 2014a). Si le besoin supplémentaire est couvert par des agents énergétiques fossiles, cela entraînera une augmentation des émissions de CO₂ et une accélération des changements climatiques. Si cette énergie supplémentaire est d'origine renouvelable, il conviendra de l'utiliser de manière aussi économe que possible.

Le besoin en énergie de refroidissement dépend avant tout de la température et, dans une moindre mesure, du rayonnement solaire et de la force du vent (Adelphi/PRC/EURAC 2015). Il se subdivise en plusieurs composantes : refroidissement des locaux, des véhicules routiers et ferroviaires, des produits périssables, des processus industriels et des centrales thermiques. S'agissant des bâtiments et des moyens de transport, le besoin de refroidissement se fait surtout sentir en été, mais certaines branches ont ce type de besoin toute l'année, et elles utilisent souvent les eaux souterraines ou l'eau des lacs et rivières à des fins de refroidissement (EC2).

Impacts constatés et impacts prévisibles

En 2011, 2,8 % de la consommation totale d'énergie du pays ont été consacrés au refroidissement des locaux (OFEN 2015a). Si la part des surfaces refroidies est encore négligeable dans les bâtiments d'habitation (≤ 1 %), elle atteint d'ores et déjà quelque 20 % dans les bâtiments de service et les bâtiments industriels (CH2014-Impacts 2014, EC2, EC4). Le refroidissement compte pour 3,1 % en moyenne de la consommation de carburant des véhicules à moteur (Holthausen et al. 2013b) et pour 6 % environ de la consommation d'énergie des trains des CFF (EC7).

Le nombre de degrés-jours de climatisation⁷ est un bon indicateur du besoin en énergie de refroidissement. Aujourd'hui, on en dénombre entre 100 et 200 par an dans

⁷ Somme des différences entre la température diurne moyenne et la température de référence (18,3 °C/65 °F) des jours où la température moyenne s'élève à au moins 18,3 °C.

les plaines du nord des Alpes et 300 en Suisse méridionale. À l'horizon 2060, le nombre de degrés-jours de climatisation aura augmenté d'un facteur de deux à cinq selon l'altitude, étant entendu qu'à des altitudes élevées, l'augmentation sera plutôt importante en termes relatifs, mais plutôt faible en termes absolus (EC2 – EC5, EC7, EC8).

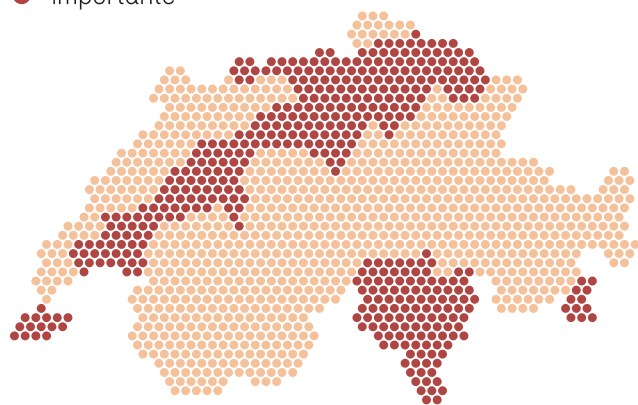
On s'attend à une augmentation significative du besoin en énergie de refroidissement (+130 % environ) dans les grandes agglomérations, sur le Plateau et en Suisse méridionale. À plus haute altitude (Préalpes, Alpes et Jura), l'augmentation en chiffres absolus devrait être minime (fig. 11).

Figure 11

Évolution du besoin en énergie de refroidissement dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- légère
- importante



Les facteurs socio-économiques agissent eux aussi sur l'évolution du besoin en énergie de refroidissement. La croissance démographique, une éventuelle augmentation de la prospérité et l'accroissement des exigences en matière de confort sont autant de facteurs qui le poussent à la hausse (EC1 – EC4, EC6 – EC8). Ainsi, la part des surfaces refroidies dans les bâtiments d'habitation pourrait doubler à l'horizon 2060, atteignant 2 % de la surface habitable. Quant à la part de la surface refroidie dans les bâtiments de service, elle pourrait passer de 20 % à 30 % environ. Le besoin de refroidissement dépend aus-

si de l'isolation thermique des bâtiments et de l'aménagement des façades (Gonseth et al. 2017). On s'attend par ailleurs à ce que tous les véhicules soient climatisés à l'horizon 2060 (EC3). L'amélioration de l'efficacité énergétique des appareils de climatisation est toutefois susceptible d'atténuer le besoin en énergie de refroidissement. Quant aux prix de l'énergie, ils restent un facteur important pour l'évolution de la consommation d'énergie (EC1 – EC4, EC6 – EC8, AEE 2017).

Les experts consultés dans le cadre du projet de recherche « Anpassungsfähigkeit der Schweiz an den Klimawandel » (Jörin et al. 2016) estiment que, dans l'ensemble, la capacité d'adaptation du secteur de l'énergie est basse, car la Suisse manque (encore) d'expérience dans la gestion des fortes chaleurs.

L'augmentation du besoin en énergie de refroidissement crée des conflits d'objectifs avec la politique énergétique et climatique. Elle pourrait, dans le pire des cas, entraîner des pénuries d'approvisionnement (EC2). Le fait que les pics de production des installations photovoltaïques coïncident souvent avec les pics de consommation d'énergie de refroidissement pourrait contribuer à atténuer le problème (EC7). À noter que l'utilisation d'eau à des fins de refroidissement peut aussi provoquer des conflits avec la protection de la biodiversité.

Au vu des changements climatiques attendus, des conflits d'objectifs prévisibles avec la politique énergétique et climatique ainsi que la faible capacité d'adaptation du pays dans son ensemble, le risque d'augmentation du besoin en énergie de refroidissement est considéré comme prioritaire dans toute la Suisse (fig. 12).

Figure 12

Grandes régions dans lesquelles le risque « Augmentation du besoin en énergie de refroidissement » est prioritaire



Mesures d'adaptation

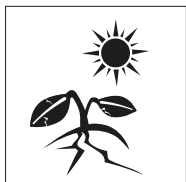
Différentes actions sont possibles pour endiguer l'augmentation du besoin en énergie de refroidissement. On peut d'une part réduire le besoin de refroidissement par des mesures d'urbanisme et des mesures architecturales (végétalisation, création d'ombrages, etc.). D'autre part, l'amélioration de l'efficacité énergétique des appareils et installations (réduction des rejets de chaleur), et le comportement de la population (aération optimale) contribuent également à limiter ce besoin (EC7, EC8, OcCC/ProClim 2007).

Coûts du refroidissement dans les cantons de Genève et Bâle-Ville

Les coûts annuels du refroidissement des bâtiments sis sur le territoire cantonal ont été évalués dans le cadre des études de cas consacrées à Bâle-Ville et à Genève. Aujourd'hui, ces coûts s'élèvent à environ 3 millions de francs à Bâle-Ville et à 36 millions à Genève. On s'attend à ce qu'ils passent respectivement à 7 et à 88 millions de francs à l'horizon 2060. La différence de coûts entre Bâle et Genève, qui s'élève grosso modo à un facteur 10, serait réduite à un facteur 5 si les prix de l'énergie étaient comparables. La différence restante s'explique par le nombre plus élevé à la fois d'habitants et de centres de calcul que compte Genève.

(Sources : EC2, EC4)

4 Accroissement de la sécheresse



- Baisse des rendements agricoles
- Risque d'incendies de forêt
- Pénuries d'eau
- Baisse de la production hydroélectrique estivale



Incendie de forêt près de Martigny (2012)

Photo : Maxime Schmid/Keystone

La Suisse possédant des réserves d'eau importantes dans les Alpes et, étant la source de nombreux grands fleuves, elle est considérée comme le « château d'eau de l'Europe ». Malgré tout, elle connaît parfois des épisodes de sécheresse, qui peuvent avoir des conséquences importantes sur l'environnement ainsi que sur le fonctionnement de l'économie et de la société.

Il existe différents types de sécheresses, qui s'expliquent par différents processus (Björnsen, Gurung & Stähli, 2014, Seneviratne 2012) :

- les sécheresses météorologiques, dues à un déficit pluviométrique ;

- les sécheresses hydrologiques, dues à de faibles débits, voire à de faibles hauteurs des nappes phréatiques ;
- les sécheresses agricoles, dues à une humidité du sol insuffisante (causée par un manque de précipitation ou un excès d'évapotranspiration).

Même si les épisodes de sécheresse sont souvent étroitement liés aux vagues de chaleur (EC7, OFPP 2015a) ou à la persistance de situations anticycloniques, cela n'est pas une généralité. De tels épisodes peuvent avoir lieu toute l'année, indépendamment des températures ambiantes. Des sécheresses record ont par exemple été enregistrées en décembre 2015 au sud des Alpes et en décembre 2016 sur le Plateau (MétéoSuisse 2016b, MétéoSuisse 2017).

En cas de sécheresse estivale, l'évapotranspiration accrue et les fortes chaleurs ont des effets aggravants.

En Suisse, les épisodes de sécheresse surviennent le plus souvent suite à des périodes prolongées sans précipitations, notamment après un hiver et un printemps pauvres en précipitations suivis d'un été chaud. Dans de telles situations, l'alimentation des cours d'eau par le manteau neigeux et les eaux souterraines est particulièrement faible. Les périodes de sécheresse sont alors accompagnées d'étiages (Atlas hydrologique de la Suisse 2015, PLANAT 2016a). Des étiages sont par ailleurs fréquemment enregistrés en automne et en hiver, lorsque les précipitations tombent sous forme de neige et ne s'écoulent pas directement dans les cours d'eau.

La sécheresse agricole est un phénomène ayant en général lieu pendant la saison estivale en Suisse. Conjuguée à la sécheresse météorologique, elle a notamment des répercussions sur les forêts. L'apparition des sécheresses hydrologiques et agricoles se fait sur des périodes rela-

tivement longues (plusieurs semaines à plusieurs mois), car les réserves d'eau souterraine et l'humidité du sol réagissent lentement au déficit de précipitations (Björnsen Gurung & Stähli 2014).

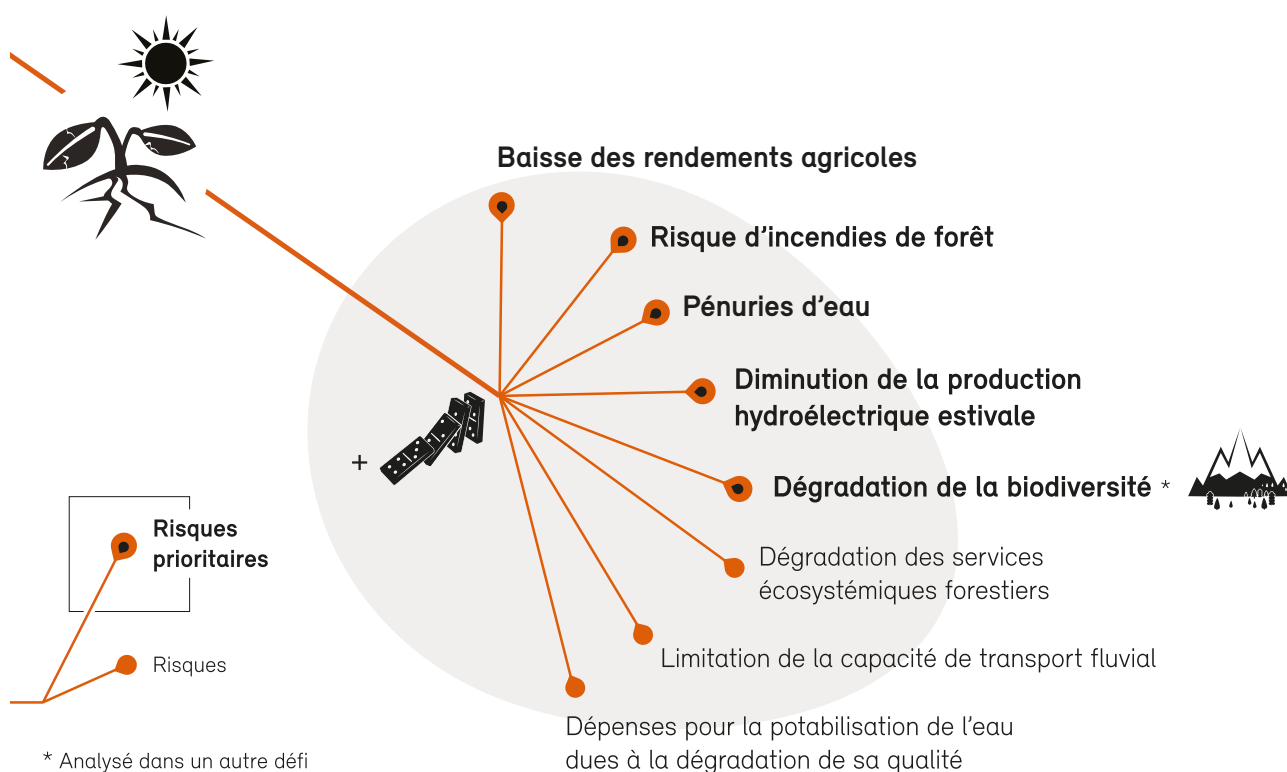
Évolution observée et évolution attendue

Depuis l'été 2003, les situations de sécheresse régionale et saisonnière sont devenues plus fréquentes en Suisse (2006, 2011, 2015). L'ensemble du pays peut être touché par des épisodes de sécheresse, et de grandes différences peuvent être observées à l'intérieur d'une seule et même région. Les régions les plus touchées par la sécheresse au cours des dernières années sont les vallées sèches intra-alpines (Engadine, Valais), le Jura ainsi que certaines parties des cantons de Fribourg, Vaud et du Tessin (OFEV 2012d).

Sécheresse météorologique : du fait des changements climatiques, les précipitations auront tendance à augmenter dans certaines parties de la Suisse pendant les mois d'hiver et à diminuer pendant les mois d'été. Cette

Figure 13

Accroissement de la sécheresse : vue d'ensemble des risques, qu'ils soient ou non prioritaires



La sécheresse de l'été 2015

En 2015, la canicule des mois de juillet et août, accompagnée de faibles précipitations, a été suivie par un automne extrêmement pauvre en précipitations au nord des Alpes et par une fin d'année sèche au sud des Alpes (MétéoSuisse 2016b). Les conséquences de cette sécheresse ont été considérables : au mois d'août, de nombreux poissons sont morts dans le Widenbach (canton d'Argovie) sous l'effet conjugué des bas niveaux d'eau et des températures élevées (Aargauer Zeitung 2015) ; de nombreux cantons ont dû limiter les prélèvements d'eau dans les cours d'eau (Tratschin et al. 2016) ; les récoltes de maïs et de pommes de terre ont été mauvaises ; et la plupart des cantons ont édicté à partir du mois de juillet une interdiction de faire du feu en forêt, à proximité de la forêt ou en plein air. Dans le Jura vaudois et les Préalpes fribourgeoises, il a fallu faire intervenir des hélicoptères de l'armée pour transporter de l'eau sur les alpages afin d'abreuver le bétail.

(Source : OFEV 2016b)

diminution des précipitations estivales pourrait provoquer une augmentation de la fréquence et de l'intensité des périodes de sécheresse météorologiques (Académies suisses des sciences 2016a).

Sécheresse hydrologique : les changements climatiques entraînent non seulement une modification de la répartition saisonnière des précipitations, mais font aussi passer ces dernières de l'état solide (neige) à l'état liquide (pluie). Ils provoquent en outre la fonte des glaciers, la diminution des réserves d'eau présentes dans le manteau neigeux et l'élévation de la limite des chutes de neige⁸ (Académies suisses des sciences 2016a). Ces facteurs tendent à déplacer les débits estivaux et automnaux vers l'hiver et le printemps. Cette évolution, combinée avec le faible niveau des précipitations estivales, risque d'entraîner une augmentation de la fréquence et de l'intensité des situations

d'étiage durant les mois d'été et d'automne⁹. Les débits d'étiage pourraient bien diminuer encore et les périodes d'étiage s'allonger, surtout sur le Plateau (OFEV 2012a).

Sécheresse agricole : la hausse des températures entraînera une augmentation potentielle du taux de transpiration des plantes et donc de leurs besoins en eau, ce qui favorisera l'assèchement du sol. Ce facteur, combiné à la diminution de la teneur en eau du sol induite par la baisse des précipitations, augmentera la probabilité de survenance des sécheresses agricoles (Académies suisses des sciences 2016a).

La figure 13 présente les risques, prioritaires ou non, liés au défi « Accroissement de la sécheresse ».

4.1 Baisse des rendements agricoles

Si l'agriculture ne génère qu'une faible part du produit intérieur brut (PIB) de la Suisse et ne représente que quelque 3 % des emplois totaux (OFS 2016), elle joue cependant un rôle majeur dans l'approvisionnement de la population puisque 60 % environ de la consommation alimentaire sont couverts par des produits indigènes. L'agriculture joue également un rôle important dans la préservation du patrimoine et dans la protection du paysage et de l'environnement (Faust et al. 2011). C'est un secteur particulièrement représenté dans les cantons du Plateau, où elle assure une grande partie de la production agricole (OFS, 2006), ainsi que dans la région du Jura, où la part des terres utilisées à des fins agricoles est supérieure à la moyenne.

L'agriculture est avant tout concernée par la sécheresse agricole (voir l'introduction du chapitre 4). Lors des épisodes de sécheresse, une quantité moindre d'eau est disponible dans le sol pour les plantes, ce qui limite leur croissance et provoque une diminution des rendements agricoles. Les températures élevées augmentent en outre la transpiration des plantes, ce qui renforce le déficit en eau (EC3). Le manque d'eau peut entraîner une diminution non seulement de la quantité des récoltes, mais aussi de

⁹ Les cours d'eau alimentés par des glaciers constituent une exception. Là, les débits estivaux pourraient augmenter jusqu'au milieu du siècle et ne diminuer que vers la fin du siècle (OFEV 2012a).

leur qualité (fruits moins gros, grains plus petits, montée en graine plus rapide, etc.) (EC4, EC7). Les épisodes de sécheresse favorisent en outre la propagation de certaines espèces invasives et de certains organismes nuisibles (cf. 11.3).

L'impact des épisodes de sécheresse sur les cultures agricoles varie selon le moment de l'année auquel ils se produisent. En automne, la sécheresse impacte surtout les semis d'hiver et le travail du sol ; en hiver, elle provoque une diminution du recombement des réserves en eau du sol ; au printemps, ce sont les semis printaniers, le travail du sol ainsi que le prélèvement d'azote par les cultures d'hiver et de printemps qui sont perturbés ; et en été, la sécheresse affecte tout particulièrement l'alimentation hydrique des cultures (Amigues et al. 2006).

La sensibilité à la sécheresse varie en fonction des cultures et de leur stade de développement (EC1, EC5, EC7 ; voir aussi l'encadré sur les impacts de la sécheresse). Toutes les cultures ne souffrent pas de la sécheresse. Les cultures tolérantes à la sécheresse peuvent même donner de meilleures récoltes les années sèches.

Les épisodes de sécheresse menacent également la production de fourrage, et par là, de produits animaux. Elles peuvent rendre difficile l'approvisionnement en eau des animaux de rente, ce qui, dans des cas extrêmes, est susceptible d'aboutir à la déshydratation et à la mort de ces derniers (EC3, EC5, EC6). Lorsqu'elles se cumulent, la sécheresse et la canicule entraînent un stress supplémentaire, qui peut par exemple provoquer une baisse de la production de lait chez les vaches laitières (Führer & Calanca 2012).

Impacts constatés et impacts prévisibles

L'agriculture est d'ores et déjà touchée par des épisodes de sécheresse, et la sécheresse constitue pour elle un risque considérable. En 2003, le rendement des récoltes a diminué de 20 % en moyenne en Suisse, ce qui, à l'échelle du pays, correspond à une perte économique de 500 millions de francs (Führer & Jasper 2009). De nombreuses surfaces agricoles sont régulièrement – pendant des périodes pouvant aller de quelques semaines à plusieurs mois – exposées à une sécheresse accrue.

La fréquence des étés caniculaires et secs devrait augmenter à l'avenir (MétéoSuisse 2014a), causant des pertes de plus en plus importantes. La possible augmentation des événements extrêmes (épisodes de sécheresse, mais aussi vagues de chaleur, fortes précipitations, inondations, etc.) est en outre susceptible d'entraîner une diminution de la fertilité des sols ainsi qu'une augmentation du lessivage et de l'érosion (OFAG 2011). L'augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse devrait en outre provoquer une hausse des coûts d'exploitation agricoles, notamment en raison des coûts de l'irrigation et de la lutte contre les ravageurs (EC7)¹⁰.

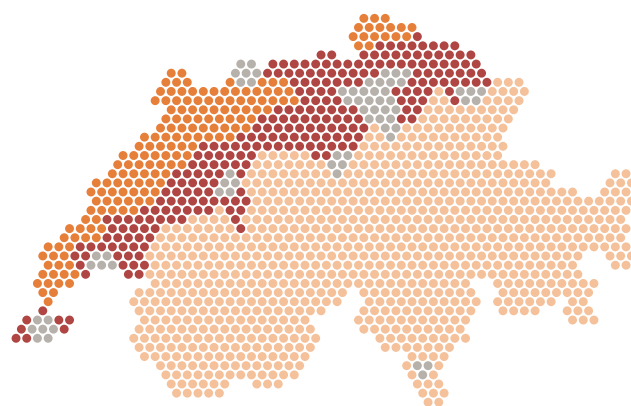
Les impacts des changements climatiques entraîneront une augmentation significative du risque baisse des rendements agricoles sur le Plateau. Dans le Jura, où le sous-sol, du fait de sa nature karstique, n'offre aujourd'hui déjà que des capacités de rétention limitées, on s'attend à une hausse modérée du risque. À plus haute altitude (Préalpes et Alpes), où les précipitations sont plus abondantes, et en Suisse méridionale, le risque ne devrait augmenter que de façon minime (fig. 14).

Figure 14

Évolution de la baisse des rendements agricoles dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- légère
- modérée
- importante
- non pertinent



¹⁰ Les autres évolutions liées au climat qui toucheront l'agriculture sont décrites sous 11.2 et 12.3.

Le secteur de l'agriculture est fortement dépendant des conditions du marché et d'autres paramètres de nature socio-économiques. Les surfaces agricoles sont de plus en plus mises sous pression par les activités de construction (EC4, EC7, EC8). L'évolution des prix des denrées alimentaires joue également un rôle important dans la production agricole. Les accords de libre-échange internationaux réduisent la compétitivité des aliments produits en Suisse (EC3, EC4, EC6, EC8, OcCC/ProClim 2007). Les effets combinés de ces évolutions et les impacts des changements climatiques renforcent encore la pression que subit d'ores et déjà le secteur de l'agriculture (EC8). L'aménagement de la politique agricole peut contribuer à atténuer les impacts négatifs des changements climatiques et à favoriser l'adaptation de ce secteur (EC3, EC6, EC8, Académies suisses des sciences 2016a).

Le risque de baisse des rendements agricoles est considéré comme prioritaire pour le Plateau et le Jura en raison des tendances climatiques et socio-économiques exposées plus haut ainsi que de l'importance de l'agriculture dans ces régions (fig. 15).

Figure 15

Grandes régions dans lesquelles le risque « Baisse des rendements agricoles » est prioritaire



Mesures d'adaptation

Différentes mesures peuvent être prises afin de limiter les pertes de rendement dans l'agriculture, la principale étant l'irrigation des cultures (voir l'encadré ci-dessous). Il est aussi possible de cultiver des espèces adaptées aux conditions offertes par le site (EC3). Dans le domaine de

l'élevage du bétail, on peut réduire les pertes à un minimum en optimisant l'exploitation des surfaces herbagères (fauche au bon stade de développement des végétaux, gestion des pâturages en fonction de la croissance de l'herbe, etc.) (Mosimann 2016). Garantir l'approvisionnement en eau des alpages d'estivage, faire des réserves de fourrage et adapter les cheptels à l'offre, réduite, de nourriture constituent aussi des mesures d'adaptation appropriées. Enfin, la mise en œuvre de systèmes de suivi et d'alerte précoce, de même que la sensibilisation des agriculteurs contribuent également à limiter au mieux les risques liés à la sécheresse dans le domaine agricole (OFEV 2014a).

Besoin d'irrigation dans l'agriculture

Selon une enquête menée en 2006, 43 000 hectares, soit moins de 5 % de la surface cultivée en Suisse, sont irrigués régulièrement, et 12 000 hectares le sont en plus lors des années de sécheresse. En 2006, le besoin en eau lors des années de sécheresse était estimé à 144 millions de mètres cubes (Weber & Schild 2007). C'est sur le Plateau, en Suisse romande et dans les vallées sèches intra-alpines que le besoin d'irrigation est le plus élevé (Fuhrer 2010). L'irrigation des terres agricoles compte pour 12 % de la consommation d'eau du pays.

Dans le canton de Fribourg, le besoin d'irrigation a été multiplié par quatre lors de la canicule de l'été 2003, passant de 10,4 millions de mètres cubes les années normales à 40,6 millions (Fuhrer 2010). On s'attend à ce que le besoin en eau d'irrigation augmente sous l'effet des changements climatiques, ce qui aura vraisemblablement des conséquences négatives sur l'économie et l'environnement, et pourrait dans certains cas entraîner des conflits d'utilisation à l'échelon local (Fuhrer 2010; cf. 4.3). En Suisse, le besoin d'irrigation pourrait être multiplié par cinq dans certaines régions à l'horizon 2050 (LID 2014).

Influence de la sécheresse sur les cultures agricoles

Le secteur de l'agriculture a fortement souffert lors de l'été 2015, caractérisé à la fois par des températures élevées et par un déficit hydrique. Une diminution du rendement annuel des prairies et pâturages de 15 à 35 % a été observée dans l'ouest du pays. Les carottes et le maïs ont eux aussi souffert ; leurs rendements ont diminué de respectivement 15 % et 18 % par rapport à la moyenne des années 2000–2014.

Cependant, ces conditions n'ont pas été néfastes à toutes les cultures : le colza et l'orge ont connu des rendements remarquables, dépassant de respectivement 16 % et 11 % la moyenne des années 2000–2014. Le cas des betteraves sucrières est particulier : malgré une diminution des rendements (-12 % par rapport à 2000–2014), le taux de sucre de ces dernières était particulièrement élevé, permettant l'extraction de quantités de sucre importantes.

(Sources : Mosimann 2016, OFEV 2016b)

4.2 Augmentation du risque d'incendies de forêt

Les incendies de forêt peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur les écosystèmes forestiers. Or ceux-ci fournissent des services écosystémiques d'importance comme la protection contre les dangers naturels, d'où la nécessité de limiter les risques de déclenchement et, le cas échéant, de maîtriser le feu dans un laps de temps minimum.

Les incendies de forêt se produisent le plus souvent en Suisse méridionale et dans les vallées sèches intra-alpines (Wastl et al. 2013). Les régions les plus touchées sont le Tessin, le Valais, les Grisons et les régions du nord des Alpes exposées au foehn. Au cours des 20 dernières années, 95 % des incendies de forêt répertoriés sur le territoire suisse ont eu lieu dans le canton du Tessin (EC7).

L'inflammabilité dépend de la présence de matériel inflammable et de paramètres météorologiques tels que l'humidité, les températures, les précipitations, la force du vent

et la durée de la couverture neigeuse (Kaulfuss 2016). Les incendies de forêt peuvent se déclencher tout au long de l'année. Ainsi, dans les régions non enneigées, le danger d'incendie commence à croître en début d'année, pour atteindre un premier pic fin avril – début mai (la fin de l'hiver et le début du printemps sont la période de l'année la plus sèche ; le foehn assèche en outre la couche de litière dans les forêts) (Pluess et al. 2016, Reinhard et al. 2005). Ce danger augmente ensuite à nouveau pendant les mois d'été en fonction des conditions météorologiques (Kaulfuss 2016).

Les incendies de forêt peuvent être déclenchés de manière naturelle par la foudre, mais ils sont dans la plupart des cas d'origine anthropique (négligence ou actes prémédités) (Wastl et al. 2013). Dans les deux cas, les conditions climatologiques et météorologiques agissent directement ou indirectement sur leur déclenchement (influence sur le type de végétation, sur le taux d'humidité, etc.) (Pluess et al. 2016). Au Tessin, 70 % des incendies de forêt estivaux et 90 % des incendies de forêt hivernaux ayant eu lieu entre 1991 et 2003 sont d'origine anthropique (Conedera & Pezzati 2005). Les incendies déclenchés par la foudre touchent en général les forêts situées à haute altitude ; à plus basse altitude, ils sont très souvent déclenchés par des actions humaines (Conedera et al. 2006). Le pic printanier est majoritairement caractérisé par de petits incendies se produisant à basse altitude et d'origine anthropique, le pic estival par des incendies de plus grande ampleur déclenchés par l'action de la foudre (Valese et al. 2011).

Les incendies de forêt induisent des pertes économiques liées à la combustion de quantités importantes de bois ainsi que des coûts supplémentaires pour les travaux d'extinction et le reboisement (EC1, EC3, EC4). En modifiant les stades de développement de la forêt (augmentation de la part de jeunes peuplements), de tels événements portent en outre atteinte aux fonctions protectrices et récréatives de la forêt (EC3 – EC7). Les forêts protectrices qui se trouvent à un stade de développement peu avancé sont en effet moins efficaces contre les chutes de pierres et l'érosion. De plus, les sols étant mis à nu, les phénomènes d'érosion sont accrus (EC1, EC3 – EC6 ; cf. 9.2). Par ailleurs, les incendies de forêt libèrent de grandes quantités de CO₂ et, selon la structure d'âge du

peuplement, portent atteinte à la fonction de stockage de carbone de la forêt (EC1, EC4, EC6). Enfin, de tels événements peuvent causer des dommages aux infrastructures, aux bâtiments et au mobilier.

Les incendies de forêt peuvent être bénéfiques à la biodiversité locale (EC6). En effet, le nombre d'espèces animales et végétales tend à augmenter après un tel épisode. Cependant, il arrive aussi que les conditions faisant suite aux incendies de forêt favorisent la propagation d'organismes nuisibles (cf. 11.3), portant d'autant plus atteinte aux fonctions de la forêt (EC7).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Au cours des 100 dernières années, le nombre d'incendies de forêt d'origine anthropique a augmenté dans les régions alpines. Cependant, on observe globalement une diminution de la fréquence des incendies ainsi que des surfaces détruites depuis les années 1980, ce qui s'explique très probablement par les activités de prévention et par l'amélioration des méthodes de lutte contre le feu (Valese et al. 2011). Ces derniers temps, on assiste par ailleurs à une augmentation des incendies de forêt au nord des Alpes, région qui était encore peu touchée par ce genre d'événements par le passé, où la perception du risque est encore peu développée et où davantage de bois mort a pu s'accumuler (Pluess et al. 2016).

La sécheresse étant un des facteurs propices au déclenchement des incendies de forêt, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des périodes de sécheresse mènera globalement à une augmentation de la probabilité de déclenchement de ce type d'événements. Cette hausse ne sera pourtant pas la même dans toutes les régions. Dans les vallées sèches intra-alpines (telles que la vallée du Rhône ou l'Engadine), la probabilité de déclenchement d'incendies de forêt augmentera modérément sous l'effet de l'accroissement des périodes de sécheresse estivales. Il faut partir du principe que le risque d'incendies de forêt augmentera aussi dans les régions plus au nord, mais dans une moindre mesure. L'augmentation des périodes de sécheresse accroîtra également la probabilité de déclenchement d'incendies de forêt dans des régions aujourd'hui encore relativement humides (comptant jusqu'à 1100 mm de précipitations par an) si les précipitations estivales y diminuent comme les modèles climatiques le prévoient

(Wohlgemuth et al. 2010). S'agissant des incendies de forêt hivernaux, les modèles ne prévoient pas d'évolution significative (Pluess et al. 2016).

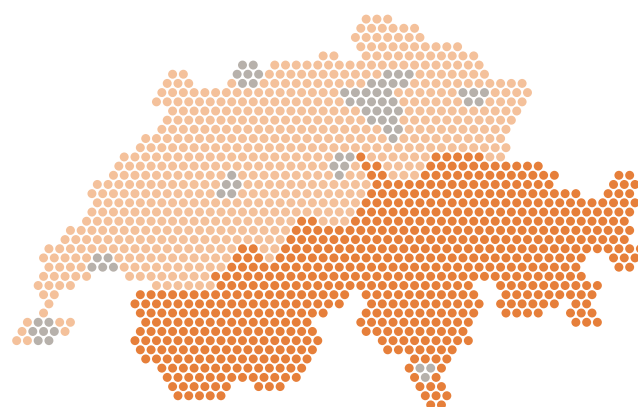
L'augmentation du risque d'incendies de forêt est modérée dans les Alpes et en Suisse méridionale, régions les plus touchées par ce type d'aléa. Au Tessin, on s'attend à une augmentation de 25 % du nombre d'incendies de forêt (EC7). Dans le reste de la Suisse (hormis les agglomérations, où ce risque n'est pas pertinent), les changements climatiques ne devraient provoquer qu'une augmentation minimale du risque d'incendies de forêt (fig. 16).

Figure 16

Évolution du risque d'incendies de forêt dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- légère
- modérée
- non pertinent



Les méthodes de sylviculture et d'agriculture de montagne ont évolué au cours des dernières décennies. Ainsi, on laisse aujourd'hui plus de bois mort dans les forêts, et les surfaces utilisées à des fins agricoles dans les régions de montagne diminuent, avec la conséquence que la forêt prend le dessus sur les pâturages. Ces évolutions entraînent une augmentation de la biomasse inflammable.

Par ailleurs, la croissance démographique et la hausse des températures accroissent la propension de la population à exercer des activités en plein air, augmentant ainsi la probabilité de déclenchement d'incendies de forêt (grillades, mégots de cigarettes, etc.). La diffusion plus

fréquente et à plus grande échelle de mises en garde par la Confédération et les cantons devrait cependant contribuer à ce que la population prenne conscience du risque d'incendies de forêt et adapte son comportement en conséquence (EC8).

L'ampleur des dommages matériels causés par les incendies de forêt dépend de la valeur des biens touchés, laquelle dépend à son tour de l'évolution économique. Les dommages seront d'autant plus importants que des infrastructures critiques (p.ex. pour l'approvisionnement en énergie) seront touchées.

La capacité d'adaptation aux changements climatiques du secteur de l'économie forestière est généralement considérée comme plutôt élevée (Jörin et al. 2016). Le manque de moyens financiers dû au bas niveau des prix du bois pourrait toutefois constituer un obstacle significatif.

Au vu non seulement des modifications du climat et des évolutions socio-économiques attendues, mais aussi du fait que des infrastructures critiques sont susceptibles d'être touchées et compte tenu en outre de la sécheresse des sols (karst) dans de vastes portions du Jura, l'augmentation du risque d'incendies de forêt est considérée comme un risque prioritaire dans les Alpes, en Suisse méridionale et dans le Jura (fig. 17).

Figure 17

Grandes régions dans lesquelles le risque « Augmentation du risque d'incendies de forêt » est prioritaire.



Mesures d'adaptation

Des mesures telles que l'interdiction stricte de faire du feu en plein air, l'installation de bassins d'eau d'extinction et la construction de routes de desserte peuvent contribuer à réduire le risque de déclenchement d'incendies de forêt et à faciliter la lutte contre ces derniers. Dans les régions particulièrement exposées, un plan global de lutte contre les incendies de forêt est toutefois indispensable (canton du Valais 2009 ; Nauser 2016). Les régions qui, par le passé, ont été fortement touchées par ce type d'aléa possèdent en général déjà de tels dispositifs. Un tel plan doit contenir des mesures préventives, des mesures de monitoring, des mesures organisationnelles pour l'intervention des pompiers ainsi que des mesures d'amélioration des infrastructures (accès à l'eau d'extinction p.ex.) (Wohlgemuth et al. 2010).

Coûts des incendies de forêt

La sécheresse persistante de 1997 a entraîné le déclenchement de nombreux incendies de forêt au Tessin. Les travaux d'extinction ont coûté 4,3 millions de francs au canton, les mesures sylvicoles 5,7 millions, alors que chacun de ces éléments ne revient qu'à environ un million de francs les années normales. Après l'incendie de forêt qui a frappé la Lenk (VS) en 2003, des mesures étendues de protection contre les dangers naturels et de soins aux jeunes peuplements ont dû être prises, pour un coût total d'environ 2,5 millions de francs jusqu'en 2007 (PLANAT 2017b).

4.3 Augmentation des pénuries d'eau

Les usages de l'eau sont multiples. On utilise entre autres cette ressource pour l'approvisionnement en eau potable, l'élimination des eaux usées, le refroidissement et le chauffage, la production hydroélectrique, l'irrigation, la production industrielle, l'extraction de matières premières, la production de neige artificielle, le transport de marchandises et la lutte contre le feu. Les organismes aquatiques ont besoin d'un niveau d'eau suffisant et d'une eau de bonne qualité (OFEV 2012d).

Malgré l'abondance de la ressource eau en Suisse, il arrive de plus en plus fréquemment que des pénuries d'eau temporaires se produisent localement. Parmi les conséquences potentielles de ces pénuries, on compte les restrictions imposées à certains usages de l'eau et le stress subi par les écosystèmes aquatiques.

Les pénuries d'eau sont des situations de déséquilibre entre la disponibilité de la ressource et les besoins des différents groupes d'utilisateurs. Dans les cas de pénurie, les ressources à disposition ne suffisent pas à combler la demande pour les différents usages ainsi que les besoins des différents écosystèmes (OFEV 2012d). De telles situations surviennent surtout pendant les périodes de sécheresse (Dübendorfer et al. 2016). Les conflits d'intérêts entre protection et utilisation de la ressource se produisent surtout le long des petits et moyens cours d'eau, lesquels constituent la majeure partie du réseau hydrographique.

Des niveaux d'étiage conjugués à une température de l'eau élevée et à une mauvaise qualité de la ressource due à une concentration élevée de polluants peuvent avoir de graves conséquences pour les organismes aquatiques (cf. 9.1 et 10.1.1). Dans les situations de pénurie, il est donc indispensable, pour protéger les écosystèmes aquatiques, d'imposer certaines restrictions. Typiquement, les situations de pénurie se traduisent par des conflits entre les objectifs de protection et d'utilisation de la ressource (Björnsen Gurung & Stähli 2014). C'est par exemple le cas lorsque, en période d'étiage ou de température élevée de l'eau,

- les prélèvements d'eau pour l'irrigation des cultures abaissent le niveau des cours d'eau et en élèvent la température (EC6);
- l'utilisation d'eau à des fins de refroidissement élève encore la température de l'eau (qui a déjà augmenté en raison des bas niveaux d'eau et de la température élevée de l'air) (EC2);
- l'utilisation d'eau à des fins de production hydroélectrique menace le maintien du débit résiduel minimal des cours d'eau (EC7);
- les eaux usées sont déversées dans un cours d'eau récepteur, dégradant ainsi la qualité de l'eau (faible degré de dilution).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Comme l'ont montré les événements de 2003 et de 2015, les pénuries touchant l'approvisionnement en eau potable sont extrêmement rares en Suisse (OFEFP et al. 2004, Tratschin et al. 2016). L'irrigation ou l'enneigement peuvent toutefois entrer en concurrence avec la fourniture d'eau potable. Par exemple, dans le canton des Grisons, un tiers de l'eau destinée à l'irrigation provient du réseau d'eau potable (EC5) et, dans la commune de Scuol (même canton), l'eau destinée à la production de neige artificielle représente 36,2 % de la consommation totale d'eau potable (Rixen et al. 2011).

La fréquence et l'intensité des situations de pénurie d'eau devraient augmenter avec la progression des changements climatiques. En été en particulier, les différentes conséquences de ces derniers – sécheresse météorologique accrue et diminution de la disponibilité d'eau de fonte – risquent de se superposer (voir l'introduction du chapitre 4). Le fait que les besoins en eau de certains secteurs (p.ex. pour l'irrigation) augmentent pendant les périodes de sécheresse et que la température de l'eau peut atteindre des valeurs critiques accroît encore le potentiel de conflits lié à l'utilisation de l'eau.

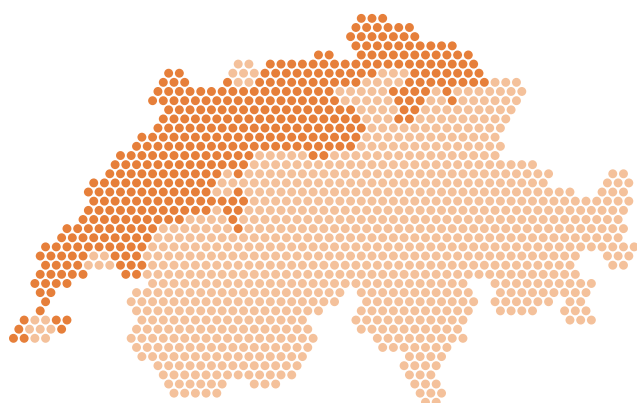
On s'attend à ce que les changements climatiques entraînent une augmentation modérée du risque de pénuries d'eau dans le Jura et sur le Plateau. Le Jura est fortement dépendant des précipitations, en raison des faibles capacités de rétention de ses sols karstiques. Sur le Plateau, il faut s'attendre à une diminution de la quantité d'eau issue de la fonte du manteau neigeux, à une augmentation de la transpiration des plantes pendant la saison d'été et, en même temps, à d'importantes pressions pour l'utilisation de la ressource eau. En revanche, le risque de pénurie d'eau dans les grandes agglomérations, les Préalpes, les Alpes et la Suisse méridionale ne devrait augmenter que de façon minime par rapport à aujourd'hui (fig. 18).

Figure 18

Évolution des pénuries d'eau dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- légère
- modérée



La disponibilité d'une eau de qualité irréprochable est soumise non seulement à l'influence des changements climatiques, mais aussi à celle, importante, de facteurs socio-économiques. Ainsi, la croissance démographique, la pression urbaine, les activités de construction dans des zones de protection des eaux et l'augmentation du besoin d'irrigation augmentent la pression sur les ressources en eau (Björnsen Gurung & Stähli 2014).

Les situations de pénurie d'eau peuvent avoir des conséquences irréversibles pour la biodiversité lorsque les niveaux d'eau des cours et plans d'eau sont si bas que la survie des espèces est menacée.

Les pénuries d'eau pouvant notamment toucher des infrastructures critiques, étant aggravées par des facteurs socio-économiques et pouvant, dans les cas les plus graves, causer des dommages irréversibles à la biodiversité, ce risque est considéré comme prioritaire dans toutes les régions de Suisse (fig. 19).

Figure 19

Grandes régions dans lesquelles le risque « Augmentation des pénuries d'eau » est prioritaire



Mesures d'adaptation

Il est possible de réduire le risque de pénuries d'eau et de conflits d'utilisation par une gestion prévoyante de la ressource à l'échelle régionale (OFEV 2012d, Académies suisses des sciences 2016a). Les régions à risques peuvent être répertoriées (Chaix et al. 2016) et les ressources en eau y faire l'objet d'une planification à long terme (Wehse et al. 2017). Différentes mesures peuvent être prises selon la nature des problèmes. Pour l'approvisionnement en eau potable, la mise en réseau des systèmes de distribution d'eau ou l'accès à des ressources en eau indépendantes sont essentiels (EC7, OFEV 2014d). L'utilisation polyvalente des réservoirs d'eau existants et la construction de bassins de rétention, par exemple, constituent d'autres possibilités (EC7, Académies suisses des sciences 2016a, Wehse et al. 2017, Nauser 2016). Enfin, la pratique livre toute une gamme de solutions éprouvées qui permettent de maîtriser les situations de pénurie d'eau aigües (Dübendorfer et al. 2016).

L'exiguïté des structures de la Suisse et la diversité des intérêts liés à l'usage de l'eau rendent indispensables les collaborations intersectorielles à l'échelle régionale (Kwiatkowski & Höchli 2016), ce qui complique la mise en œuvre des mesures d'adaptation (Jörin et al. 2016). La Confédé-

ration fournit une aide en mettant à disposition des instruments pour la gestion régionale des ressources en eau¹¹.

Pénurie d'eau potable dans le canton du Jura et conflits d'utilisation en Thurgovie

Durant l'été 2003, le canton du Jura a dû mettre en place dans l'urgence des raccordements provisoires entre différents réseaux de distribution d'eau afin d'assurer l'approvisionnement de villages reculés. Le même été, ainsi qu'en été et automne 2015, certaines fermes et maisons d'habitation ont dû être approvisionnées en eau par transports routiers (EC6). Après un certain nombre d'expériences peu satisfaisantes, le canton de Thurgovie a établi des règles claires pour la gestion des pénuries d'eau. Aujourd'hui, il communique de façon précoce et différenciée à propos des pénuries d'eau qui s'annoncent. Il a également procédé à une évaluation du besoin en eau de l'agriculture à l'horizon 2060, lorsque les changements climatiques auront atteint un stade avancé. Il dispose ainsi des bases nécessaires à une planification à long terme (OFEV 2017c).

4.4 Diminution de la production hydroélectrique estivale

L'opportunité que constitue l'augmentation de la production hydroélectrique hivernale dans certaines régions (cf. 5.2) doit être relativisée au vu de la baisse de production attendue lors des périodes de sécheresse estivale. Durant ces périodes, la diminution des débits imposera notamment des restrictions à la production hydroélectrique afin d'assurer le respect de valeurs limites écologiques (débits résiduels minimaux) (EC7).

Plusieurs bassins versants subiront en outre des changements importants pendant la saison estivale en raison de la fonte des glaciers. Le régime des cours d'eau – et, par là, la disponibilité de ressources en eau pour la production hydroélectrique – se modifiera avec le recul des glaciers : si, dans une première phase, les débits augmen-

teront sous l'effet de la fonte des glaces, il faut s'attendre à ce qu'ils diminuent sensiblement par la suite, une fois que la masse des glaciers se sera fortement réduite (EC8, Académies suisses des sciences 2016a).

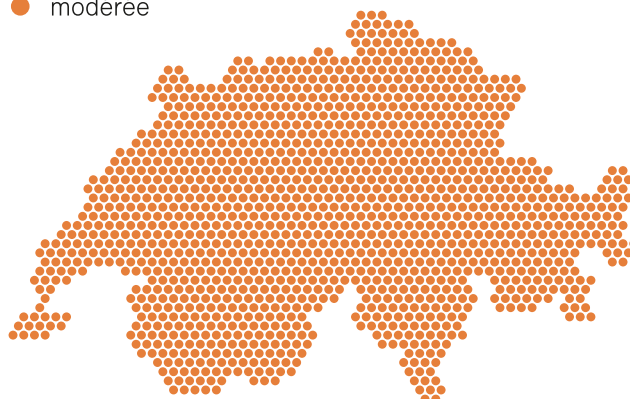
Les impacts des changements climatiques sur la production hydroélectrique varieront donc en fonction du lieu et du moment considéré. Il faut néanmoins s'attendre à des changements modérés dans toutes les grandes régions (fig. 20).

Figure 20

Évolution de la production hydroélectrique estivale dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

● modérée



Cette diminution de la production hydroélectrique pendant les périodes de sécheresse constitue un risque prioritaire dans toute la Suisse (fig. 21).

Figure 21

Grandes régions dans lesquelles le risque « Diminution de la production hydroélectrique estivale » est prioritaire.



11 www.bafu.admin.ch/gestion-ressources-eau

5 Élévation de la limite des chutes de neige



- Baisse des revenus du tourisme hivernal
- Augmentation de la production énergétique hivernale
- Diminution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige



Verbier: un temps chaud en décembre (2011)

Photo : Anja Niedringhaus/Keystone/AP Photo

La Suisse est un pays caractérisé par la diversité de sa topographie. La moitié de sa superficie se trouve à une altitude supérieure à 1000 m et près d'un quart au-dessus de 2000 m. À l'échelle du pays, un tiers des précipitations tombe sous forme de neige (Jonas 2012).

La neige est une ressource importante, tant pour l'environnement naturel (p. ex. fonction protectrice de la végétation) que pour la société et ses activités économiques (p. ex. tourisme d'hiver, production hydroélectrique, réservoir d'eau potable). Elle représente également un danger

considérable puisqu'elle peut provoquer des avalanches, des accidents de la route et des dommages aux bâtiments (en raison de son poids) (Klein et al. 2016, Scherrer & Appenzeller 2004).

Le niveau de la limite des chutes de neige a des effets sur la répartition et sur la durée de la couverture neigeuse, laquelle exerce à son tour une influence considérable sur l'évolution des glaciers et la survenance d'avalanches. La forme des précipitations (pluie ou neige) et l'état des glaciers agissent quant à eux sur le

régime des cours d'eau qui prennent leur source dans le massif alpin.

Couverture neigeuse et hauteur de neige : l'évolution du climat se traduit aujourd'hui déjà par d'importants changements, tant en ce qui concerne la durée d'enneigement que la hauteur de neige maximale. C'est ainsi que la période d'enneigement (définie comme la durée moyenne de la couverture neigeuse) commence en moyenne 12 jours plus tard qu'en 1970 et se termine 26 jours plus tôt. Quant à la hauteur de neige maximale, elle a diminué de 4 à 11 % selon les régions (Klein et al. 2016). Ces évolutions s'expliquent par la hausse des températures, qui réduit l'accumulation de la neige en hiver (les précipitations tombant davantage sous forme de pluie et moins sous forme de neige) et accélère le processus de fonte des neiges (Serquet et al. 2011 ; Scherrer & Appenzeller 2004 ; Marty 2008, Scherrer et al. 2013). En parallèle, la couverture neigeuse est soumise à de fortes variations d'une année, d'une décennie et d'une région à l'autre (Beniston 2012, Scherrer et al. 2013). C'est ainsi que la crête sud des Alpes a subi trois hivers rigoureux de suite entre 2013/2014 et 2015/2016.

Pour la fin de ce siècle, les modèles climatiques prévoient un raccourcissement de quatre à huit semaines, par rapport à aujourd'hui, de la durée de la couverture neigeuse ainsi qu'une élévation de 500 à 700 m de la limite des chutes de neige (Académies suisses des sciences 2016a, Steger et al. 2013, Marty et al. 2017). Les hivers riches en neige ou particulièrement froids ne sont cependant pas à exclure.

Glaciers : les chutes de neige et leur répartition spatiale influent sur l'état des glaciers. Sur la partie supérieure du glacier, dont la température est inférieure à 0 °C pendant toute l'année, la neige tombée s'accumule et se compacte sous l'effet de son propre poids jusqu'à se transformer en glace. Elle alimente ainsi le glacier. Sur la partie inférieure du glacier, qui est soumise par moments à des températures supérieures à 0 °C, le manteau neigeux de l'hiver fond pendant l'été. Si la quantité de neige accumulée est plus importante que les pertes dues à la fonte, le glacier grandit ; dans le cas contraire, il rétrécit.

Les Alpes suisses comptent près de 2000 glaciers, qui recouvrent une surface de 1000 km² (OFEV 2012a), soit 2,5 % du territoire. À la fin du Petit Âge glaciaire, en 1850, cette surface était encore de 1800 km² environ. En d'autres termes, les glaciers ont depuis lors perdu près de la moitié de leur volume (OFEV 2012a).

La fonte des glaciers est une des conséquences les plus visibles des changements climatiques en Suisse. Le recul des glaciers est provoqué non seulement par la diminution des chutes de neige, mais aussi et surtout par la hausse des températures. C'est avant tout l'élévation des températures printanières et automnales qui contribue à la fonte des glaciers en allongeant la période pendant laquelle la glace présente à leur surface, privée de sa couverture neigeuse, fond sous l'effet du rayonnement solaire (Bauder et al. 2007 ; Lüthi et al. 2010). À l'horizon 2100, seuls 20 à 30 % du volume actuel des glaciers subsisteront encore (OFEV 2012a).

Avalanches : il existe différents types d'avalanches, qui peuvent être classifiées de nombreuses manières. Dans l'optique des changements climatiques, la distinction entre avalanches de neige sèche (neige poudreuse) et avalanches de neige mouillée (neige qui est lourde en raison de la forte teneur en eau du manteau neigeux) est particulièrement pertinente (TECFA 2016, SLF 2016).

S'agissant de la survenance des avalanches par le passé, aucune tendance significative n'est observable. À l'avenir, l'évolution de la fréquence et de l'intensité des avalanches devrait varier en fonction de l'altitude. Lorsque les chutes de neige augmenteront à haute altitude (accroissement des précipitations hivernales), les avalanches de neige sèche seront plus fréquentes dans les régions en question, tout en étant réparties sur des surfaces plus importantes qu'aujourd'hui. La fréquence et l'intensité des avalanches de neige mouillée devraient elles aussi augmenter sensiblement à haute altitude, mais ce phénomène devrait se faire plus rares et diminuer en amplitude dans les Préalpes (Geo7 2012). S'agissant de l'évolution des très grosses avalanches, dites « avalanches dommageables », qui se déclenchent typiquement à proximité de la limite supérieure de la forêt ou plus haut et descendent jusque dans les vallées, on ne peut pour l'heure rien affirmer avec certitude.

Régime des débits : le manteau neigeux constitue une composante importante de la plupart des bassins versants de Suisse, puisqu'il agit sur le régime des débits (SSHL & CHy 2011). Les cours d'eau alpins atteignent leur débit maximal soit au printemps, du fait de la fonte des neiges (régime nival), soit en été, du fait de la fonte des glaciers (régime glaciaire) (Blanc & Schädler 2013).

Les réserves d'eau de fonte des neiges comptent pour près de 40 % du volume des débits mesurés en Suisse (moyenne des années 1980 – 2009) (OFEV 2012a). 2 % du volume total proviennent de la fonte des glaciers (Blanc & Schädler 2013).

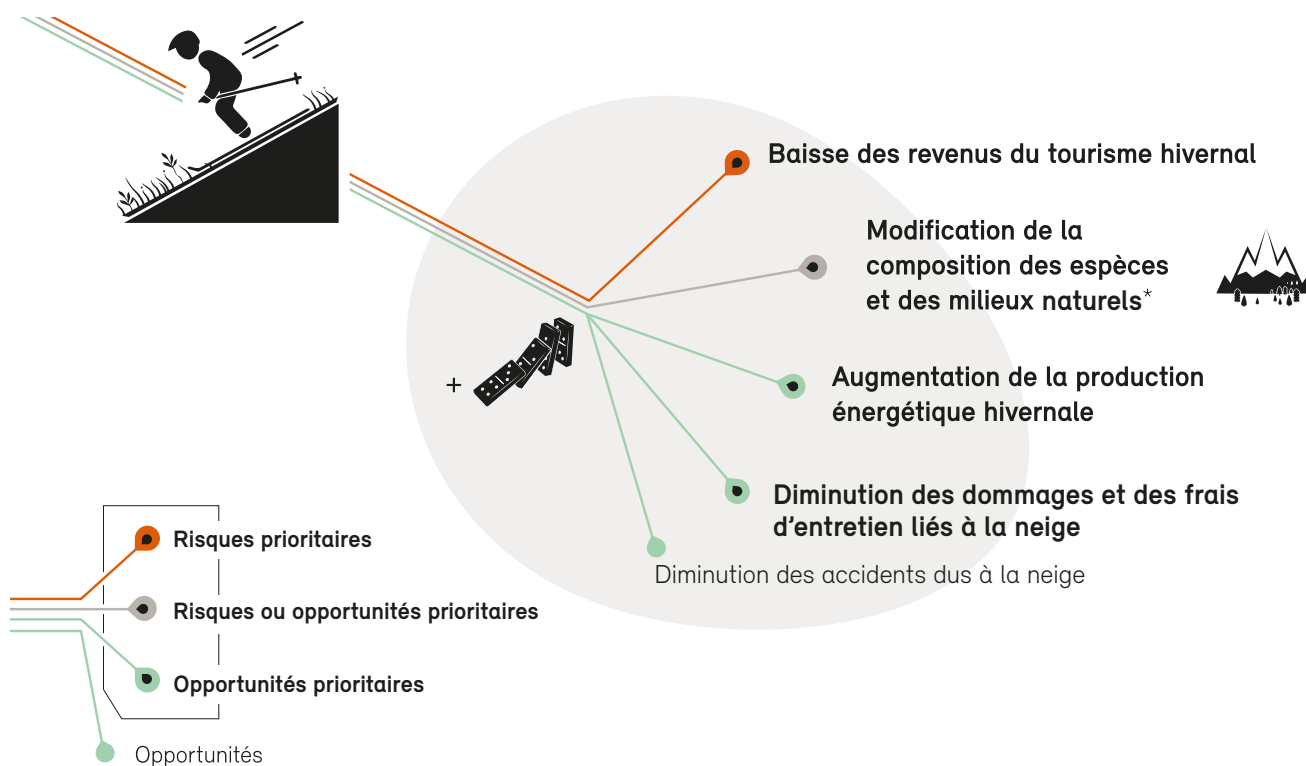
En matière de débits, c'est moins le volume annuel des débits qui changera que leur répartition saisonnière. Dans la plupart des régions de Suisse, on s'attend à ce que les débits augmentent en hiver en raison de l'accroissement des précipitations hivernales et du fait que ces dernières tomberont de plus en plus sous forme de pluie. En été par contre, on prévoit dans de

nombreuses régions que les débits diminueront du fait de la baisse des précipitations, de l'augmentation de l'évaporation et de la fonte plus précoce des neiges (Académies suisses des sciences 2016a). Ainsi, l'eau de fonte pourrait ne plus représenter que 25 % du volume des débits à l'horizon 2085. Sur le Plateau, cette évolution pourrait aboutir à une diminution des niveaux durant les périodes d'étiage et à un allongement de ces dernières. Dans les régions fortement englacées des Alpes, les débits pourraient augmenter durant la première moitié du siècle sous l'effet de la perte de volume des glaciers, puis diminuer fortement au cours de la deuxième moitié.

Dans l'ensemble, la variabilité intra- et interannuelle des débits augmentera dans toute la Suisse car l'effet atténuateur de la neige en tant que réservoir d'eau diminuera (Académies suisses des sciences 2016a). Les changements à venir ne dépendent toutefois pas seulement des influences climatiques. Les retenues d'eau font qu'il n'existe déjà plus de régime naturel des débits dans de nombreux bassins versants, et que le volume

Figure 22

Élévation de la limite des chutes de neige : vue d'ensemble des risques et opportunités, qu'ils soient ou non prioritaires



des débits dépend souvent en grande partie des modèles d'exploitation des usines hydroélectriques.

La figure 22 présente les risques, prioritaires ou non, liés au défi « Élévation de la limite des chutes de neige ».

5.1 Baisse des revenus du tourisme hivernal

Le tourisme hivernal est un secteur économique important dans la plupart des cantons alpins et préalpins. Dans certaines de ces régions, une part importante des emplois et des revenus économiques y est directement liée. Ainsi, dans le canton des Grisons, il compte pour quelque 30 % des emplois et du PIB, et pour 93 % des revenus annuels du secteur touristique (EC5).

Par revenus économiques du tourisme hivernal, nous entendons ici tant les recettes directes liées aux remontées mécaniques ou aux nuitées hôtelières que les recettes indirectes liées aux autres activités de loisirs ou à la vente de produits (magasins de sport, d'alimentation, etc.) et de services (autres activités de loisirs, restauration, etc.).

De nos jours déjà, on observe assez souvent des périodes de manque de neige dans certaines stations de basse altitude (EC6, EC7). Le nombre de journées-skieurs¹² a diminué de près de 20 % au cours de la dernière décennie. Dans le même laps de temps, une douzaine de stations ont dû fermer pour cause de difficultés financières ou de manque de neige (RMS 2015b). Les chutes de neige étant soumises à de fortes fluctuations d'une année à l'autre, les revenus du tourisme peuvent varier de manière importante selon que l'hiver est riche ou pauvre en neige.

Comme indiqué plus haut, les fermetures de stations ne sont pas uniquement dues au manque de neige, mais également aux difficultés économiques que connaissent bon nombre d'entre elles. Les clients ayant des attentes toujours plus élevées, les coûts d'exploitation – en particulier ceux des installations d'enneigement artificiel – augmentent, si bien que la survie de nombreuses entreprises de

remontées mécaniques dépend du soutien des communes ou de donateurs (Genier 2016).

Impacts constatés et impacts prévisibles

L'élévation de la limite des chutes de neige et la hausse des températures moyennes sont synonymes de diminution de la sécurité d'enneigement¹³ ainsi que de raccourcissement de la saison hivernale et, par là, de baisse des revenus (EC3, EC8). Le manque de neige pendant la période des fêtes de fin d'année (Noël – Nouvel An) a un impact massif sur le bilan des stations, car une part significative de leur chiffre d'affaires est générée pendant cette période (EC3, EC8, CH2014-Impacts 2014, Abegg 2012). C'est surtout dans les régions de basse et moyenne altitude que la pratique des sports de neige est menacée. Ce n'est pas seulement le manque de neige qui constitue un handicap pour ces régions, mais aussi le fait qu'il n'y a pas d'atmosphère hivernale, ce qui amène la clientèle à se reporter sur des destinations situées à plus haute altitude (Gillioz 2016). À cela s'ajoute le fait qu'en raison de la fermeture de stations de ski familiales situées à basse altitude, une partie de la population n'apprend plus à skier. Il y a donc un risque que les jeunes générations cessent à moyen terme de pratiquer les sports de neige (CH2014-Impacts 2014). Au plan international, il est en revanche possible que la clientèle internationale se reporte sur la Suisse qui, de par son altitude, offre une plus grande sécurité d'enneigement que les pays environnants.

La diminution de la sécurité d'enneigement a pour effet, d'une part, de réduire les recettes des entreprises de remontées mécaniques et des activités liées à ces dernières (hôtellerie, commerce de détail, etc.) et, d'autre part, de générer des coûts supplémentaires pour les mesures d'adaptation à prendre, par exemple l'enneigement artificiel (EC8).

Le risque de baisse des revenus du tourisme hivernal sous l'effet des changements climatiques est important dans les Préalpes et modéré dans le massif alpin, où il concerne avant tout les régions de moyenne et basse altitude. En ce qui concerne le Jura et la Suisse méridionale, le risque

¹² On définit comme journée-skieur la visite journalière d'une personne venant pratiquer le ski ou le snowboard sur un domaine skiable, indépendamment du tarif payé (RMS 2015b).

¹³ La sécurité d'enneigement d'une station de ski est considérée comme assurée si le manteau neigeux atteint 30 cm pendant au moins 100 jours par année, et ce sept années sur dix (Académies suisses des sciences 2016a).

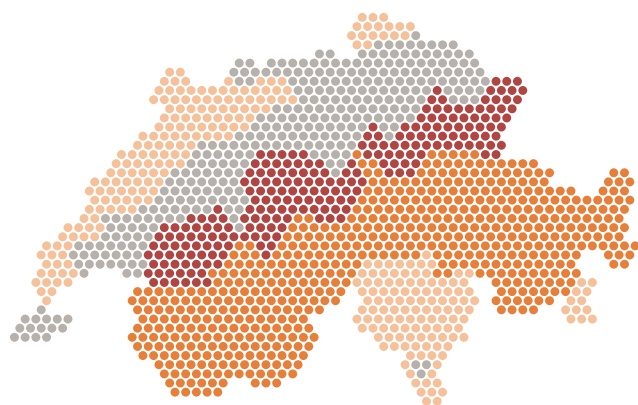
de diminution (supplémentaire) des revenus en question est faible (fig. 23).

Figure 23

Évolution de la baisse des revenus du tourisme hivernal dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- légère
- modérée
- importante
- non pertinent



Le tourisme est un secteur très sensible aux paramètres socio-économiques (EC3, EC6, EC7). Les taux de change jouent un grand rôle, en particulier pour les touristes en provenance de la zone euro (Académies suisses des sciences 2016a). En Suisse, les visiteurs sont par ailleurs très flexibles en matière de planification et peuvent se reporter spontanément sur une autre activité en fonction des conditions météorologiques (EC3, EC6, EC7).

Monte Tamaro – abandon du tourisme d’hiver

En 2003, la station de Monte Tamaro (Tessin) a abandonné le tourisme d’hiver en raison d’une sécurité d’enneigement insuffisante, préférant miser sur des offres touristiques portant sur le printemps, l’été et l’automne (parc aventures, luge d’été, tyrolienne, etc.). Ces nouvelles installations peuvent être utilisées huit mois par an.

Relevons par ailleurs que le développement d’activités touristiques (hébergement, infrastructures de transport, infrastructures sportives, etc.) peut entrer en conflit avec la protection de la nature ou avec les objectifs de la politique énergétique (utilisation d’eau et d’énergie pour l’enneigement artificiel p. ex.).

Au vu de l’évolution attendue sous l’effet des changements climatiques et d’autres facteurs d’influence, la baisse des revenus du tourisme hivernal doit être considérée comme un risque prioritaire dans les Préalpes et dans les Alpes (fig. 24).

Figure 24

Grandes régions dans lesquelles le risque « Baisse des revenus du tourisme hivernal » est prioritaire



Mesures d’adaptation

Une mesure d’adaptation déjà répandue consiste à recourir à l’enneigement artificiel des pistes. En Suisse, 48 % des pistes préparées sont aujourd’hui enneigées artificiellement (RMS 2015a), soit en raison du manque de neige, soit pour garantir des conditions d’enneigement optimales. Cette méthode est cependant coûteuse et nécessite de grandes quantités d’eau et d’énergie (Académies suisses des sciences 2016a), de sorte qu’elle n’est pas durable (EC3, EC5, EC6, EC8).

D’autres mesures d’adaptation consistent à diversifier l’offre touristique hivernale (activités non dépendantes des conditions d’enneigement) et à développer le tourisme sur toute l’année (cf. 12.2) (EC3, EC5, EC6).

5.2 Augmentation de la production énergétique hivernale

Du fait de l'élévation de la limite des chutes de neige, la production hydroélectrique et – dans une moindre mesure – la production d'énergie solaire pourront être augmentées en hiver. Toutefois, comme le potentiel d'augmentation de la production d'énergie solaire induit par la réduction de la durée d'enneigement des panneaux solaires est faible, il ne sera pas traité ici.

La production hydroélectrique joue un rôle majeur dans l'approvisionnement énergétique de la Suisse, puisqu'elle compte pour 56 % de la production indigène d'électricité. Dans certains cas, la force hydraulique joue en outre un rôle économique très important au plan local. Aux Grisons, elle représente 11 % de la valeur ajoutée brute du canton (EC5).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Du fait des changements climatiques, les précipitations hivernales augmenteront et tomberont à l'avenir davantage sous forme de pluie et moins sous forme de neige. Comme la pluie, à la différence de la neige, s'écoule directement dans les cours d'eau, les débits seront plus élevés en hiver, ce qui permettra d'accroître la production hydroélectrique hivernale (EC1, EC2, EC3, EC5).

L'effet de la modification des débits sur la production hydroélectrique est cependant à nuancer. D'une part, la relation entre débit et production hydroélectrique n'est pas linéaire, et la capacité de production dépend dans une large mesure d'autres facteurs, tels que le dimensionnement et le type d'installation. La modification du régime des débits représente surtout une opportunité pour les installations au fil de l'eau, la production des centrales à accumulation étant plutôt influencée par la capacité de contenance des installations et donc par la quantité annuelle des débits.

D'autre part, la variabilité des débits pourrait fortement augmenter (voir l'introduction du présent chapitre). À Genève et à Bâle par exemple, la modification du potentiel hydroélectrique induite par les changements climatiques sera moins importante que les fluctuations naturelles des

débits du Rhône et du Rhin (EC2, EC4). De plus, dans certaines régions touchées par la fonte du pergélisol et/ou des glaciers, la modification des régimes hydriques devrait aller de pair avec la mobilisation de matériaux meubles, ce qui entraînera un accroissement du charriage, augmentant ainsi les frais d'entretien des installations hydroélectriques et diminuant la capacité de stockage des bassins de rétention (cf. 7.2).

Dans l'ensemble, cette opportunité liée à l'évolution climatique doit être considérée comme mineure à l'échelle de la Suisse. Toutefois, l'évolution du potentiel de production hydroélectrique varie fortement d'une région à l'autre ainsi qu'à l'intérieur même des grandes régions, car le régime des cours d'eau dépend non seulement des caractéristiques hydrologiques du bassin versant considéré, mais aussi de conditions locales telles que la topographie (fig. 25).

Figure 25

Évolution de la production énergétique hivernale dans les différentes grandes régions

Augmentation de l'opportunité :

● légère



Néanmoins, si l'on tient compte non seulement des aspects climatiques, mais aussi des autres facteurs d'influence, l'augmentation de la production énergétique représente un double bénéfice : d'une part, elle a lieu en hiver, période pendant laquelle le prix de l'électricité est élevé car la demande est forte (EC1, EC3); d'autre part, elle améliore la sécurité d'approvisionnement, puisqu'elle permet d'accroître la production d'électricité en hiver, saison où cette dernière est relativement basse (Académies suisses des sciences 2016a).

Cependant, la production hydroélectrique est influencée par d'autres paramètres, tels que le prix de l'énergie et la redevance hydraulique. De plus, si le subventionnement des nouvelles énergies renouvelables augmente, la rentabilité de la production hydroélectrique diminue (Filippini & Geissmann 2014).

Par ailleurs, la capacité d'adaptation aux changements climatiques du secteur de l'énergie est faible, en raison à la fois du contexte difficile dans lequel la branche évolue et de la complexité des structures juridiques (situation différente dans chaque canton) (Jörin et al. 2016).

Au vu de l'évolution attendue sous l'effet des changements climatiques et des autres facteurs d'influence susmentionnés, l'augmentation de la production énergétique hivernale doit être considérée comme une opportunité prioritaire pour la région des Alpes (fig. 26). On peut partir du principe que dans cette région, les mesures d'adaptation permettant d'exploiter cette opportunité seront prises de façon autonome par la branche sur la base de considérations économiques et en tenant compte du cadre politique.

Opportunités pour la production hydroélectrique dans le canton des Grisons

Dans le canton des Grisons, on a estimé à l'aide de modèles climatiques l'évolution de la production des usines hydroélectriques pour la période 2021–2050 : selon le résultat de ces calculs, la production des centrales électriques de Prättigau, par exemple, augmentera de 9,3 % par an. Cette hausse sera répartie entre l'hiver et l'été à raison de 26 % et 0,4 % respectivement (Hänggi 2011).

Figure 26

Grande région dans laquelle l'opportunité « Augmentation de la production énergétique hivernale » est prioritaire



5.3 Diminution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige

Chaque année, des sommes importantes sont dépensées pour l'entretien et la réparation des routes en hiver. Pendant cette période, des dégâts sont également causés aux infrastructures et bâtiments par le poids de la neige et par les avalanches. L'élévation de la limite des chutes de neige et la hausse des températures représentent donc un potentiel d'économies dans ce domaine.

La consommation de sel offre une bonne illustration des frais d'entretien liés à la neige. En moyenne, quelque 220 000 t de sel sont commandées aux salines chaque année (et jusqu'à 400 000 t pendant les hivers riches en neige) par les communes, les cantons, les détaillants, les entreprises de construction et de transports en commun, ainsi que par d'autres acteurs. Il existe donc une corrélation importante entre les chutes de neige et la consommation de sel (MétéoSuisse 2015).

Les dommages matériels et frais d'entretien traités dans cette section peuvent être différenciés spatialement.

À basse et haute altitude :

- frais d'entretien des routes liés à la neige (déneigement, salage, épandage de gravier) ;

- dommages au revêtement de la chaussée dus à l'alternance de périodes de gel et de dégel (EC1, EC6).

À haute altitude uniquement :

- dommages aux infrastructures et bâtiments causés par le poids de la neige ou par la pression de la neige. Ces dommages dépendent avant tout de la teneur en eau de la neige : un mètre cube de neige mouillée est environ quatre fois plus lourd qu'un mètre cube de neige poudreuse (Alarme-Météo 2016) ;
- dommages aux infrastructures et bâtiments causés par les avalanches. Dans l'ensemble, les dégâts dus aux avalanches ont cependant reculé au cours des dernières années, en partie grâce à une meilleure prise en compte de ce risque dans l'aménagement du territoire (EC5)¹⁴.

Impacts constatés et impacts prévisibles

Frais d'entretien dus à la neige : une diminution des jours de neige fraîche est attendue à l'horizon 2060, en particulier à basse et moyenne altitude, avec à la clé une réduction des frais de déneigement. La consommation de sel pourrait passer de 220 000 t en moyenne aujourd'hui à 120 000 t à l'horizon 2060. Il est cependant possible que cette consommation augmente localement à haute altitude (MétéoSuisse 2015).

Dommages dus au gel : du fait de la diminution du nombre de jours de gel, certaines régions connaîtront une baisse des dégâts liés à ce phénomène (EC1, EC3, EC7). Ce type de dommages pourrait néanmoins augmenter dans d'autres régions, où le nombre de périodes de gel persistant va certes diminuer, mais où les périodes d'alternance entre gel et dégel deviendront plus fréquentes (EC6).

Dommages dus au poids de la neige : de manière générale, la réduction des chutes de neige devrait entraîner une diminution des dommages dus au poids de la neige (EC6, EC7, EC8). Il est cependant possible que ce type de dommage augmente légèrement à court terme et localement

suite à la hausse des températures moyennes (davantage de chutes de neige mouillée, donc plus lourde) (EC5).

Dommages dus aux avalanches : le socle de connaissances relatives à l'évolution de l'activité avalancheuse n'est pas encore assez complet pour que l'on puisse se montrer affirmatif quant à l'évolution des dommages. La possibilité d'avoir des hivers très riches en neige subsiste malgré le réchauffement du climat.

L'importance de l'opportunité « Diminution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige » varie d'une région à l'autre. La diminution des dommages et des frais d'entretien est modérée dans les grandes agglomérations, sur le Plateau et en Suisse méridionale. Les économies attendues sont faibles dans les Alpes, les Préalpes et le Jura, et elles concernent principalement les fonds de vallées. Le potentiel d'économie lié à la baisse des coûts de déneigement est compris entre 30 et 77 % selon les régions (Genève et Uri : 30 %, Fribourg 60 %, Argovie : 70 %, Tessin : 77 %) (fig. 27).

Figure 27

Évolution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige dans les différentes grandes régions

Augmentation de l'opportunité :

- légère
- modérée



L'épandage de sel représente aussi une atteinte à l'environnement (pollution des eaux souterraines) et peut provoquer des dommages à la faune et à la flore locales. La diminution du salage permet de réduire ces dégradations.

¹⁴ Les avalanches dites dommageables, qui sont provoquées par des chutes de neige extrêmes et se déclenchent à la hauteur ou au-dessus de la limite supérieure de la forêt pour descendre jusque dans les vallées, ne sont pas traitées ici faute de connaissances suffisantes relatives à leur évolution sous l'effet des changements climatiques.

tions. De plus, les frais de dérivation des eaux de route, de rinçage des canalisations ou de traitement des eaux dans les STEP devraient eux aussi diminuer, tout comme les dégâts que le sel cause aux infrastructures (revêtements et ouvrages en béton et en acier) et aux véhicules (Zuber 2015).

Au vu de l'évolution attendue sous l'effet des changements climatiques et d'autres facteurs d'influence, la diminution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige doit être considérée comme une opportunité prioritaire dans toute la Suisse (fig. 28). Aucune mesure d'adaptation particulière n'est nécessaire pour l'exploiter.

Figure 28

Grandes régions dans lesquelles l'opportunité « Diminution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige » est prioritaire.



Coûts du déneigement dans les Préalpes fribourgeoises

Dans les Préalpes fribourgeoises, les coûts des travaux de déneigement des routes nationales, cantonales et communales s'élèvent à 7,4 millions de francs par an. Avec l'élévation de la limite des chutes de neige, ces coûts pourraient diminuer de façon substantielle. À l'horizon 2060, ils ne devraient plus s'élever qu'à 3 millions de francs par an. Les coûts des dommages causés aux routes par le gel devraient quant à eux passer de 0,6 million de francs par an aujourd'hui à 0,4 million de francs en 2060. Le potentiel d'économie pour le canton et les communes concernées est donc considérable (EC3).

6 Aggravation du risque de crues



- Dommages aux personnes
- Dommages matériels



Crues consécutives à de graves intempéries à Altstätten (SG) en 2014

Photo : KEYSTONE_Ennio Leanza

En Suisse, la protection contre les crues revêt traditionnellement un degré de priorité élevé. Elle s'est fortement développée au fil du temps, suite à des événements dévastateurs. Ainsi, les crues de 1987 ont débouché sur l'adoption de la loi du 21 juin 1991 sur l'aménagement des cours d'eau (RS 721.100), qui fixe notamment les exigences écologiques posées à la protection contre les crues. Quant à l'épisode de crues de 2005, il a montré clairement ce qu'est une surcharge. La prise en compte des cas de surcharge lors de la conception des projets de protection contre les crues permet de s'assurer que les ouvrages de protection ne céderont pas brusquement en

entraînant un accroissement incontrôlé des dommages (OFEV 2017a).

Le risque de crues reste toutefois important en raison des forces en action ainsi que des surfaces et des biens potentiellement menacés. Il est impératif de suivre l'évolution de ces deux éléments afin de protéger de manière appropriée l'homme et les biens matériels de valeur.

Les pluies intenses ou de longue durée, et/ou la fonte des neiges peuvent entraîner une élévation du niveau des plans d'eau et une augmentation du débit des cours d'eau.

On parle de crue lorsque la hauteur d'eau est nettement supérieure à la moyenne pluriannuelle. Une distinction peut être établie entre deux types d'inondations (PLA-NAT 2017a) :

- dans les torrents et les cours d'eau de montagne, des vitesses d'écoulement élevées peuvent entraîner des débordements (« inondation dynamique »). L'eau érode alors le lit du cours d'eau à la fois latéralement et en profondeur. Elle emporte des matériaux solides de plus ou moins grande taille, qu'elle peut déposer en dehors du lit du cours d'eau ;
- sur terrain plat, le niveau d'un cours d'eau ou d'un lac augmente lentement, jusqu'à ce que l'eau submerge la rive (« inondation statique »). Là aussi, il peut y avoir érosion des rives et du lit, et des matières solides peuvent être emportées puis déposées en dehors du cours ou du plan d'eau.

Les phénomènes suivants sont également traités dans le présent chapitre :

- les crues provoquées par la vidange d'un lac glaciaire ou par une onde de crue provenant d'un lac glaciaire ;
- les inondations causées par des écoulements de surface dus à de fortes précipitations ;
- les laves torrentielles, un mélange d'eau et de matières solides qui peut s'écouler à différentes vitesses (lentes à rapides), et descend souvent par poussées successives (Loat & Meier 2003).

Évolution observée et évolution attendue

Des crues catastrophiques se sont produites de façon récurrente par le passé. La crue de 1852, qui est considérée comme l'une des plus graves ayant touché le Plateau, en constitue un exemple (Röthlisberger 1991, Wetter 2011). Il y a toutefois aussi eu dans l'histoire des périodes caractérisées par un faible nombre de crues. C'est le cas des années 1880 – 1970 (Pfister 2009).

Depuis les années 1970, la fréquence des épisodes de crues augmente à nouveau (Schmocker-Fackel & Naef 2010). C'est ainsi que le canton d'Uri a subi de graves dommages dus aux intempéries en 1977 (Röthlisberger 1991) et que le massif alpin a connu des inondations extrêmes au cours de l'été 1987 (Pfister 2009). Certaines

évolutions socio-économiques, telles que l'expansion des zones habitées et l'augmentation de la concentration des valeurs, ont provoqué une hausse marquée du potentiel de dommages (Pfister 2009).

Pour estimer l'évolution possible des crues sous l'effet du réchauffement climatique, il faut prendre en considération les processus suivants :

- augmentation de la part des précipitations hivernales tombant sous forme de pluie plutôt que de neige, phénomène qui – conjugué à l'augmentation attendue de la quantité de précipitations – aura pour effet d'accroître les débits en hiver ;
- fonte des neiges plus précoce avec augmentation de la probabilité que ladite fonte se superpose à des

Les crues des 21 et 22 août 2005

Lors des crues des 21 et 22 août 2005, ce sont avant tout les eaux des lacs et des grandes rivières qui ont provoqué des inondations persistantes et étendues, mais le plus souvent pauvres en matériaux de charriage. Avec six morts et des dommages d'un montant total de quelque 3 milliards de francs, cet épisode est le plus meurtrier et le plus cher survenu depuis le début du recensement systématique des dégâts dus aux intempéries, en 1972. Les cantons de Berne, Lucerne, Uri, Obwald et Nidwald ont été les plus touchés. Près d'un tiers des communes suisses ont subi des dommages.

Ces derniers n'ont pas seulement touché des biens mobiliers et immobiliers privés, mais aussi toute une série d'autres domaines. Les bâtiments publics, les hôtels, les entreprises, les infrastructures de transport, les ouvrages de protection contre les crues, les infrastructures d'approvisionnement en eau et en électricité, les bâtiments agricoles, les cultures et les infrastructures touristiques n'ont pas été épargnés. Plus de 3000 personnes ont dû être évacuées. Des coûts indirects considérables, notamment des pertes dans le secteur du tourisme, ont en outre été enregistrés, mais, n'étant pas chiffrés précisément, ils ne sont pas compris dans le montant global des dommages (OFEV & WSL 2007).

précipitations hivernales de forte intensité, entraînant une hausse des débits hivernaux ;

- diminution des stocks de neige ne fondant qu'au printemps, ce qui réduit la probabilité des crues printanières ;
- diminution des débits estivaux.

Dans l'ensemble, ces changements devraient entraîner une hausse du risque de crues (Académies suisses des sciences 2016a). La période de crues potentielles devrait se déplacer, passant du début du printemps au semestre d'hiver, et dans certains cas se prolonger. Les processus de fonte du pergélisol et de recul des glaciers devraient en outre augmenter la disponibilité de matériaux meubles, ce qui, selon les conditions géologiques, pourrait accroître le charriage dans les cours d'eau de montagne (OFEV

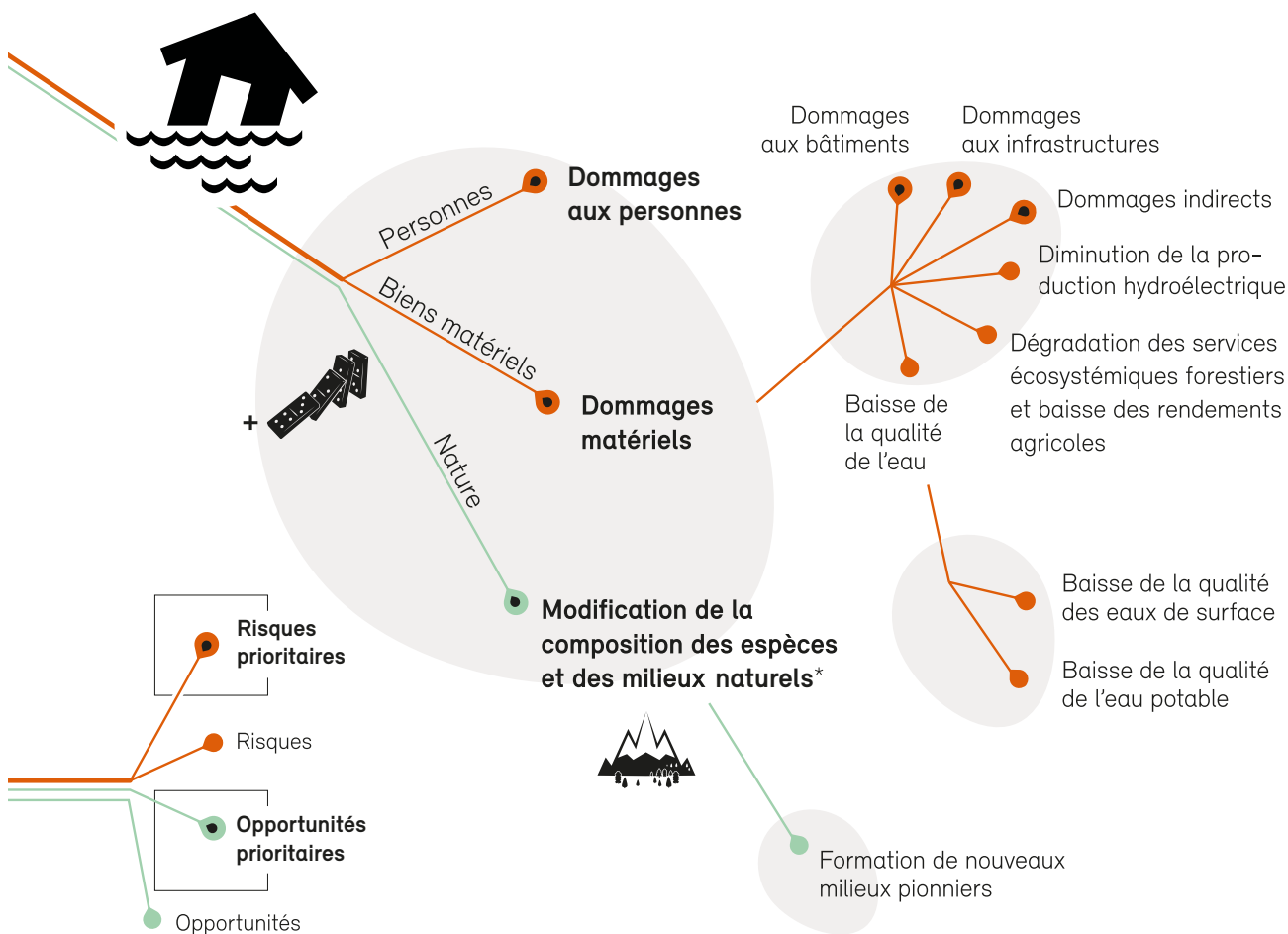
2012a, CH2014-Impacts 2014, Académies suisses des sciences 2016a). Dans ce contexte, il faut faire une distinction entre les processus susceptibles de se produire d'une part dans les torrents et les cours d'eau de montagne et d'autre part dans le cours inférieur des rivières et des fleuves (Geo7 2012).

La question de savoir s'il faut s'attendre, à l'avenir, à une augmentation des crues provoquées par la vidange abrupte de lacs nouvellement formés dans les marges proglaciaires dépend fortement des conditions locales. Une appréciation n'est possible qu'au cas par cas.

La fréquence et l'intensité des inondations déclenchées par des écoulements de surface dus à de fortes préci-

Figure 29

Aggravation du risque de crues : vue d'ensemble des risques et opportunités, qu'ils soient ou non prioritaires



* Analysé dans un autre défi

pitations pourraient quant à eux augmenter dans un climat plus chaud (Rajczak et al. 2013, Ban et al. 2015, Giorgi et al. 2016). Cette évolution est consécutive à celle, attendue, des fortes précipitations, dont la fréquence et l'intensité pourraient s'accroître en été malgré la diminution globale des précipitations (Académies suisses des sciences 2016a).

Les fortes précipitations sont également un facteur d'influence déterminant pour le déclenchement de laves torrentielles. Dans un climat plus chaud, de telles précipitations – conjuguées à la dégradation du pergélisol et à la mobilité accrue de matériaux meubles – renforcent l'activité des laves torrentielles.

La figure 29 présente les risques et opportunités, prioritaires ou non, qui sont liés au défi « Aggravation du risque de crues ».

6.1 Augmentation des dommages aux personnes

Cette section traite exclusivement des décès (et non des autres dommages corporels) dus aux crues, aux mouvements de terrain, aux tempêtes et à la foudre.

La protection de l'être humain est un objectif prioritaire énoncé notamment à l'art. 1 de la loi du 21 juin 1991 sur l'aménagement des cours d'eau (RS 721.100) et dans la stratégie « Dangers naturels en Suisse ». Le niveau de sécurité à viser à long terme est qu'il n'y ait pas d'augmentation sensible de la probabilité moyenne de décès dus aux dangers naturels (PLANAT 2013). Cette probabilité doit en particulier rester inférieure à la mortalité naturelle de la classe d'âge ayant le taux de mortalité le plus bas, à savoir celle des 10 à 14 ans. Chez les spécialistes, il existe un large consensus selon lequel la limite entre un risque de décès acceptable et un risque de décès inacceptable est de 10^{-5} décès/an (PLANAT 2015).

Les efforts menés dans le domaine de la protection reposent tous sur la prémisse selon laquelle il ne peut pas y avoir de sécurité absolue en matière de dangers naturels. Il est impossible, aujourd'hui comme demain,

d'exclure entièrement la survenance de dommages et de décès (Confédération Suisse 2016).

Ce sont surtout les épisodes de grande amplitude qui provoquent des décès. Du fait de leur rareté, ils sont difficiles à prévoir. L'ampleur des dommages aux personnes dépend en outre fortement des mesures existant en matière de protection contre les dangers naturels et des comportements individuels (OFEV 2017a).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Le nombre de décès dépend – encore plus fortement que les dégâts matériels – du déroulement de l'événement considéré, et donc en partie du hasard. Pour identifier des tendances, il faut disposer d'une période d'observation aussi longue que possible. L'analyse de la période allant du début du 19^e siècle à aujourd'hui montre que le nombre moyen de décès est resté stable en termes absolus, mais qu'il a diminué par rapport au nombre d'habitants.

Selon les statistiques des décès survenus au cours des 70 dernières années, les dangers naturels ont coûté la vie à 552 personnes : 124 de ces décès étaient dus à des crues, 74 à des glissements de terrain, 85 à des chutes de pierres, 164 à la foudre et 105 à des tempêtes (Badoux et al, 2016). La moyenne est d'environ huit décès par an, chiffre qui ne comprend pas les personnes s'étant exposées volontairement à un danger significatif.

Les décès se produisent le plus souvent dans le contexte d'événements extrêmes dont on ne peut pas encore prédire avec certitude l'évolution possible. De ce fait, l'évolution dans les différentes grandes régions ne peut pas être cartographiée. L'augmentation potentielle des dommages aux personnes est toutefois considérée comme un risque prioritaire dans toute la Suisse (fig. 30), puisque les décès sont irréversibles et que l'expérience acquise à ce jour en matière de crues et de tempêtes montre que l'on ne saurait exclure une augmentation de ce type d'événements sous l'effet des changements climatiques.

Figure 30

Grandes régions dans lesquelles le risque « Augmentation des dommages aux personnes dus aux crues, aux mouvements de terrain, aux tempêtes et à la foudre » est prioritaire



Mesures d'adaptation

Il convient d'accorder une attention particulière aux mesures d'aménagement des eaux et aux mesures sylvicoles à visée protectrice, à l'amélioration des mesures organisationnelles et aux possibilités actuelles d'alerte et de sauvetage de personnes.

Dans la gestion des dangers naturels, la responsabilité individuelle revêt une grande importance. Ce principe figure d'ailleurs dans la Constitution fédérale (art. 6). Chaque individu a le devoir d'apporter une contribution à l'obtention de la sécurité recherchée, en particulier par la protection des objets et par l'adoption d'un comportement adapté au risque (Confédération Suisse 2016).

6.2 Augmentation des dommages matériels

À l'échelle de la Suisse, le potentiel de dommages matériels liés aux crues est énorme, non seulement parce que d'importantes portions du territoire peuvent être touchées, mais aussi parce que les régions à risque abritent des infrastructures critiques ou que des dommages indirects considérables peuvent se produire, tels que des pertes économiques dues à des interruptions du trafic ou à des interruptions d'exploitation. Ces facteurs contribuent à ce que les dommages causés par les crues puissent prendre une ampleur catastrophique.

La survenance de dommages dépend fortement des processus en action. Les inondations statiques s'étendant souvent sur des surfaces relativement vastes, elles peuvent entraîner des dommages importants même lorsqu'elles n'atteignent que de faibles hauteurs. En cas d'intensité plus élevée, la pression des courants de crue peut menacer la stabilité des bâtiments. En ce qui concerne les inondations dynamiques, c'est la force du courant qui cause les dommages. Bien souvent, elle se conjugue avec le déplacement de matériaux de charriage et avec de l'érosion. Les inondations dynamiques ont un important potentiel de destruction au plan local (PLANAT 2016b, OFEV 2015a).

Des dommages supplémentaires peuvent être causés par les embâcles (blocage d'un tronçon de cours d'eau par des matériaux apportés par l'eau). La rupture brutale d'un embâcle peut provoquer une dangereuse augmentation des débits en aval (OFEV & WSL 2007). Une telle hausse des débits peut également se produire en cas de vidange soudaine d'un lac glaciaire ou d'onde de crue issue d'un lac glaciaire (canton de Berne 2015).

L'écoulement de surface dû à de fortes précipitations peut également causer des dommages, surtout dans les agglomérations, où il peut dépasser les capacités des installations d'évacuation des eaux et inonder les rues, les places et les parties basses des bâtiments (EC2, Confédération suisse 2016).

Quant aux laves torrentielles, elles sont susceptibles, du fait de la densité élevée du mélange d'eau et de matières solides qui les compose, de générer de fortes pressions et, par là, de provoquer l'effondrement de bâtiments entiers (PLANAT 2015).

Impacts constatés et impacts prévisibles

La société de réassurance Swiss Re estime à quelque 4 milliards de francs le potentiel de dommages matériels assuré à l'échelle de la Suisse en cas de crue centennale (interruptions d'exploitation comprises, mais sans les dégâts aux infrastructures, car ces derniers ne sont pas assurés) (Swiss Re 2012). Ce potentiel est presque deux fois plus élevé que celui d'une tempête centennale et il l'est trois fois plus que celui d'un épisode de grêle centennal. Il existe cependant d'importantes disparités

locales. Le potentiel de dommages est par exemple très élevé dans la vallée du Rhône, le long du Rhin alpin ou dans la ville de Zurich.

Dus par exemple à des perturbations du trafic ou à des pertes de production, les dommages indirects sont difficiles à évaluer (à l'exception des interruptions d'exploitation mentionnées plus haut, qui sont assurées), de sorte qu'ils ne sont pas inclus dans les estimations du potentiel de dommages. Lorsque par exemple d'importants axes routiers sont touchés, cela peut avoir de graves conséquences économiques pour des régions très éloignées de l'origine du sinistre (EC7).

Dans le cadre des études de cas consacrées à Bâle-Ville, à l'Argovie et au Tessin, les dommages de crues centennales survenant dans les conditions climatiques actuelles ont été calculés en tenant compte des dégâts aux bâtiments, aux biens mobiliers et aux infrastructures de transport, et en estimant sommairement les conséquences indirectes de ces dégâts. Le montant attendu des dommages s'élève à 500 millions de francs dans le canton de Bâle-Ville (EC2) et à 650 millions de francs dans le canton d'Argovie (EC1). Dans le canton du Tessin, les dommages directs ont été estimés à quelque 150 millions de francs dans la région des grands lacs, montant auquel il faut ajouter les dommages indirects, qui devraient atteindre le même ordre de grandeur (EC7).

Selon les explications figurant dans l'introduction du présent chapitre, la période de crues potentielles devrait dans certains cas s'allonger et le risque de dommages augmenter. On déplore toutefois l'absence presque totale de projections quant à l'évolution future des crues extrêmes. L'ampleur d'une crue dépend de plusieurs facteurs, et l'intensification des épisodes de fortes précipitations ne permet pas à elle seule de conclure à l'augmentation des crues extrêmes ou des débits de pointe (Académies suisses des sciences 2016a). On manque en outre d'études sur les dommages des crues extrêmes et sur l'évolution possible de ces derniers. De telles études devraient tenir compte de la très complexe chaîne de causalité allant de l'aléa naturel au dommage.

Dans les études de cas, on s'est fondé sur des hypothèses simplifiées pour estimer sommairement les impacts d'une

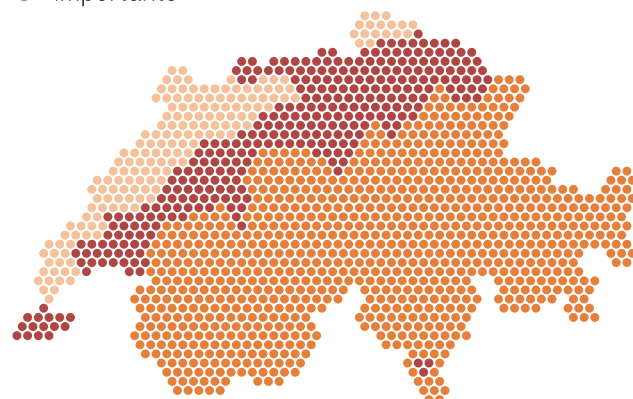
augmentation de la fréquence des crues. Dans l'étude de cas consacrée au Tessin, on admet que la fréquence des (fortes) crues augmentera de 40 %. L'étude consacrée à Bâle-Ville se fonde sur l'hypothèse d'une augmentation de 20 % des débits de pointe. Dans le canton d'Argovie, on a pris comme base une augmentation de 30 % de la fréquence des épisodes de fortes précipitations pour évaluer l'évolution du risque de crues.

L'évolution possible, sous l'effet des changements climatiques, des dommages matériels dus aux crues centennales est présentée à la figure 31. Selon les résultats des études de cas et leur transposition aux grandes régions, le Plateau et les grandes agglomérations pourraient être fortement touchés (changements importants). Les changements attendus sont modérés dans les Alpes, les Préalpes et la Suisse méridionale, et légers dans le Jura. Ces différences régionales ont une double cause. D'une part, les évolutions attendues sous l'effet des changements climatiques ne sont pas les mêmes en altitude (torrents et cours d'eau de montagne) que sur le Plateau (grandes rivières) (Geo7 2012). D'autre part, le potentiel de dommages est d'ores et déjà très important, surtout sur le Plateau et dans les grandes agglomérations, et il continue d'augmenter, ce qui entraîne des changements importants en termes absolus.

Figure 31
Évolution des dommages matériels dus aux crues dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- légère
- modérée
- importante



Les évolutions socio-économiques constituent le principal moteur des changements à venir dans toutes les régions de Suisse. La surface bâtie a fortement augmenté au cours des dernières décennies et elle continuera de s'étendre à l'avenir. Du fait de cette extension, un nombre croissant de personnes vivra vraisemblablement dans des zones à risques. De plus, la dépendance croissante envers les systèmes techniques fonctionnant en réseau entraînera un accroissement supplémentaire des risques pour l'économie et la société. En outre, les gros épisodes de crues touchent souvent des infrastructures critiques, ce qui peut avoir d'importantes répercussions sur l'ampleur des dommages.

Parallèlement, il existe un certain nombre d'obstacles à l'adaptation. La perception des dangers naturels dépend fortement des expériences concrètes faites en la matière. S'il ne se produit pas d'événements significatifs pendant une période relativement longue, le degré de sensibilité au risque diminue, de sorte qu'il devient plus difficile de justifier des ressources financières et en personnel pour la protection contre les dangers naturels (Jörin et al. 2016). Enfin, la mise en œuvre d'une gestion intégrée du risque soulève des conflits d'intérêts, en particulier en ce qui concerne l'aménagement du territoire.

Au vu des facteurs précités, l'augmentation des dommages matériels doit être considérée comme un risque prioritaire dans toute la Suisse (fig. 32).

Mesures d'adaptation

Les risques liés aux crues ne sont pas nouveaux. Leur maîtrise relève de la stratégie «Dangers naturels en Suisse», qui tient compte des incertitudes existantes et à venir et, par là, des changements climatiques. Dans le contexte de ces derniers, il convient en particulier de mettre l'accent sur les axes stratégiques suivants :

- mise à disposition et actualisation périodique d'informations et d'instruments de base sur les risques et les dangers ;
- suivi permanent de l'évolution des risques et des dangers ;
- aménagement du territoire tenant compte des dangers naturels et des changements climatiques en réservant par exemple davantage d'espace pour les eaux ;
- prise en compte des cas de surcharge (mesures de protection conçues pour être robustes, flexibles et pour pouvoir supporter les surcharges).

La stratégie «Dangers naturels en Suisse» doit continuer d'être mise en œuvre de façon systématique. Les activités existantes doivent être poursuivies et au besoin intensifiées ponctuellement.

Figure 32

Grandes régions dans lesquelles le risque «Augmentation des dommages matériels dus aux crues» est prioritaire



7 Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain



- Dommages aux personnes
- Dommages matériels



Laves torrentielles au-dessus de Sachseln (au bord du lac de Sarnen), entre Totenbüel et Hinter-Büelen, en 2005

Photo : Forces aériennes suisses

Les régions dont on sait qu'elles sont sujettes aux mouvements de terrain couvrent 6 à 8 % du territoire suisse. Elles se situent avant tout dans les Alpes, les Préalpes et dans certaines parties du Jura. L'importance des mouvements de terrain a amené la Confédération à formuler dès 1997 des recommandations visant à améliorer leur prise en compte (OFAT et al. 1997, OFEV 2016a).

En matière de mouvements de terrain, on distingue entre processus de chute, glissements de terrain et processus d'écoulement (OFEV 2016a). De tels événements peuvent

se produire isolément ou sous la forme de différentes combinaisons.

Processus de chute: sur un terrain à forte déclivité, des masses de roches dures et/ou de roches meubles se détachent et tombent. Les processus de chute sont subdivisés, selon leur volume, en écroulements, éboulements, chutes de blocs et chutes de pierres. Dans le cas des écroulements, le volume de roches qui chute peut atteindre plusieurs millions de mètres cubes; il est inférieur à un million de mètres cubes dans le cas des ébou-

lements et à 100 m³ dans ceux des chutes de blocs et de pierres (OFEV 2016a).

Glissements de terrain : des masses de roches dures et/ou de roches meubles se déplacent vers l'aval sur un plan de glissement. L'eau présente dans le sous-sol joue un rôle important dans ce processus. La vitesse d'un glissement actif peut varier fortement au fil du temps. Si le glissement se déroule sur plusieurs années, on parle de glissement permanent. S'il augmente fortement, un changement de processus peut se produire et le glissement se transformer en coulée de boue (OFEV 2016a).

Processus d'écoulement : cette catégorie de mouvements de terrain comprend les coulées de boue et les laves torrentielles. Il s'agit dans les deux cas de mélanges de terre, de pierres et d'eau qui s'écoulent jusque dans la vallée. Si cet écoulement se produit indépendamment d'un chenal, on parle de coulée de boue, s'il suit un chenal préexistant, on parle de lave torrentielle. Les fortes précipitations et les afflux d'eaux souterraines jouent un rôle important dans le déclenchement des processus d'écoulement. Les laves torrentielles sont toutefois assimilées à des crues (OFEE et al. 1997, OFEG 2001) et donc traitées au chapitre 6.

Évolution observée et évolution attendue

En ce qui concerne les glissements de terrain, aucune tendance significative n'a pu être dégagée pour la période allant de 1972 à aujourd'hui (Hilker et al. 2009). Quant aux coulées de boue, elles ont augmenté ces dernières années en Suisse, ce qui peut en partie s'expliquer par l'augmentation observée des épisodes de fortes précipitations (OFEG 2004). Pour qu'une coulée de boue se déclenche, l'intensité des précipitations doit dépasser un certain seuil, qui dépend des conditions hydrogéologiques et de la saturation en eau du sol. De tels épisodes de fortes précipitations de courte durée sont typiques des cellules orageuses.

En ce qui concerne les processus de chute observés à ce jour, il n'existe aucune tendance significative liée aux températures. Une augmentation des épisodes de faible à moyenne ampleur est toutefois observable chaque printemps, en lien avec l'alternance entre le gel et le dégel,

la fonte des neiges et les premières pluies de la saison (Gruner 2008).

Pour estimer la façon dont les processus de chute, de glissement et d'écoulement sont susceptibles d'évoluer sous l'effet du réchauffement climatique, il faut déterminer la manière dont les principaux facteurs d'influence (matériaux meubles et afflux d'eau) peuvent changer.

D'une part, la dégradation du pergélisol et la dilatation thermique jouent un rôle important dans les processus de chute. Les processus de dégel à l'œuvre dans le pergélisol peuvent faire apparaître des discontinuités, des fissures de décompression et de nouvelles voies d'écoulement dans la roche, ce qui permet la pénétration d'eau et le déclenchement des épisodes de chutes. Le recul des glaciers met à nu des flancs de vallées et réduit la charge pesant sur ceux-ci, provoquant l'apparition de nouvelles conditions statiques qui – notamment en combinaison avec des précipitations – peuvent entraîner des épisodes de chute (canton de Berne 2015).

D'autre part, lorsque les températures augmentent, les fissures et interstices présents dans les parties mobiles de la roche ou dans des roches cassantes se referment sous l'effet de la dilatation thermique (Gruner 2008). Une diminution du nombre de jours de gel-dégel conduit donc à une stabilisation de la roche et à un ralentissement du processus de météorisation.

Ce type d'évolution est également significatif en ce qui concerne les glissements de terrain et les coulées de boue. Le dégel du pergélisol et le recul des glaciers peuvent accroître la disponibilité de matériau meuble, tandis que la diminution du nombre de jours de gel-dégel réduit la quantité de matières libérées.

L'augmentation de la fréquence des fortes précipitations peut accroître le transport de matières solides, ce qui se répercute sur la disponibilité de matériaux meubles. Les fortes précipitations, éventuellement en combinaison avec la fonte des neiges, favorisent le déclenchement de mouvements de terrain. L'augmentation de la fréquence des mouvements de faible ampleur pourrait entraîner la raréfaction des événements de grande ampleur du fait

de la diminution des matériaux mobilisables (Geo7 2012, ASAE 2007).

Étant donné que des facteurs concurrents ont, selon les conditions locales, une influence plus ou moins grande sur les processus de chute, les glissements de terrain et les coulées de boue, ces phénomènes sont susceptibles soit d'augmenter, soit de diminuer. L'analyse des risques repose sur les hypothèses ci-après.

On s'attend à ce que les glissements de terrain gagnent en fréquence et en amplitude. Les coulées de boues pourraient devenir plus fréquentes dans les Alpes (les résultats ne sont pas très clairs pour les autres régions); quant à leur ampleur, elle devrait diminuer dans les régions basses des Alpes, mais augmenter à plus haute altitude.

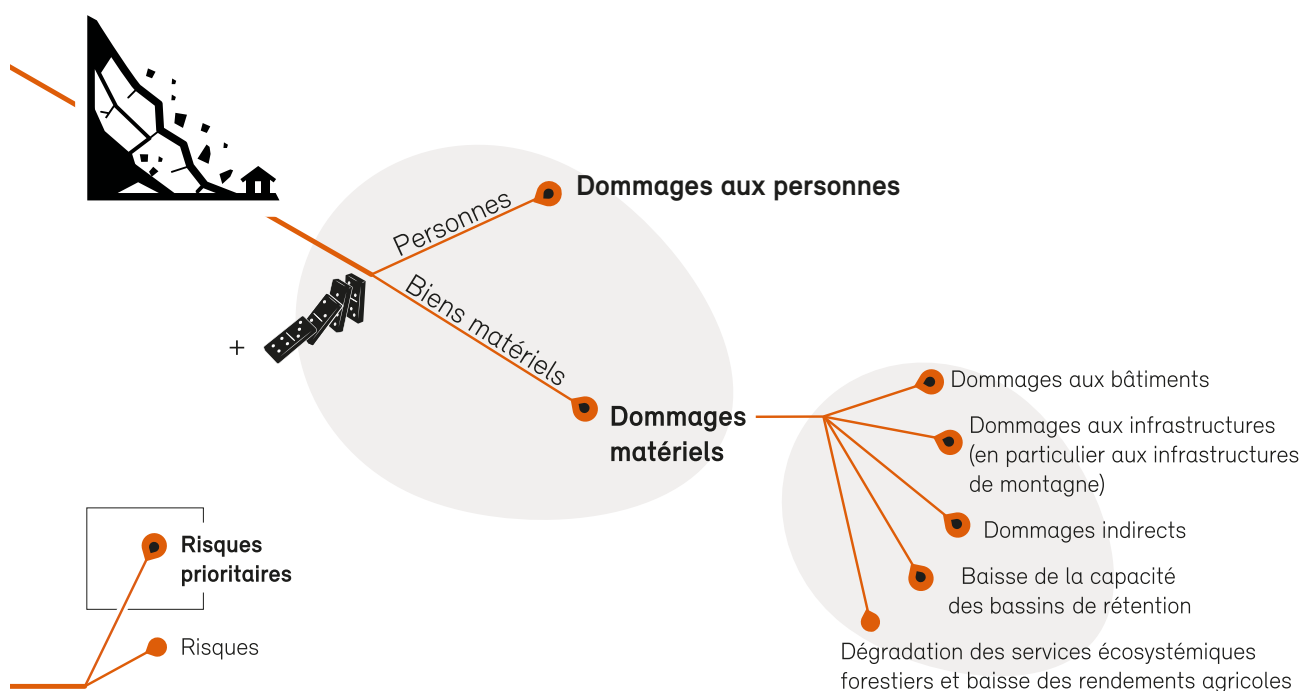
S'agissant des chutes de pierres et de blocs, l'altitude est déterminante: La fréquence des chutes de pierres pourrait augmenter dans les Alpes, mais diminuer dans les Préalpes et en Suisse méridionale; quant à leur

ampleur, elle devrait majoritairement reculer. Les chutes de blocs devraient gagner en fréquence et en amplitude dans les Alpes (EC7, Geo 7 2012, PLANAT 2016d). Lors de l'interprétation de ces informations, il conviendra de tenir compte du fait qu'il existe des régions de basse altitude dans les Alpes et des régions de haute altitude dans les Préalpes, et que les changements dépendent des conditions locales.

Du fait du dégel du pergélisol et du recul des glaciers, des mouvements de terrain pourraient se produire dans des régions qui n'étaient jusqu'à présent pas touchées par ce phénomène (Académies suisses des sciences 2016a). Il s'agit principalement de régions situées au-dessus de 2000 à 2200 m, où le potentiel de dommages est faible. Localement, la dégradation du pergélisol de zones périglaciaires ou non englacées pourrait toutefois, si les conditions s'y prêtent, impacter des régions situées en aval. C'est le cas par exemple pour le Ritigraben (VS), le glacier inférieur de Grindelwald (BE), la Plaine Morte (VS/BE) et le Val Bondasca (GR), mais pas pour l'ensemble du territoire concerné.

Figure 33

Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain : vue d'ensemble des risques, qu'ils soient ou non prioritaires



La figure 33 présente les risques, prioritaires ou non, liés au défi «Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain».

Mouvements de terrain dans les Alpes et les Préalpes

En avril et en mai 1991, deux écroulements d'un volume total de plus de 30 millions de mètres cubes ont eu lieu au-dessus de Randa (VS), coupant la ligne ferroviaire et la route Randa – Zermatt. En août 1994, un glissement de terrain a détruit plus de 30 maisons de vacances à Falli-Höllli, dans le canton de Fribourg. Quelque 40 millions de mètres cubes de terre se sont mis en mouvement sur une surface de 2 km², provoquant des dommages d'environ 20 millions de francs (PLANAT 2016c, Raetzo 1997).

En octobre 2000, un glissement de terrain survenu après une longue période de fortes pluies a provoqué d'importants dommages dans le village de Gondo (VS). Treize personnes ont perdu la vie.

En juillet 2006, quelque 500 000 m³ de roches se sont détachés de l'Eiger en amont de Grindelwald et sont tombés sur le glacier inférieur de Grindelwald. Cet éboulement a été provoqué par des tensions dans le flanc de la montagne dues au recul du glacier (PLANAT 2017a).

Tant en été 2003 qu'en été 2015, les processus de dégel du pergélisol ont provoqué une multiplication des épisodes de chutes. Durant la canicule de l'été 2003, un grand nombre d'éboulements ont eu lieu entre juin et août dans tout le massif alpin, surtout à haute altitude et sur les versants nord. La dégradation du pergélisol consécutive aux températures élevées est une explication plausible de ces événements (OcCC/SCNAT 2005, PLANAT 2016g, EC8). Cet été-là, le dégel du pergélisol pourrait, selon les simulations, avoir atteint une profondeur de 1,5 m de plus que pendant la période 1980 – 2000 (OFEFP et al. 2004). En 2015, la température du pergélisol a atteint de nouvelles valeurs record en de nombreux endroits. L'été 2015, contrairement à celui de 2003, a été marqué par un grand nombre d'épisodes de fortes précipitations, qui ont dans certains cas déclenché des processus de chute (SLF 2017).

7.1 Augmentation des dommages aux personnes

Les dommages aux personnes liés au défi «Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain» sont traités sous 6.1 avec ceux liés aux crues, aux tempêtes et à la foudre.

7.2 Augmentation des dommages matériels

À l'échelle de la Suisse, les dommages matériels causés par les mouvements de terrain comptent pour à peine plus de 1 % des dommages aux bâtiments (Confédération suisse 2016). À l'échelle des cantons alpins et préalpins, cette part est toutefois nettement plus élevée, atteignant même 25 % à certains endroits, par exemple dans les Préalpes fribourgeoises (EC3).

Outre les dommages directs aux bâtiments, aux voies de communication, aux infrastructures, etc., il faut prendre en compte les dommages indirects, par exemple les conséquences de la fermeture d'axes de circulation ou les pertes de revenus issus du tourisme. Les épisodes de chutes extrêmes peuvent en effet couper des voies de communication pendant des semaines, voire des mois, avec à la clé des conséquences économiques s'étendant bien au-delà de la zone du sinistre (EC8). En outre, si des forêts protectrices sont endommagées ou détruites, cela peut entraîner d'importants dommages subséquents pour les agglomérations et les infrastructures, et dans certains cas coûter cher en mesures de protection techniques (cf. 4.2). Ce sont en particulier les infrastructures touristiques des régions de montagne qui sont potentiellement menacées (EC3, EC7).

L'importance des dommages occasionnés résulte principalement de la vitesse des matériaux déplacés, de leur quantité et de la hauteur d'écoulement. Dans le cas des glissements de terrain, les différents mouvements des plaques peuvent en outre menacer la stabilité des constructions (PLANAT 2016d).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Dans les études de cas consacrées aux cantons de Fribourg, du Tessin et d'Uri, on a calculé les dommages que

provoqueraient des épisodes centennaux de glissement et de chute s'ils se produisaient aujourd'hui (EC3, EC7, EC8). Ces calculs incluaient les dommages aux bâtiments, au mobilier et aux infrastructures de transport, de même qu'une estimation sommaire des conséquences indirectes de ces dommages. Les coûts ont été évalués à environ 40 millions de francs dans le canton de Fribourg, à environ 30 millions de francs au Tessin et à environ 20 millions de francs dans le canton d'Uri (ce dernier chiffre ne comprend toutefois pas les processus de chute).

Dans l'étude de cas consacrée au canton d'Uri (EC8), on considère – en se fondant sur l'évolution des épisodes de fortes précipitations, du pergélisol et des glaciers – qu'à basse altitude, les dommages causés par les processus de glissement augmenteront de 20 % à l'horizon 2060, tandis que ceux occasionnés par les processus de chute diminueront de 10 %.

Au Tessin, on a calculé l'évolution possible des dommages en prenant les événements survenus pendant la période 2000–2014 et en modélisant l'évolution, sous l'effet des changements climatiques, des conditions météorologiques qui prévalaient durant ces événements. Il a ainsi été estimé que les dommages d'un épisode de glissement centennal pourraient être 50 % plus élevés à l'horizon 2060 que pendant la période 2000–2014. L'évolution des dommages occasionnés par les processus de chute est moins claire ; elle varie en fonction de l'ampleur de l'événement et de l'altitude.

Les évolutions des conséquences directes pourraient s'accompagner d'une forte hausse des impacts indirects liés à l'augmentation du charriage par les cours d'eau. Ainsi, les tronçons plats des cours d'eau pourraient se trouver plus souvent remplis de matériaux de charriage, si bien que leurs coûts d'entretien sont susceptibles d'augmenter sensiblement (canton de Berne 2015).

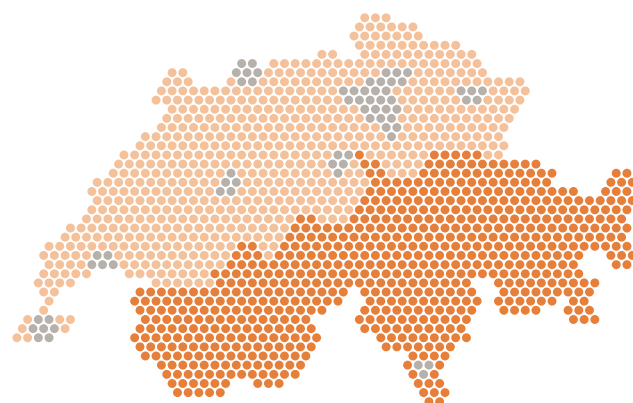
L'évolution possible, sous l'effet des changements climatiques, des dommages matériels causés par des événements centennaux est présentée à la figure 34. On s'attend à des changements importants dans le massif alpin et en Suisse méridionale. Dans les Alpes, les évolutions attendues joueront un grand rôle tant dans les processus de glissement que dans ceux de chute. En Suisse

méridionale, l'évolution quantitative des précipitations aura des impacts considérables, en particulier en cas de fortes précipitations.

Figure 34
Évolution des dommages matériels dus à la fragilisation des pentes et à la recrudescence des mouvements de terrain dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- légère
- modérée
- non pertinent



Comme dans le cas des crues (chapitre 6), les changements socio-économiques constituent un facteur important pour l'évolution des risques liés aux mouvements de terrain. L'utilisation plus intense du territoire, l'augmentation des biens et de la vulnérabilité de la société ainsi que l'évolution des régions de montagne (p.ex. développement des infrastructures touristiques et augmentation de la vulnérabilité des infrastructures de transport) sont déterminantes pour le potentiel de dommages matériels (EC3, EC5, Confédération suisse 2016). Il existe des conflits d'intérêts entre, d'une part, le développement de l'offre touristique et des agglomérations et, d'autre part, la prévention de dommages matériels dus aux mouvements de terrain (Jörin et al. 2016).

Au vu de l'évolution attendue sous l'effet des changements climatiques et des autres critères d'appréciation, l'augmentation des dommages matériels dans les Alpes et les Préalpes ainsi qu'en Suisse méridionale doit être considérée comme un risque prioritaire (fig. 35).

Figure 35

Grandes régions dans lesquelles le risque « Augmentation des dommages matériels dus à la fragilisation des pentes et à la recrudescence des mouvements de terrain » est considéré comme prioritaire



Mesures d'adaptation

En ce qui concerne tant les mouvements de terrain que les crues (cf. chapitre 6), il est primordial d'appliquer de manière systématique la stratégie « Dangers naturels en Suisse ». Il faut en particulier surveiller les régions potentiellement touchées par la dégradation du pergélisol et le recul des glaciers, car ces phénomènes sont susceptibles de modifier radicalement la situation en matière de dangers. Il conviendra également de développer et de perfectionner la méthodologie d'identification des nouveaux processus de dangers naturels et de détection des changements touchant les sites dont on sait déjà qu'ils présentent un danger (OFEV 2012b). Il faudra en outre accorder une attention particulière aux situations dans lesquelles des influences externes (p. ex. fortes pluies de longue durée ou phases de températures supérieures à la moyenne) sont susceptibles d'entraîner la déstabilisation d'importantes quantités de matériaux. Ces situations doivent être détectées à temps puis surveillées. L'exposition aux mouvements terrain et l'évolution de ces derniers sous l'effet des changements climatiques varient fortement d'un endroit à l'autre, si bien que les mesures doivent être définies et mises en œuvre au cas par cas.

8 Modification de l'activité des tempêtes et de la grêle



- Dommages aux personnes
- Dommages dus aux tempêtes
- Dommages dus à la grêle



Dommages causés par la dépression cyclonale «Andrea» dans le district valaisan de Martigny en 2012

Photo : Laurent Gillieron/Keystone

Si les tempêtes et la grêle ont causé d'importants dommages par le passé, on ignore encore comment ces deux processus sont susceptibles d'évoluer sous l'effet des changements climatiques. Comme de petites modifications des paramètres météorologiques peuvent entraîner une augmentation spectaculaire du potentiel de dommages, les risques doivent être suivis de près. De plus, les lacunes dans la compréhension des processus et les déficits de données doivent être comblés le plus rapidement possible.

Une tempête se définit par une vitesse du vent de plus de 75 km/h, un ouragan par une vitesse du vent de plus de 118 km/h. Dans de nombreuses régions de Suisse, c'est avant tout en automne et en hiver que l'on enregistre de telles vitesses. Ces vents extrêmes se forment lorsque le front froid d'une zone dépressionnaire située au nord de la Suisse traverse le territoire, touchant souvent plusieurs autres pays. De manière générale, c'est à haute altitude, dans des endroits exposés (selon l'orientation de l'axe de la vallée) et dans certaines régions situées en bordure de l'arc alpin que la vitesse du vent est la plus élevée (WSL & OFEFP 2001, PLANAT 2016f, OFEV 2016e). Dans la

suite de ce chapitre, il n'est plus fait de distinction entre tempêtes et ouragans; le terme de tempête est utilisé pour les deux phénomènes.

Plusieurs tempêtes peuvent se succéder durant un laps de temps limité, formant ce qu'il est convenu d'appeler une famille de tempêtes. Dans certaines conditions météorologiques, plusieurs tempêtes peuvent toucher une région sur une période relativement courte, faisant des morts et provoquant des dommages socio-économiques considérables (Karremann et al. 2014).

En moyenne, un orage sur dix produit de la grêle. Les orages dits de chaleur éclatent principalement en été. Des masses d'air situées à la surface du sol se réchauffent et s'élèvent. Ce phénomène est favorisé par l'instabilité atmosphérique et, bien souvent, par la topographie. Les grêlons peuvent atteindre 10 cm de diamètre. Contrairement aux tempêtes, la grêle est plutôt un phénomène local, qui se produit surtout sur le Plateau, dans le Jura,

dans les Préalpes et en Suisse méridionale, mais ne touche guère les Alpes (Confédération suisse 2016, Nisi et al. 2016).

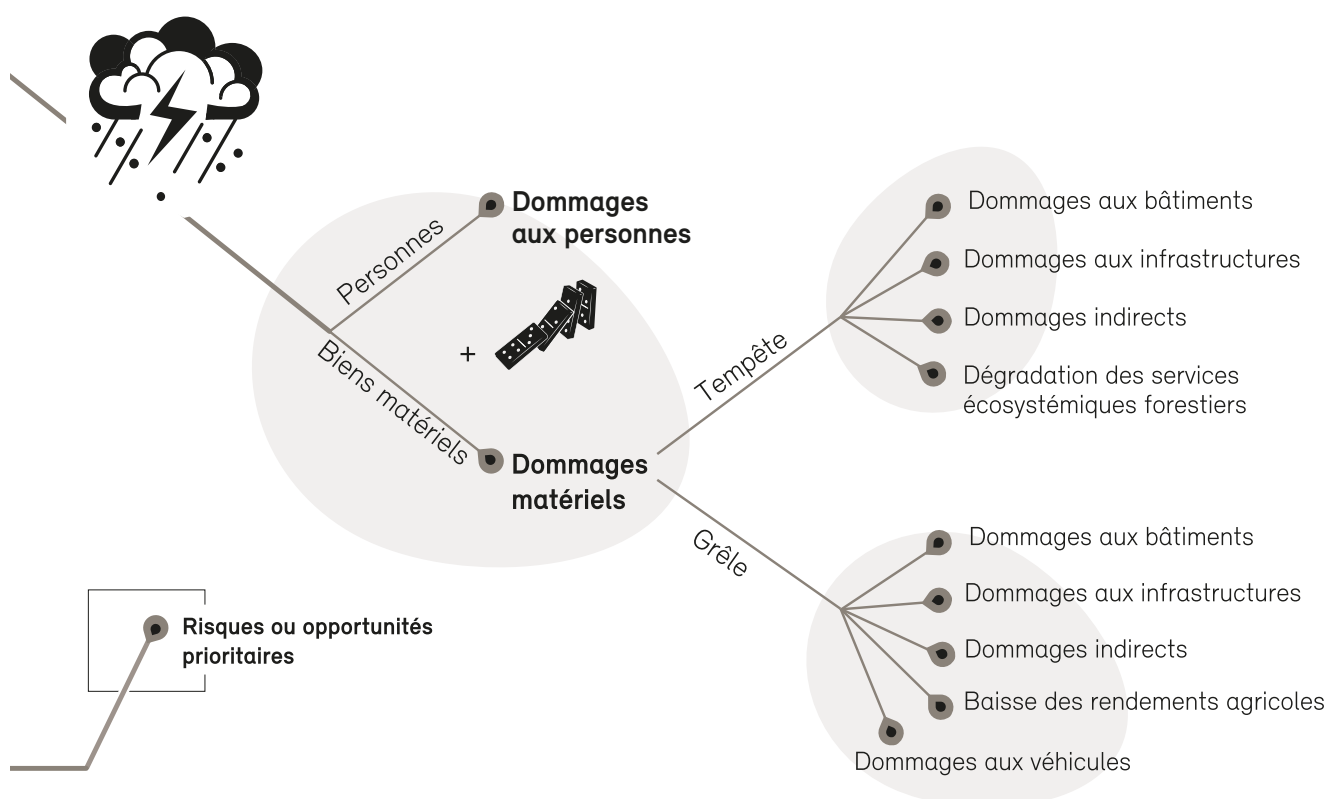
Évolution observée et évolution attendue

Tempête : le début du 20^e siècle (jusqu'en 1920 environ) a été marqué par un grand nombre de tempêtes de forte intensité. Durant la phase suivante (1920 – 1970), l'activité des tempêtes est restée faible à modérée. À partir de 1970, on observe une recrudescence graduelle de l'activité, qui atteint son point culminant avec les tempêtes extrêmes des années 1990. Le nombre de tempêtes a quelque peu diminué depuis lors (Stucki et al. 2014).

Les modèles climatiques font état, pour la Suisse, de diverses tendances quant à l'évolution des tempêtes dans des conditions climatiques modifiées. L'air chaud pouvant absorber davantage de vapeur d'eau, il y a davantage d'énergie latente dans l'atmosphère. De manière générale, il faut donc partir du principe que les tempêtes pourraient

Figure 36

Modification de l'activité des tempêtes et de la grêle : vue d'ensemble des risques et opportunités potentiels prioritaires



Ouragan Lothar, 26 décembre 1999

L'ouragan Lothar a provoqué en Suisse des dommages de près de 1,8 milliard de francs, essentiellement dus aux dégâts subis par les forêts et les bâtiments. Il a fait quatorze victimes directes, et au moins quinze autres personnes ont perdu la vie lors des travaux de déblaiement subséquents. Les dégâts aux forêts ont porté sur 13 millions de mètres cubes de bois, ce qui correspond à trois fois la quantité de bois abattu chaque année et à quelque 3 % du volume sur pied de la forêt suisse. Ils se sont chiffrés à 750 millions de francs. Les dommages aux bâtiments se sont élevés à quelque 600 millions de francs, les dommages à des biens mobiliers à 125 millions de francs. Bon nombre de routes et de tronçons ferroviaires ont dû être fermés en raison de chutes d'arbres. Des bateaux et des installations portuaires ainsi que des avions et des installations aéroportuaires ont été endommagés. Certaines lignes de télécommunication, de même que le réseau électrique, ont été gravement touchés. Quant aux conséquences indirectes (p. ex. pertes économiques), elles ont été considérables, mais on ne peut les chiffrer (WSL & OFEFP 2001). Les dommages subséquents provoqués par des organismes nuisibles dans les forêts sont traités au chapitre 11.

devenir plus intenses. Comme l'Arctique et les régions équatoriales ne se réchauffent pas de la même façon, le gradient de température à grande échelle se modifiera, ce qui aura des impacts sur la circulation atmosphérique (CH2011 2011). Il convient aussi de relever que la Suisse se trouve à la frontière entre les régions où l'intensité des zones de basses pressions – et des vents violents qui les accompagnent – va augmenter (nord de l'Europe) et celles où cette intensité va diminuer (sud de l'Europe). Du fait de ces facteurs concurrents et de la complexité des processus en action, il n'est pas possible d'émettre de prédictions robustes quant à l'évolution des tempêtes en Suisse dans un climat plus chaud. Dans le cadre des études de cas cantonales, des analyses de sensibilité ont donc été menées pour évaluer la mesure dans laquelle

une augmentation ou une diminution de 50 % de l'activité des tempêtes était susceptible de modifier les risques.

Grêle : la résolution spatiale de la plupart des modèles climatiques n'est pas suffisante pour simuler des orages. Bon nombre d'études sur l'évolution de l'activité grêleuse dans un climat plus chaud reposent donc sur la relation entre situations atmosphériques à grande échelle et épisodes orageux.

Il est difficile d'identifier une tendance à long terme pour les orages de grêle car les fluctuations intra- et pluriannuelles sont très importantes (Nisi et al. 2016, Mohr et al. 2015, Kapsch et al. 2012). Dans le cadre des études de cas, les évolutions possibles ont donc été évaluées sommairement au moyen d'analyses de sensibilité, comme pour les tempêtes.

La figure 36 présente les risques et opportunités potentiels, prioritaires liés au défi « Modification de l'activité des tempêtes et de la grêle ».

8.1 Augmentation ou diminution des dommages aux personnes liés à l'évolution de l'activité des tempêtes

Les dommages aux personnes liés à l'évolution de l'activité des tempêtes sont traités au chapitre 6 (cf. 6.1) avec ceux occasionnés par les crues, les mouvements de terrain et la foudre.

8.2 Augmentation ou diminution des dommages matériels liés à l'évolution de l'activité des tempêtes

Étant donné la taille de la surface concernée, les dommages matériels dus aux tempêtes pourraient atteindre une ampleur considérable. En Suisse, le potentiel de dommages matériels assuré en cas de tempête centennale (interruptions d'exploitation comprises, mais sans les dégâts aux infrastructures, car ces derniers ne sont pas assurés) est évalué à quelque 2 milliards de francs (Swiss Re 2012). Le potentiel de dommages est encore plus élevé si l'on prend en compte les dommages indirects

et les dégâts susceptibles de se produire dans d'autres secteurs.

Les dommages aux bâtiments dus aux tempêtes se produisent à la fois sous l'effet de pression et sous l'effet de succion des rafales de vent. De manière générale, ces effets sont d'autant plus importants que la vitesse du vent est élevée. Lorsque la vitesse du vent double, la force exercée sur les objets est quadruplée (Weidmann 2010).

Ce sont le plus souvent les toits, les façades et les stores qui sont touchés. Des dégâts se produisent également lorsque des objets non fixés sont emportés par le vent ou que de l'eau pénètre dans des bâtiments endommagés. Parmi les dommages indirects figurent les impacts touchant la production et les services fournis dans ou à partir de bâtiments du secteur privé. Des dommages subséquents significatifs peuvent en outre se produire en cas d'interruption des voies de circulation ou encore de dégâts aux infrastructures de communication ou d'approvisionnement en énergie.

S'agissant des forêts, ce sont surtout les facteurs environnementaux ainsi que les caractéristiques des essences et des peuplements qui déterminent l'ampleur des dommages. La force du vent et les conditions locales (topographie, propriétés du sol, etc.) sont également déterminantes. La résistance au déracinement des essences varie en fonction de leur système racinaire, de leur taille, etc. L'âge du peuplement, le mélange d'essences qui le composent et la fréquence des éclaircies jouent également un rôle.

Les tempêtes entravent non seulement la production de bois mais aussi la fonction protectrice de la forêt, qu'elles peuvent même annihiler. D'où le risque que des agglomérations et des infrastructures soient touchées par de graves dommages consécutifs aux tempêtes ou qu'il faille consentir à des dépenses importantes pour mettre en place des mesures de protection techniques (EC3, EC7).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Pendant la période allant de 1950 à 2010, les dommages économiques dus aux tempêtes (dégâts aux forêts inclus) ont augmenté en Suisse. Les tendances pluriannuelles sont toutefois fortement influencées par les épisodes

ponctuels. Ainsi, les dommages causés par les tempêtes Vivian (1990) et Lothar (1999) ont marqué les statistiques de ces dernières décennies (Stucki et al. 2014, Usbeck et al. 2010). Du point de vue actuel toutefois, les facteurs socio-économiques jouent clairement un rôle plus important que les facteurs climatiques dans l'évolution des dommages.

Selon l'étude de cas consacrée au canton de Bâle-Ville, les dommages aux bâtiments induits par une tempête centennale survenant dans les conditions climatiques actuelles s'élèveraient à quelque 60 millions de francs (EC2). Dans les cantons comportant une surface forestière relativement importante, il faudrait ajouter à ce chiffre des dégâts aux forêts du même ordre de grandeur. Ainsi, les dommages d'un tel événement sont estimés à quelque 150 millions de francs dans le canton de Fribourg, dont la moitié pour les dégâts aux forêts (EC3).

Étant donné que les modèles climatiques font état de tendances divergentes quant à l'évolution des tempêtes dans des conditions climatiques modifiées, il n'est pas possible de se montrer affirmatif quant à l'évolution possible des dommages matériels liés aux tempêtes à l'horizon 2060 (voir l'introduction du présent chapitre). L'évolution des dommages matériels induite par celle de l'activité des tempêtes doit tout de même être traitée de façon prioritaire, et ce pour les raisons suivantes :

- le potentiel de dommages est d'ores et déjà considérable dans les conditions climatiques actuelles ;
- le système n'étant pas du tout linéaire, même de petits changements climatiques peuvent avoir de gros impacts sur les dommages dus aux tempêtes (et en particulier aux tempêtes extrêmes) ;
- les analyses de sensibilité menées dans le cadre des études de cas montrent que l'évolution des dommages dus aux tempêtes est déterminante pour l'ensemble des dégâts causés par les dangers naturels.

Étant donné qu'il n'est pas possible d'émettre de prédictions quant à l'évolution des dommages sous l'effet des changements climatiques, c'est la situation actuelle qui est présentée ci-après. Comme pour les autres dangers naturels, la référence utilisée est celle d'un événement centennial.

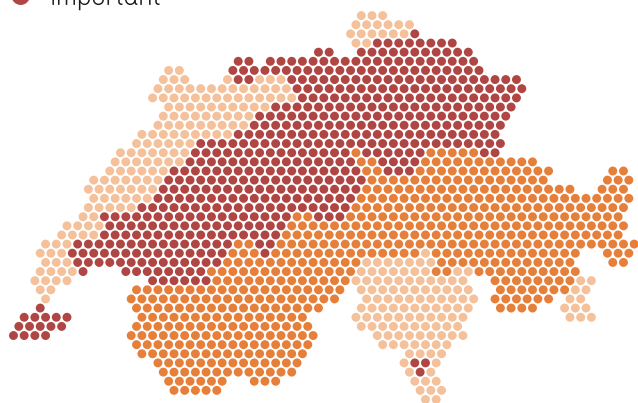
Selon les études de cas, il existe, dans les conditions climatiques actuelles, d'importants potentiels de dommages dans les grandes agglomérations et sur le Plateau (concentration élevée de valeurs) ainsi que dans les Préalpes (grandes étendues forestières). Les Alpes, la Suisse méridionale et le Jura sont moins fortement concernés, car l'exposition de biens matériels y est nettement plus faible (fig. 37).

Figure 37

Dommages potentiels dus aux tempêtes dans les différentes grandes régions

Risque actuel :

- léger
- modéré
- important



La vulnérabilité de l'enveloppe des bâtiments – en particulier celle des toits, des façades et des lamelles de stores – est susceptible d'accroître sensiblement les risques de dégâts de tempête (Weidmann 2010). En cas d'épisodes de forte amplitude, des infrastructures critiques peuvent en outre être touchées directement ou indirectement (p. ex. coupure d'axes de circulation importants). À cela s'ajoute le fait que la Suisse n'a pas été touchée par de grosses tempêtes depuis l'ouragan Lothar (1999), ce qui pourrait entraîner une diminution de sa capacité d'adaptation aux épisodes tempétueux (Jörin et al. 2016).

Au vu de l'importance des potentiels de dommages existants et des autres critères d'appréciation, les dommages matériels dus à l'évolution de l'activité des tempêtes

doivent être considérés comme un risque ou une opportunité prioritaire dans toutes les régions (fig. 38).

Figure 38

Grandes régions dans lesquelles les dommages matériels dus à l'évolution de l'activité des tempêtes ont une importance prioritaire



Mesures d'adaptation

Les principales mesures de prévention des dommages aux forêts sont le rajeunissement, les mesures visant à rendre les peuplements plus stables, plus résistants et mieux à même de s'adapter, ainsi que celles visant à empêcher la prolifération d'organismes nuisibles dans les forêts protectrices critiques (OFEV 2012b). En ce qui concerne les risques dont l'évolution est incertaine, le suivi et la recherche revêtent une importance capitale. La gestion des forêts dans le contexte des changements climatiques a été étudiée en détail par l'OFEV et l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) dans le cadre du programme de recherche «Forêts et changements climatiques» lancé en 2009 (Pluess et al. 2016). Des bases pour la mise en œuvre pratique des résultats de ces recherches dans les diverses stations forestières que compte la Suisse sont en cours d'élaboration et de publication.

8.3 Augmentation ou diminution des dommages dus à la grêle

Si les orages de grêle s'étendent sur des portions de territoire nettement plus petites que les tempêtes, ils peuvent néanmoins, localement, être très violents et causer des

dommages considérables. Ce sont avant tout les bâtiments, les cultures agricoles et les véhicules qui sont touchés (Nisi et al. 2016). Le potentiel de dommages assuré en Suisse (interruptions d'exploitation comprises) d'un épisode de grêle centennal est estimé à environ 1,3 milliard de francs (Swiss Re 2012).

La majeure partie des dommages aux bâtiments dus à la grêle consiste en des dégâts aux stores, aux toits, aux murs et aux façades (Imhof et al. 2015). Il arrive souvent que les grêlons fassent des trous dans les toits, ce qui permet à l'eau de pénétrer dans le bâtiment et de causer des dommages supplémentaires. Les grêlons peuvent également causer d'importants dégâts aux cultures agricoles à ciel ouvert ainsi qu'aux serres. Ils occasionnent en outre d'énormes dommages à la carrosserie des véhicules (EC1, EC7, PLANAT 2016e) et, en cas d'épisode de forte intensité, peuvent même détruire pare-brise, phares et clignotants.

Depuis les années 1990, les dommages aux bâtiments dus à la grêle qui sont assurés ont sensiblement augmenté (Fondation de prévention des établissements cantonaux d'assurance 2007). Cette évolution s'explique par l'augmentation de l'exposition (il y a davantage de bâtiments dans les régions où frappe la grêle) et de la vulnérabilité (utilisation de matériaux plus sensibles à la grêle) ainsi que par une modification possible du risque lié aux conditions atmosphériques.

Dégâts causés par le grêle dans le canton d'Argovie en juillet 2011

En juillet 2011, l'assurance bâtiments du canton d'Argovie a enregistré des dommages dus à la grêle d'un montant de 145 millions de francs. Il s'agit des plus importants dommages causés par un événement naturel unique répertoriés dans le canton depuis le lancement, en 1941, de l'assurance éléments naturels. À ce chiffre se sont ajoutés des dommages (assurés ou non) aux véhicules d'un ordre de grandeur similaire ainsi que 20 millions de dommages aux cultures, dont la moitié n'étaient pas assurés.

(Sources : AGV 2011, EC1, Imhof et al. 2015)

Impacts constatés et impacts prévisibles

Les analyses montrent que quatre situations atmosphériques liées à des orages de grêle dommageables ont augmenté au cours des dernières décennies. Les projections climatiques indiquent en outre que le nombre de jours de grêle devrait légèrement augmenter (+7 % à +15 %) pendant la période 2031 – 2045 par rapport à la période 1971 – 2000 (Kapsch et al. 2012)

Comme dans le cas des dégâts de tempête, il n'est pas possible de déterminer une tendance quant à l'évolution des dommages causés par la grêle (voir l'introduction du présent chapitre). De ce fait, c'est la situation actuelle qui est décrite ci-dessous en prenant comme référence un événement centennal, comme pour les autres dangers naturels.

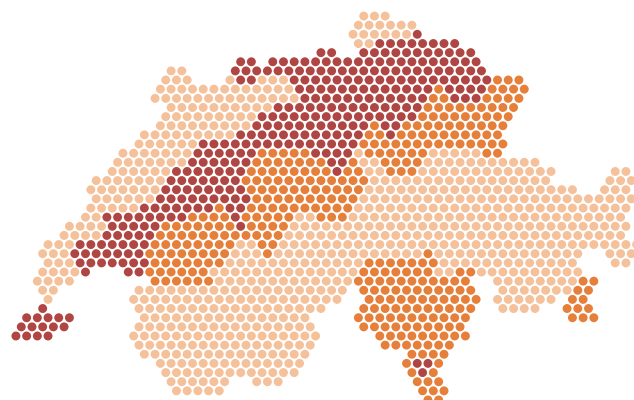
Dans les conditions climatiques actuelles, il existe d'importants potentiels de dommages sur le Plateau (forte concentration de valeurs et agriculture intensive) et dans les grandes agglomérations (forte concentration de valeurs). Le risque actuel est faible dans les Alpes et le Jura. Il est relativement élevé dans les Préalpes et en Suisse méridionale, où l'exposition est toutefois relativement faible (fig. 39).

Figure 39

Potentiel de dommages matériels dus à la grêle dans les différentes grandes régions

Risque actuel :

- léger
- modéré
- important



Dans le domaine du bâtiment, l'étendue des dommages dépend fortement de la sensibilité des matériaux et des éléments de construction utilisés. Au cours des dernières décennies, on a passé d'une utilisation prépondérante de pierre naturelle, de tôle et de tuiles à de grandes façades en verre dotées de dispositifs d'ombrage ainsi qu'à l'utilisation accrue d'éléments solaires, ce qui a augmenté considérablement le potentiel de dommages. De plus, les exigences relatives aux prestations d'assurance ont augmenté. C'est ainsi que de nos jours, on fait réparer des dommages mineurs sur les véhicules, même s'ils n'affectent en rien leur bon fonctionnement. La capacité d'adaptation aux dommages dus à la grêle est jugée relativement peu élevée raison de la faible perception et de la faible pondération du risque, de l'absence de mandat politique et du peu de transferts de connaissances entre les acteurs (Jörin et al. 2016).

Ces facteurs, conjugués au fort potentiel de dommages de la grêle et aux importantes incertitudes liées aux événements extrêmes, contribuent à ce que l'évolution de l'activité grêleuse doive être considérée comme un risque ou une opportunité prioritaire dans toutes les régions (fig. 40).

Mesures d'adaptation

Comme on ne sait pas exactement quelle sera l'évolution de l'activité grêleuse sous l'effet des changements climatiques, des recherches supplémentaires sont indispensables. L'amélioration des systèmes de suivi et d'alerte pourrait contribuer à réduire les dommages, par exemple en permettant aux détenteurs de véhicules de mettre ces derniers à l'abri ou de les protéger avec les moyens appropriés.

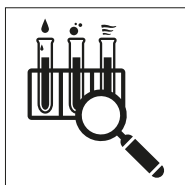
Pour prévenir les dommages aux bâtiments dus à la grêle, il faut développer des matériaux résistants à la grêle et les utiliser de façon systématique pour les nouvelles constructions. Dans le domaine de l'agriculture, les filets anti-grêle offrent une bonne protection pour les cultures pérennes à haute valeur ajoutée.

Figure 40

Grandes régions dans lesquelles les dommages matériels dus à l'évolution de l'activité grêleuse ont une importance prioritaire



9 Dégradation de la qualité de l'eau, des sols et de l'air



Cyanobactéries à la surface de l'étang de la Gruère (2013)

Photo : Centre Nature Les Cerlätze

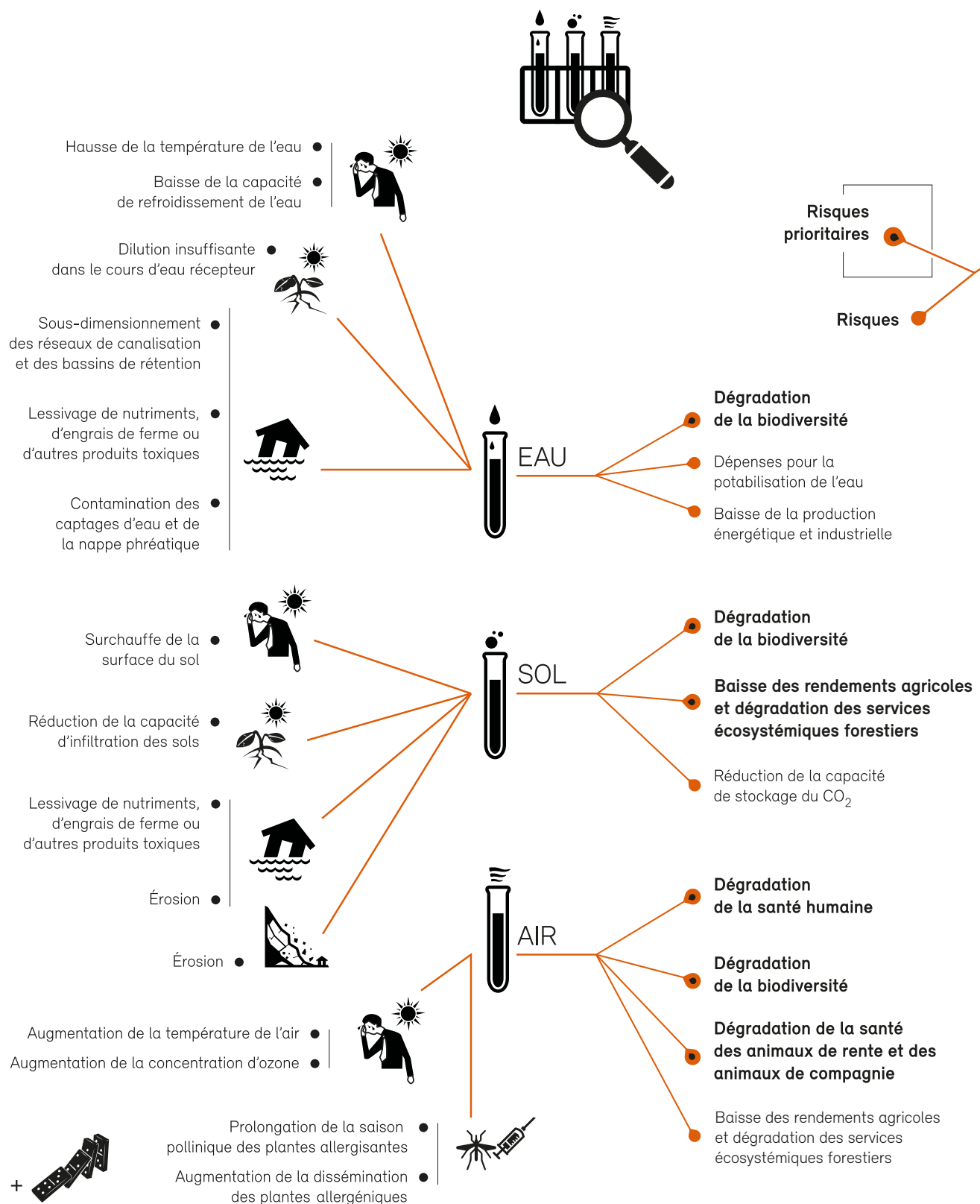
L'évolution des caractéristiques du climat se répercute sur les milieux naturels que sont les eaux, les sols et l'air. Par exemple, les périodes de sécheresse ont des impacts sur la qualité de l'eau et des sols, et les vagues de chaleur sur celle de l'air. Il en découle toute une série de risques pour l'homme et la nature.

Les impacts des changements climatiques sur la qualité de l'eau, des sols et de l'air ainsi que les risques (prioritaires ou non) qui en résultent sont brièvement passés en revue dans les sections ci-après. Les risques prioritaires

liés à la dégradation de ces trois éléments sont traités en détail sous les défis « Accentuation des fortes chaleurs », « Accroissement de la sécheresse », « Aggravation du risque de crues », « Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain » et « Propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques »

Figure 41

Dégradation de la qualité de l'eau, des sols et de l'air : vue d'ensemble des risques, qu'ils soient prioritaires ou non



(chapitres 3, 4, 6, 7 et 11). La figure 41 donne un aperçu de l'ensemble des risques¹⁵.

En termes absolus, la quantité de polluants amenés dans les milieux récepteurs que sont l'eau, les sols et l'air dépend avant tout des activités anthropiques liées à l'utilisation du sol, à l'industrie et aux transports. Les changements climatiques agissent indirectement sur la qualité de ces milieux en modifiant la fréquence et l'intensité de certaines situations météorologiques, des états de l'atmosphère qui y sont liés et de divers autres processus naturels (dégradation de l'humus, fixation de l'oxygène dans l'eau, etc.). Les changements climatiques influent également sur la quantité relative de polluants présente dans un milieu, par exemple dans les cours d'eau en période de sécheresse : même si l'apport de polluants n'augmente pas, leur quantité relative croît puisque la quantité d'eau diminue.

Les milieux naturels que sont l'eau, les sols et l'air agissent les uns sur les autres ainsi que sur d'autres éléments de l'environnement : si l'eau, les sols ou l'air sont de mauvaise qualité, cela peut avoir des effets négatifs sur l'état des biotopes et des espèces qui y vivent (Académies suisses des sciences 2016a). Les modifications de la biodiversité induites par la dégradation des services écosystémiques impactent à leur tour la qualité de l'eau, des sols et de l'air.

9.1 Dégradation de la qualité de l'eau

L'eau est la base de toute vie, elle joue un rôle majeur tant pour le bon fonctionnement de nos sociétés que pour l'environnement. D'une part, la conservation ou la restauration de milieux aquatiques importants pour la faune et la flore sont tributaires à la fois de la qualité de l'eau, qui doit être irréprochable, et des variations de température de cette dernière, qui doivent rester dans une plage « naturelle ». D'autre part, il est indispensable que l'homme dispose d'une eau propre dans toute une série de domaines : eau potable, activités de loisirs, production de denrées alimentaires, applications médicales, etc. (Rey-

nard 2008). La dégradation de la qualité de l'eau implique donc des risques importants pour l'homme et la nature.

La température des cours et des plans d'eau dépend avant tout des apports d'eau de fonte et d'eaux souterraines ainsi que de la température de l'air. En Suisse, elle a nettement augmenté au cours des dernières décennies (OFEV 2012a). Elle constitue un facteur environnemental essentiel pour des organismes aquatiques poïkilothermes tels que les poissons et les petits invertébrés, car elle agit sur leur métabolisme, sur leur système immunitaire et sur leurs stades de développement (Dübendorfer et al. 2011). Des températures de l'eau élevées sont source de stress pour bon nombre d'organismes aquatiques. Lorsqu'elles atteignent un certain niveau, les poissons qui aiment les eaux froides se nourrissent moins et restreignent leurs déplacements. Pour la truite et l'ombre, des températures (de l'eau) de 25 °C ou plus sont synonymes de mort (OFEFP et al. 2004).

L'élévation de la température de l'eau entraîne des altérations de sa qualité, lesquelles ont à leur tour des impacts négatifs sur les organismes aquatiques :

- la quantité d'oxygène pouvant être dissoute dans de l'eau chaude est moindre que dans de l'eau froide (11 mg/l dans de l'eau à 10 °C contre 8 mg/l dans de l'eau à 25 °C). Or certains organismes aquatiques tels que la truite de rivière ont besoin d'un taux minimal d'oxygène pour survivre (Truites & Rivières 2016) ;
- des températures élevées ainsi qu'un ensoleillement abondant favorisent l'eutrophisation (augmentation de la teneur en nutriments) des plans et cours d'eau. Elles réduisent en outre le brassage dans les lacs, ce qui amplifie encore le phénomène d'eutrophisation (EC7). Ce phénomène favorise la propagation d'espèces aimant les milieux « riches », à croissance rapide et souvent envahissantes, au détriment des autres espèces. Il peut être source d'anoxie (manque d'oxygène) dans les biotopes concernés et provoquer la mort de nombreuses espèces (EC7). Lorsqu'elles sont combinées à des températures de l'eau élevées, les conditions eutrophes favorisent la prolifération d'algues. Elles permettent notamment le développement de cyanobactéries pouvant sécréter des toxines néfastes, voire dangereuses (EC7) ;

¹⁵ La figure 41 donne une représentation simplifiée des impacts des changements climatiques. Ainsi, la hausse de la température de l'eau est rattachée au défi « Accentuation des fortes chaleurs », même si cet impact n'est pas seulement dû aux fortes chaleurs mais aussi à l'élévation générale des températures moyennes.

- des températures de l'eau élevées favorisent également la prolifération d'agents pathogènes, tels que ceux provoquant la maladie rénale proliférative chez les salmonidés (cf. 10.1.1).

Les températures ne sont pas le seul facteur de dégradation de la qualité de l'eau. Les périodes de sécheresse et les épisodes de crues peuvent eux aussi la détériorer :

- lors des périodes sèches, les concentrations de polluants augmentent dans les cours et les plans d'eau à cause de la dilution réduite des eaux usées dans les cours d'eau récepteurs (EC1, EC3). Cela représente tout particulièrement un risque pour les cours d'eau à faible débit ;
- à la suite d'inondations ou de fortes précipitations, de grandes quantités d'eaux usées non traitées peuvent arriver dans les cours d'eau et les zones humides avoisinantes en raison de la surcharge des réseaux de canalisation et des bassins de rétention, et mener à la dégradation de ces milieux naturels. De tels événements peuvent également provoquer le lessivage d'engrais et de matières organiques, qui finissent par s'accumuler dans les eaux (EC3, EC6, Hegg et al. 2004).

La dégradation de la qualité de l'eau sous l'effet des changements climatiques a aussi des conséquences sur l'utilisation de l'eau par l'homme. Ainsi, les coûts de traitement de l'eau potable augmentent lorsque la qualité des eaux diminue. De plus, des températures élevées restreignent l'utilisation de l'eau à des fins de refroidissement et peuvent ainsi entraîner une diminution de la production énergétique et industrielle (EC2). En outre, la pratique de certains loisirs, tels que la baignade ou la pêche, doit être restreinte lorsque la qualité de l'eau est insuffisante (EC7).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Les changements climatiques ne sont que l'une des causes de la dégradation de la qualité de l'eau. Depuis le début de l'ère industrielle, la qualité de l'eau dépend essentiellement de l'activité humaine (déversement d'eaux usées en provenance des ménages et de l'industrie, apport d'éléments nutritifs). Grâce aux efforts menés en matière de protection des eaux, ces atteintes sont maintenant en grande partie sous contrôle.

La progression des changements climatiques entraînera de nouvelles hausses des températures de l'eau (OFEV 2012a). Les périodes de sécheresse et les épisodes de crues pourraient aussi augmenter. La qualité de l'eau pourrait donc se péjorer sur le long terme, provoquant une augmentation sensible des dommages et des coûts.

Ombre : hécatombe dans le Rhin en 2003

Lors de la canicule de l'été 2003, l'eau du Rhin a atteint des températures extrêmes à la hauteur du lac de Constance. Le 13 août, on a mesuré une température de surface de 26,4 °C au milieu du lac inférieur. Cet important réchauffement de l'eau a eu des conséquences dévastatrices pour les populations d'anguilles et d'ombres. On estime à environ 50 000 le nombre d'individus qui ont péri en quelques jours entre le lac inférieur et les chutes du Rhin.

(Source : OFEFP et al. 2004)

9.2 Dégradation de la qualité des sols

Le sol est un support essentiel à notre existence puisqu'il fournit 95 % de nos denrées alimentaires et remplit de nombreuses fonctions écologiques (filtre, tampon, réservoir, régulation du régime hydrique, etc.). La préservation de sa qualité est essentielle au maintien de ces diverses fonctions (Portail du Gouvernement suisse 2016).

La qualité des sols est susceptible de se dégrader fortement sous l'effet de certains événements météorologiques. Selon les conditions locales, les fortes précipitations et les crues peuvent provoquer l'érosion des sols, le lessivage des éléments nutritifs et parfois mener à la disparition de la couche supérieure du sol (EC3). L'érosion, tant hydrique qu'éolienne, peut être encore plus forte lorsqu'elle a lieu sur des sols mis à nu suite à des tempêtes ou à des incendies de forêt, ou fragilisés par des périodes de sécheresse (EC3, Commission européenne 2011). Ces dernières altèrent également la qualité des sols en réduisant la perméabilité.

La dégradation de la qualité des sols, y compris de leur diversité biologique, peut avoir des impacts sur plusieurs de leurs fonctions (Walter et al. 2015), telles que :

- leur fonction de production (production de denrées alimentaires, de fourrage et de bois) ;
- leur fonction de régulation (régulation du cycle de l'eau et des cycles biogéochimiques ; stockage de CO₂ ; filtre, tampon et réservoir ; formation des sols) ;
- leur fonction d'habitat (support de vie, maintien de la biodiversité).

Impacts constatés et impacts prévisibles

La qualité des sols est susceptible de se dégrader au fur et à mesure que les changements climatiques progresseront. Des recherches supplémentaires sont indispensables pour mieux comprendre les nombreux impacts des changements climatiques sur les sols et leurs fonctions (OFEV 2014a).

9.3 Dégradation de la qualité de l'air

La qualité de l'air est primordiale pour notre santé ainsi que pour celle de l'ensemble des espèces animales et végétales. Elle peut se détériorer considérablement sous l'effet de certaines situations météorologiques.

Par qualité de l'air, on entend tant sa composition chimique que ses propriétés physiques, telles que sa température. La qualité de l'air est principalement dégradée par les poussières fines, l'ozone et les polluants azotés. Ces substances sont en grande partie d'origine anthropique : trafic motorisé, combustion de bois, activités agricoles et industrielles (OFEV 2015b).

Les conditions climatiques et météorologiques suivantes mènent également à la péjoration de la qualité de l'air (Adelphi/PRC/EURAC 2015, OFEV 2016b, Centre d'Allergie Suisse 2016, Académies suisses des sciences 2016b) :

- les situations anticycloniques stables favorisent les fortes concentrations de polluants, tant en été qu'en hiver. En hiver, ce sont surtout les situations d'inversion thermique de longue durée dans les régions peu ventilées qui peuvent provoquer une augmentation de

la concentration de particules fines liée au chauffage ou au trafic motorisé ;

- les situations anticycloniques stables associées à des températures élevées favorisent la formation d'ozone, un polluant secondaire qui se forme près du sol par une réaction chimique produite sous l'effet du rayonnement solaire entre des oxydes d'azote (NO_x) et des composés organiques volatils (COV) ;
- les fortes chaleurs ont des effets néfastes sur la santé de l'homme, des animaux et des plantes (cf. 3.1) ;
- l'élévation des températures moyennes allonge la période de végétation, ce qui pourrait étendre la période durant laquelle l'air est chargé en pollen de plantes allergéniques (cf. 11.1).

La dégradation de l'air a des effets néfastes sur la santé tant humaine qu'animale. La présence de trop fortes quantités de polluants dans l'air que nous respirons peut provoquer des irritations des voies respiratoires, des troubles respiratoires et, dans certains cas, des maladies cardio-vasculaires (OFEV 2014b ; cf. 3.1). Les concentrations élevées d'ozone ont aussi des impacts négatifs sur la croissance des plantes, de sorte qu'elles peuvent entraîner une baisse des rendements agricoles (OFEV 2016b, OFEV 2015c).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Les changements climatiques feront évoluer certains paramètres responsables de la dégradation de la qualité de l'air. La concentration d'ozone dépend d'interac-

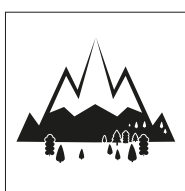
Concentrations record d'ozone à Genève durant l'été 2015

En juillet 2015, les concentrations d'ozone ont fortement augmenté à Genève sous l'effet du fort ensoleillement et des températures élevées. Elles ont dépassé à plusieurs reprises la valeur seuil de 180 µg/m³. Des mesures ont donc été prises pour réduire les émissions de polluants responsables de la formation d'ozone, et les tarifs des transports publics ont été réduits afin d'inciter la population à laisser la voiture au garage.

(Sources : République et canton de Genève 2016, République et canton de Genève 2015)

tions complexes entre les émissions de gaz précurseurs (oxydes d'azote et composés organiques volatils), les conditions météorologiques et l'utilisation du territoire (Defra 2012c). La hausse des températures n'entraînera pas seulement l'allongement des périodes pendant lesquelles les concentrations d'ozone sont élevées, mais augmentera également les concentrations maximales d'ozone (AEE 2013). Par ailleurs, les situations anticycloniques stables favorisant les fortes concentrations de polluants pourraient bien augmenter à l'avenir en Europe centrale (OFEV 2014a). En revanche, la hausse des températures devrait avoir pour effet de réduire la fréquence et l'intensité des épisodes hivernaux de forte pollution atmosphérique (Anderson et al. 2008).

10 Modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages



- Dégradation de la biodiversité
- Modification de la composition des espèces et des milieux naturels



Des pêcheurs et des gardes-pêche sauvent des truites de rivière en les sortant de la Töss (ZH) dont le niveau baisse dangereusement (2011)

Photo : Heidy Dietiker

La biodiversité ou diversité biologique comprend la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces, la diversité génétique, ainsi que la diversité des interactions entre ces niveaux et à l'intérieur de chacun d'entre eux (Confédération suisse 2015).

Fortement mise à mal depuis 1900, la biodiversité suisse a subi un déclin important, surtout au cours des dernières décennies. Une espèce indigène sur 40 est déjà éteinte, près d'un tiers des espèces végétales et pratiquement la moitié des espèces animales figurent sur une liste rouge (Académies suisses des sciences 2016a). De nombreux milieux se sont raréfiés (zones alluviales, marais, prairies

et pâturages secs, etc.), et les milieux restants ont subi une dégradation de leur qualité écologique (OFEV 2012c). Ces derniers temps, le déclin de la biodiversité a néanmoins pu être freiné, notamment grâce à l'adoption d'une législation appropriée et à l'introduction d'inventaires fédéraux (Confédération suisse 2015).

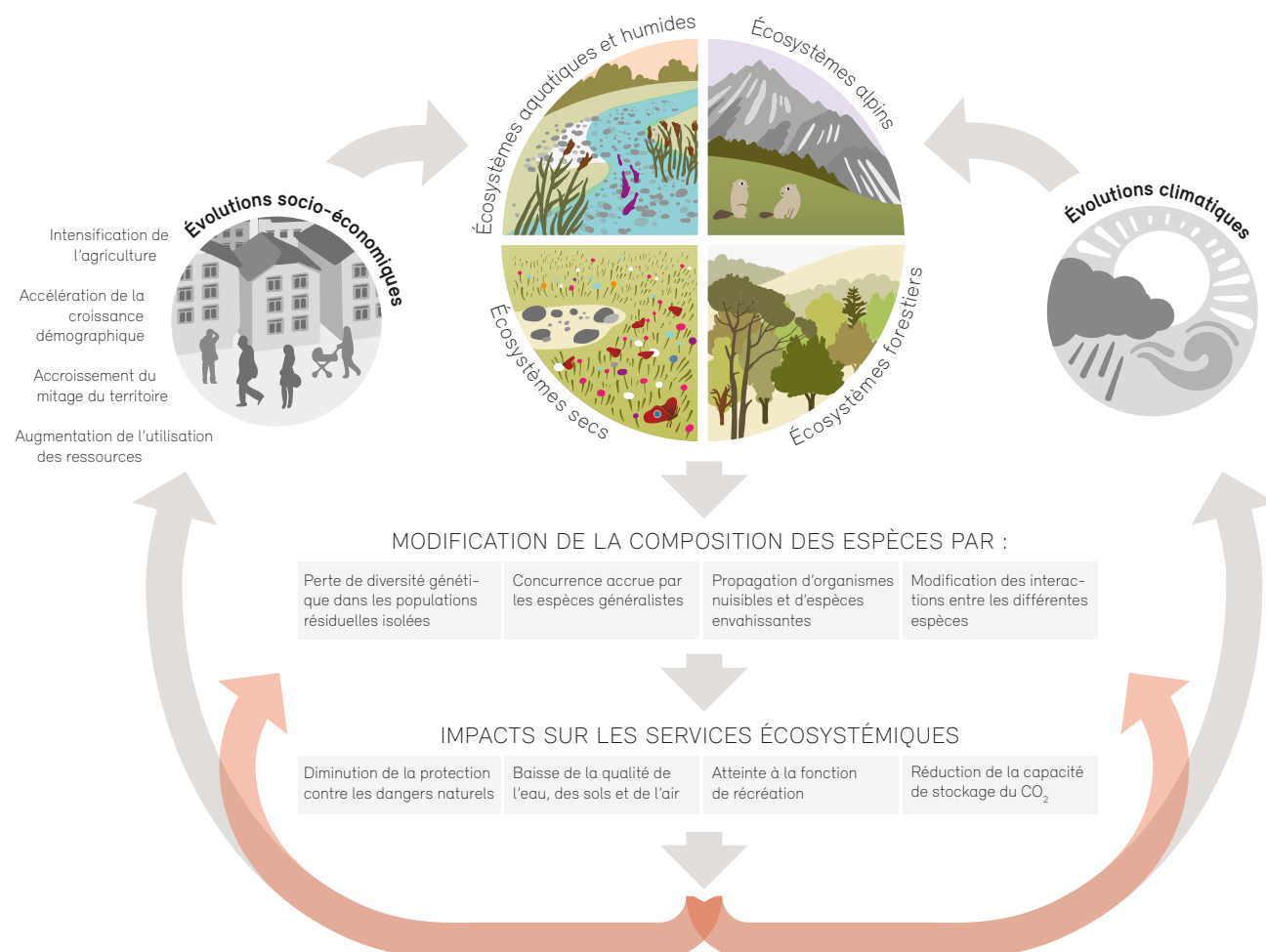
Du fait de sa diversité topographique, la Suisse contient une multitude de petits espaces offrant des conditions variées. Elle dispose donc d'une biodiversité riche, en particulier dans les forêts et les régions montagneuses, où se trouve la majorité des marais, des plaines alluviales, des prairies et pâturages secs d'importance nationale (EC5, Forum Biodiversité Suisse 2013). La Suisse abrite également des espèces et milieux d'importance internationale :

43 habitats et 105 espèces font partie du réseau Émeraude, qui vise à protéger les espèces et milieux rares et menacés en Europe (OFEV 2015d).

Les écosystèmes fournissent des biens et services sans lesquels la vie humaine serait impensable. Ces services écosystémiques sont nombreux et variés : mise à disposition de nourriture, de matériaux de construction (p.ex. bois) et de substances médicinales, fonction récréative, pollinisation, purification de l'air et de l'eau, fertilité des sols, protection contre des dangers naturels comme les inondations, les glissements de terrain, les avalanches et les chutes de pierres, atténuation des changements climatiques grâce au stockage de CO₂ (Académies suisses des sciences 2016a, OFEV 2011).

Figure 42

Processus agissant sur les écosystèmes et impacts sur la composition des espèces et les services écosystémiques



Le présent chapitre porte essentiellement sur les modifications que subissent les milieux naturels et leurs espèces sous l'effet des changements climatiques. L'influence de ces derniers sur les paysages – p. ex. le recul des glaciers et l'élévation de la limite de la végétation – est traitée dans d'autres chapitres.

Évolution observée et évolution attendue

Les changements climatiques agissent de diverses manières sur la biodiversité suisse, et ce à tous les niveaux (écosystèmes, espèces, gènes, interactions entre et parmi les espèces). La hausse des températures et la modification du régime des précipitations, les périodes de canicules et de sécheresse, la dégradation de la qualité de l'eau, de l'air et du sol, la propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques entraîne une modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages et, par là, à l'évolution de la diversité biologique. Ces paramètres ayant une action conjointe et difficilement différenciable, ils sont traités de manière globale dans ce chapitre. Les changements climatiques peuvent représenter aussi bien un risque qu'une opportunité pour la biodiversité selon les milieux et espèces concernés et la valeur qu'on leur attribue.

Les impacts des changements climatiques sur la biodiversité n'apparaissent en général que lentement. Des changements rapides peuvent toutefois se produire une fois qu'un certain seuil de tolérance est atteint (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique 2014). Dans ce contexte, on parle souvent de « point de basculement » (tipping point) des écosystèmes.

Par ailleurs, la biodiversité est fortement mise sous pression par divers facteurs d'ordre socio-économique, tels que l'urbanisation, le mitage du territoire, l'intensification de l'agriculture, l'augmentation de la consommation de ressources et la croissance démographique. Ces aspects sont traités ci-après (cf. 10.2.4).

La figure 42 présente les principaux processus qui agissent sur les différents écosystèmes ainsi que les conséquences des modifications qu'ils induisent. Il s'agit d'une représentation non pas de l'ensemble des facteurs influençant la biodiversité suisse, mais de certains des plus importants d'entre eux.

10.1 Évolution d'écosystèmes spécifiques

10.1.1 Milieux aquatiques et humides

Les milieux aquatiques et humides comprennent les cours et les plans d'eau, les mares et les étangs, les hauts- et les bas-marais ainsi que les zones alluviales. Ils jouent un rôle important dans la fourniture de services écosystémiques comme la protection contre les crues, la recharge des eaux souterraines et l'épuration de l'eau (Convention de Ramsar 2011).

Ces milieux sont de moins en moins nombreux : entre 1900 et 2010, la superficie des zones alluviales a diminué de 36 %, celle des marais de 82 %, et de nombreux cours et plans d'eau de petite taille ont disparu suite à des travaux de canalisation ou de drainage (Confédération suisse 2015). Les milieux aquatiques et humides sont directement concernés par les changements climatiques (cf. 9.1).

Température et qualité de l'eau : la hausse des températures de l'air provoque le réchauffement des eaux. La baisse du niveau des plans et cours d'eau lors des périodes de sécheresse peut entraîner une dégradation de la qualité et un réchauffement supplémentaire des eaux (EC1, EC3, EC5 – EC7). Des températures de l'eau élevée provoquent du stress thermique chez des espèces sensibles aux températures comme les poissons. De telles conditions accélèrent notamment la propagation de pathologies telles que la maladie rénale proliférative chez les salmonidés (voir encadré « Propagation de la maladie rénale proliférative »).

La qualité de l'eau peut aussi diminuer sous l'effet de l'augmentation de la fréquence des épisodes de fortes précipitations, de crues ou d'inondations, qui mène au lessivage de pesticides et de substances nutritives et, par là, à la pollution des milieux récepteurs.

Eutrophisation : la hausse des températures provoque une diminution du brassage dans les lacs, phénomène qui peut favoriser l'eutrophisation (EC7). Certaines espèces de cyanobactéries typiques des milieux eutrophes peuvent libérer des toxines nocives pour la faune (elles sont susceptibles de causer la mort de certains poissons) ainsi que pour l'être humain (Eawag 2016).

Assèchement : les milieux humides (hauts- et bas-marais ainsi que sites marécageux), de même que les espèces qui y sont établies, sont également mis à mal et peuvent même disparaître complètement sous l'effet de périodes de sécheresse prolongées (EC1, EC3, EC5 – EC7). De plus, comme les sols organiques de ces milieux renferment du CO₂, leur assèchement provoque l'émission de quantités importantes de carbone dans l'atmosphère (EC8).

Propagation de la maladie rénale proliférative

La présence des agents pathogènes responsables de la transmission de la maladie rénale proliférative chez les salmonidés dépend en grande partie de la température de l'eau (températures supérieures à 15 °C pendant deux à trois semaines). L'augmentation des périodes de chaleur persistante constitue donc une menace pour les poissons d'eau douce.

(Sources : OSAV 2016, Rubin et al. 2015)

10.1.2 Milieux xérophiles et thermophiles

Tout comme les milieux humides, les milieux xérophiles (aimant la sécheresse) et thermophiles (aimant la chaleur) sont des habitats riches en espèces. Il s'agit notamment des prairies et pâturages secs et de certains milieux urbains (micro-habitats aux conditions sèches, tels qu'aires ferroviaires, murs de pierres sèches, friches industrielles, etc.). Ils abritent des espèces particulièrement adaptées aux conditions sèches, comme les papillons diurnes.

Depuis le début du siècle dernier, les milieux secs ont perdu une part importante de leur superficie en raison de facteurs tels que l'urbanisation, une utilisation trop intensive ou l'arrêt de leur exploitation (Confédération suisse 2015). 95 % des prairies et pâturages secs que comptait la Suisse en 1900 ont aujourd'hui disparu (OFEV 2015e).

Les changements climatiques représentent néanmoins une opportunité pour ces milieux, qui pourraient voir leur surface croître à nouveau dans toutes les régions en raison de l'augmentation des périodes de sécheresse. Ils favorisent également les espèces thermophiles, dont

la survie est facilitée par la hausse des températures moyennes (EC1, EC3) et/ou hivernales. Parallèlement, l'adoucissement des températures permet une accélération de la vitesse de reproduction de certaines espèces d'insectes, ce qui peut déboucher sur une augmentation du nombre de générations par année (EC1, EC3).

10.1.3 Milieux alpins

Les Alpes jouent un rôle important dans le maintien de la biodiversité suisse puisqu'elles abritent de nombreux milieux et espèces spécialisés. Comme près des deux tiers de la superficie de la Suisse sont situés dans les Alpes (et qu'un tiers se trouve au-dessus de la limite supérieure de la forêt), notre pays a une responsabilité particulière en matière de préservation des milieux et des espèces typiques de cet espace géographique (Confédération suisse 2015).

Les modifications de l'utilisation du territoire (on fait p. ex. paître les moutons à des altitudes plus élevées) touchent également les milieux alpins et influencent l'état de la biodiversité dans ces régions. Une grande partie des zones d'altitude les plus accessibles sont désormais utilisées pour l'agriculture intensive, alors que les zones plus difficiles d'accès ont été délaissées, permettant à la forêt de s'y étendre (Académies suisses des sciences 2016a).

La diminution de la durée et de l'épaisseur de la couverture neigeuse est susceptible d'avoir des effets importants sur certaines espèces (EC5). Le manteau neigeux peut jouer un rôle positif pour telle espèce, et négatif pour telle autre. Ainsi, la neige représente une protection pour le lièvre variable puisqu'il peut s'y camoufler, mais une entrave pour le cerf, qui perd de l'énergie à s'y déplacer. Chez les végétaux, certains arbres cèdent sous le poids de la neige, alors que la couverture neigeuse représente une protection contre le froid pour certaines plantes (EC5).

Déplacement des aires de répartition existantes et apparition de nouveaux habitats

La hausse des températures moyennes, l'allongement de la période de végétation et la diminution du nombre de jours de gel provoquent un déplacement des espèces et des milieux vers des régions plus élevées. Cette évolution s'accompagne d'une diminution de la superficie des

milieux, de nombreuses pertes d'habitats (EC1, EC3, EC5, EC7) et de l'isolement de ces derniers. Le manque de connexions entre ces milieux isolés et le faible nombre d'individus qui les composent mènent à une baisse de la diversité génétique. Par ailleurs, les espèces nouvellement installées à haute altitude entrent en compétition avec les espèces souvent très spécialisées qui sont typiques du massif alpin (EC5, EC8).

Les milieux glaciaires font eux aussi partie de la biodiversité alpine. Avec la fonte des glaciers, certaines espèces adaptées à ces milieux disparaissent, et de nouveaux milieux apparaissent sur les surfaces mises à nu. Ces derniers sont rapidement colonisés par des espèces pionnières. Du fait de la disparition des milieux glaciaires, la diversité biologique évolue donc d'une manière qui peut être positive ou négative selon l'espèce considérée (EC5).

Diminution de l'aire de répartition du Grand Tétras

Le Grand Tétras est une espèce d'oiseau typique des forêts dotées d'une abondante végétation au sol et de nombreux buissons. Il est classé espèce « en danger » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs. On le trouve dans le Jura, les Préalpes et les Alpes. À l'horizon 2050, les changements climatiques devraient avoir réduit son aire de répartition de 41 % (en Suisse et dans la Forêt noire) par rapport à la période 1980–2009 (Pluess et al. 2016). Dans le Jura, on ne trouve déjà plus le Grand Tétras qu'aux altitudes qui marquent la limite supérieure de son aire de répartition naturelle. Il existe un risque réel que cette espèce disparaisse de la région en raison de la perte de son habitat (EC6).

10.1.4 Milieux forestiers

Les forêts recouvrent près d'un tiers de la superficie du pays. Certaines sont exploitées à des fins de production de bois, d'autres servent de protection contre les dangers naturels. Les forêts jouent un rôle important dans le maintien de la biodiversité suisse puisqu'elles abritent près de la moitié des espèces animales et végétales présentes en Suisse (OFEV 2015c).

En Suisse, la surface forestière a beaucoup augmenté au cours des dernières décennies, surtout dans les Préalpes, dans les Alpes et au sud des Alpes : +3,4 % entre 1986 et 1995, +4,6 % entre 1996 et 2006 et +2,3 % entre 2007 et 2013 (OFEV 2015f). L'abandon des mayens et des pâturages d'altitude joue un rôle important dans cette évolution. En parallèle, la limite supérieure de la forêt se déplace vers le haut sous l'effet de la hausse des températures moyennes (voir encadré « Élévation de la limite supérieure de la forêt ») (EC5, EC7).

La forêt offre un grand nombre de services écosystémiques, qui sont eux aussi perturbés par l'évolution des écosystèmes forestiers. De nos jours déjà, les arbres sont mis à mal par les changements climatiques. Au Tessin, les forêts situées à basse altitude (<500 m) sur terrain plat ou sur des pentes orientées vers l'est ou l'ouest sont particulièrement sensibles aux périodes de sécheresse. Les châtaigniers comptent parmi les essences typiques de ces régions. Ils ont particulièrement souffert en 2003 et en 2015. En revanche, certaines espèces néophytes résistantes à la sécheresse comme l'ailante et le robinier ont très bien supporté ces deux étés. La répétition de telles périodes de sécheresse devrait favoriser ce genre d'espèces, en particulier à l'étage collinéen (EC7, Lévesque et al. 2015).

S'agissant du potentiel d'exploitation du bois, et en particulier du bois d'apicéa, il devrait diminuer dans le Jura et sur le Plateau, mais augmenter à terme dans les régions alpines (Bircher et al. 2015). Par ailleurs, l'effet protecteur des forêts sera renforcé en altitude par l'élévation de la limite supérieure de la forêt, mais il diminuera dans les forêts qui subissent des périodes de sécheresse (Pluess et al. 2016). Dans certaines régions, la capacité de séquestration du CO₂, qui dépend essentiellement des réserves de bois sur pied et de la croissance de ce bois, devrait augmenter légèrement sous l'effet de l'allongement de la période de végétation (EC4).

Adaptation aux changements climatiques

L'évolution des températures moyennes et du régime des précipitations entraînera une modification progressive de la composition des milieux forestiers. Cette modification sera relativement lente dans les forêts non exploitées, mais plus rapide dans celles qui le sont, car l'exploitation

permet le recours ciblé à des essences adaptées aux nouvelles conditions climatiques (EC3, EC4, EC6).

Les forêts résisteront différemment aux impacts des changements climatiques selon les essences qui les composent. Plus la proportion d'épicéas est importante dans un peuplement, plus celui-ci sera menacé (Bircher et al. 2015). Possédant un système racinaire peu profond, cette essence a en effet besoin de précipitations en suffisance et d'un sol ayant une capacité élevée de rétention d'eau (OFEV 2014c). De manière générale, on devrait assister à une diminution de la surface occupée par les essences adaptées à un climat frais et humide qui sont actuellement présentes aux étages montagnard et subalpin, car plus on monte en altitude, plus la surface disponible est limitée. En revanche, les essences adaptées à des conditions plus sèches que l'on trouve aux étages collinéen et submontagnard devraient gagner du terrain (Pluess et al. 2016).

Élévation de la limite supérieure de la forêt

La limite naturelle de la forêt continuera de s'élever sous l'effet des changements climatiques. Dans le canton des Grisons, on s'attend à ce qu'elle atteigne le niveau du Weissfluhjoch (2690 m) à l'horizon 2060. Aujourd'hui, elle est située à environ 1900 m (EC5).

10.2 Évolutions touchant tous les écosystèmes

10.2.1 Espèces exotiques envahissantes¹⁶

La propagation d'espèces exotiques envahissantes représente aujourd'hui déjà une menace pour la biodiversité. Au plan mondial, les espèces exotiques envahissantes sont considérées comme la deuxième cause du déclin de la biodiversité, la première étant la perte et la dégradation des habitats (Shine et al. 2009).

Les espèces exotiques arrivent en général par les ports de haute mer ou les ports intérieurs, par les autoroutes et les lignes ferroviaires ainsi que par les aéroports. Les

changements climatiques ne sont donc pas directement responsables de leur introduction en Suisse, mais ils créent des conditions propices à leur établissement et leur propagation, car certaines de ces espèces sont mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques que les espèces indigènes (EC6, AEE 2017). L'évolution des conditions climatiques peut également être bénéfique aux organismes nuisibles indigènes et, par là, mettre en danger d'autres espèces vivant dans les mêmes milieux (cf. chapitre 11).

En Suisse, on dénombre déjà quelque 800 espèces non indigènes, dont 107 sont considérées comme envahissantes ou potentiellement dangereuses. Il s'agit de mammifères, d'oiseaux, d'un reptile, d'amphibiens, de poissons, de mollusques, d'insectes, de crustacés, d'araignées, de vers, de champignons, d'une bactérie et de plantes (OFEV 2006).

Plus de 40 % des espèces végétales exotiques et envahissantes établies en Suisse sont des espèces forestières ou de milieux humides. Ces milieux sont donc particulièrement menacés par de tels organismes. En revanche, les milieux de montagne et de prairies le sont moins, en tout cas pour le moment, car peu d'espèces exotiques s'y sont établies (OFEV 2006).

Les changements climatiques auront pour effet d'accroître la propagation d'espèces exotiques envahissantes dont la présence n'est aujourd'hui que ponctuelle. De nouvelles espèces exotiques envahissantes pourraient en outre venir menacer la biodiversité suisse. L'impact de tels processus et les dégâts susceptibles d'en découler sont impossibles à évaluer, mais ils pourraient aller dans des cas extrêmes jusqu'à l'effondrement d'écosystèmes (cf. chapitre 13).

10.2.2 Événements extrêmes

Les catastrophes naturelles, surtout lorsqu'elles se manifestent sous la forme d'événements extrêmes (p. ex. tempête ou crue centennale, ou encore incendie de grande ampleur), représentent souvent une opportunité pour la diversité biologique. Elles peuvent certes provoquer la disparition de certaines espèces nécessitant des conditions particulières, mais elles permettent aussi l'apparition de nouveaux habitats et de nouveaux milieux pionniers de valeur (Vittoz et al. 2013). Des espèces pionnières,

¹⁶ Pour de plus amples informations sur les organismes nuisibles, les maladies et les espèces exotiques, voir le chapitre 11.

adaptées aux conditions lumineuses ou aux perturbations s'établissent ensuite dans les zones en question, enrichissant ainsi la biodiversité locale (EC5, EC8). La survenance de catastrophes naturelles et d'événements extrêmes contribue par ailleurs à maintenir la dynamique des écosystèmes (EC8).

10.2.3 Interactions entre espèces

Les changements climatiques, en agissant sur certaines espèces, modifient le rôle qu'elles jouent dans la chaîne alimentaire ou dans tout autre type d'interaction entre espèces (AEE 2012a, Académies suisses des sciences 2016a). C'est le cas en particulier pour les espèces qui ont des interactions particulières, telles que proie-prédateur, fleur-pollinisateur, parasite-hôte ou herbivore-plante. Si les cycles phénologiques se modifient, certaines interactions entre espèces peuvent être interrompues. C'est par exemple le cas lorsque l'activité des pollinisateurs ne coïncide plus avec la période de floraison (Académies suisses des sciences 2016a). Les changements climatiques peuvent aussi générer entre les espèces des interactions qui n'avaient pas lieu auparavant (AEE 2012a).

Il est donc difficile de savoir précisément quelles espèces seront menacées et lesquelles seront favorisées par les modifications induites par les changements climatiques. De plus, une grande incertitude subsiste quant à la réaction exacte des différents milieux et espèces face aux changements climatiques.

10.2.4 Appréciation sommaire

Indépendamment des changements climatiques, la biodiversité suisse est, comme indiqué au début de ce chapitre, fortement mise sous pression par de nombreux facteurs anthropiques, tels que l'expansion des zones urbanisées et des infrastructures de transport, l'intensification de l'agriculture, la lutte contre les organismes nuisibles, l'essor des activités touristiques et de loisirs, le développement des énergies renouvelables, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes et la dégradation générale de la qualité de l'eau, du sol et de l'air (EC3, Confédération suisse 2012).

Les pertes de biodiversité ont souvent un caractère irréversible, ce qui en accroît la portée (Confédéra-

tion suisse 2015). Le taux d'extinction lié aux activités humaines est cent à mille fois plus élevé que le taux d'extinction naturel (Bergamin 2011).

Par ailleurs, la biodiversité pourrait subir d'autres atteintes si elle n'était pas prise en compte lors de la mise en œuvre de mesures d'atténuation ou d'adaptation motivées par la politique climatique (p. ex. construction d'installations de protection contre les crues, adaptation de l'offre touristique, lutte contre les organismes nuisibles dans l'agriculture et en forêt).

Les impacts des changements climatiques sur la biodiversité et les impacts supplémentaires d'origine anthropique font que la dégradation de la biodiversité, tout comme les évolutions positives de la composition des espèces et des milieux, revêtent une importance prioritaire dans toute la Suisse (fig. 43).

Figure 43

Grandes régions dans lesquelles le risque « Dégradation de la biodiversité » et l'opportunité « Modification de la composition des espèces et des milieux naturels » sont prioritaires



10.2.5 Adaptation et capacité d'adaptation

La capacité d'adaptation de la biodiversité dépend de sa capacité d'adaptation naturelle ainsi que de la capacité de l'homme à prendre des mesures lui donnant la marge de manœuvre nécessaire pour s'adapter (mesures de protection des écosystèmes, p. ex.).

Les espèces ont la capacité de faire face aux changements touchant leur environnement. Cette capacité est

toutefois limitée. On distingue trois formes d'adaptation. Si une espèce ne possède aucune des possibilités de s'adapter décrites ci-dessous, sa survie est menacée (Horst et al. 2013).

1. **Adaptation phénotypique** : par phénotype, on entend l'ensemble des caractères observables d'une espèce, tels que son apparence ou les réactions physiologiques au sein même d'un organisme ou entre différents organismes. Une espèce peut par exemple s'adapter en accélérant sa croissance (ce qui peut induire une avancée de la floraison chez les plantes ou une avancée de la période d'envol chez certains insectes), ou en augmentant sa tolérance aux fortes chaleurs (Fischer et al. 2010).
2. **Adaptation évolutionnaire (génétique)** : les espèces peuvent s'adapter génétiquement, au fil des générations, à l'évolution des conditions si celle-ci se fait lentement. Si la diversité génétique d'une espèce diminue, sa capacité d'adaptation en fait autant, si bien que le risque qu'elle a de s'éteindre augmente (Pauli et al. 2001).
3. **Migration dans de nouveaux territoires (déplacement de territoire)** : les espèces pouvant se déplacer, et donc chercher un nouvel habitat adapté à leurs besoins, ont davantage de facilité à s'adapter aux nouvelles conditions que les espèces sédentaires, sauf si leur habitat disparaît complètement (EC1).

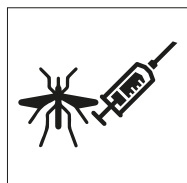
Les espèces généralistes sont en général dotées d'une forte capacité d'adaptation (EC7). Il en va tout autrement des espèces spécialisées, qui privilégient des conditions climatiques particulières et ont des plages de tolérance relativement restreintes, si bien qu'il leur est impossible (ou très difficile) de s'adapter à l'évolution du climat. Ces espèces sont en outre menacées par la propagation des espèces généralistes.

Mesures d'adaptation

Les mesures propres à favoriser l'adaptation des espèces peuvent prendre différentes formes : mise en place d'aires de protection de la biodiversité, mise en réseau des biotopes par des corridors biologiques, mesures de promotion de la biodiversité (dans le secteur agricole ou chez les particuliers), mesures de conservation des habitats d'espèces menacées.

Par ailleurs, étant donné que la biodiversité comporte des interfaces avec de nombreux autres secteurs (Jörin et al. 2016), il est essentiel de renforcer l'intégration, tant dans la législation que dans les autres stratégies, des objectifs à long terme se rapportant à la biodiversité et de mettre en place une collaboration intersectorielle cohérente (Confédération suisse 2012).

11 Propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques



- Dégradation de la santé humaine
- Dégradation de la santé des animaux de rente et des animaux de compagnie
- Baisse des rendements agricoles
- Dégradation des services écosystémiques forestiers



Bois d'érable infesté par le capricorne asiatique

Photo : Reto Martin

Les organismes nuisibles, agents pathogènes et vecteurs de maladies peuvent avoir des impacts négatifs sur la santé humaine et animale, sur les végétaux et, de manière générale, sur les écosystèmes et les services écosystémiques (OFEV 2012b). On fait souvent une distinction entre les espèces indigènes et les espèces exotiques.

Les espèces exotiques sont celles qui ont été introduites volontairement ou par inadvertance dans des territoires

situés en dehors de leur aire de répartition naturelle (OFEV 2006). La propagation d'espèces exotiques peut certes accroître la diversité biologique des écosystèmes et être bénéfique à l'homme (p. ex. introduction de la pomme de terre, espèce originaire d'Amérique du Sud). Néanmoins, ces espèces peuvent aussi devenir envahissantes, car bien souvent, elles n'ont pas d'ennemis naturels dans leur nouvel environnement, ce qui leur confère un avantage concurrentiel et met en danger les milieux,

espèces et écosystèmes indigènes (cf. 10.2.1) ainsi que les services qu'ils fournissent (OFEV 2006).

Par organisme nuisible, on entend les plantes, les animaux et les agents pathogènes qui causent des dommages aux végétaux. Les agents pathogènes sont des organismes (virus, bactéries, champignons, etc.) susceptibles de provoquer des maladies chez l'homme, les animaux ou les végétaux (CFSB 2013). Quant aux vecteurs de maladies, ils ne provoquent pas de pathologies par eux-mêmes, mais sont nécessaires à certains agents infectieux pour infester des organismes.

Des facteurs climatiques tels que la température de l'air, le volume des précipitations et l'humidité de l'air influent sur la propagation des espèces. La température corporelle des organismes nuisibles et des vecteurs qui ne peuvent pas réguler eux-mêmes leur température dépend de la température ambiante. De ce fait, les conditions climatiques ont une forte influence sur la multiplication et la propagation de ce type d'organismes, dits ectothermes.

On constate depuis assez longtemps déjà que des organismes nuisibles, des vecteurs et des espèces exo-

tiques se propagent. Dans certains cas, leur introduction remonte déjà à plusieurs centaines d'années (voir tableau ci-dessous) (EC5, EC7). Cette évolution s'explique principalement par le commerce, la mondialisation et le comportement de la population en matière de voyages. Jusqu'à présent, les changements climatiques n'y sont pas pour grand-chose (Académies suisses des sciences 2016a, EC4 – EC8).

Évolution observée et évolution attendue

Les modifications induites par les changements climatiques (hausse des températures, hivers plus doux, allongement de la période de végétation et accroissement de la sécheresse estivale) ont pour effet d'améliorer les conditions environnementales pour de nombreux organismes nuisibles et vecteurs de maladies aussi bien indigènes qu'exotiques (EC2 – EC6, Académies suisses des sciences 2016a). Des organismes qui jusqu'à présent étaient dans l'incapacité de survivre en Suisse pourront à l'avenir s'y établir et s'y propager (EC6, OFEV 2012b, AEE 2017). Comme de tels organismes sont souvent mieux adaptés aux températures élevées que les espèces indigènes, ils disposent d'un avantage concurrentiel sur ces dernières.

Tableau 2

Espèces exotiques envahissantes qui se sont propagées en Suisse

Espèce/organisme nuisible	Date d'introduction en Suisse	Principal secteur touché (en plus de la biodiversité)
Ailante	1740 (introduction en Europe)	Économie forestière
Renouée du Japon	1823 (introduction en Europe)	Infrastructures de transport
Ambrosie à feuilles d'armoise	1865	Santé
Berce du Caucase	1884	Santé
Doryphore	1937	Agriculture
Varroa	1984	Agriculture
Mouche des brous du noyer	1991	Agriculture
Moustique tigre asiatique	2003	Santé
Coccinelle asiatique	2004	Agriculture
Moustique japonais	2007	Santé
Pyrle du buis	2007	Économie forestière
Cynips du châtaignier	2009	Économie forestière
Drosophile du cerisier	2011	Agriculture
Capricorne asiatique	2011	Économie forestière

(Sources : Pro Natura 2013, OFEV 2006)

Il est difficile de déterminer l'influence des changements climatiques sur la propagation des espèces exotiques, car ce phénomène dépend non seulement des conditions climatiques, mais aussi, dans une large mesure, des conditions socio-économiques. Si la tendance à la mondialisation se poursuit, les espèces exotiques envahissantes continueront d'arriver en Suisse par les axes de circulation et les grandes aires de transbordement de marchandises (aéroports, ports rhénans, etc.) et à se propager à partir de là. Les études de cas ont montré que des villes comme Bâle et Genève ainsi que l'axe de transit nord-sud au Tessin étaient particulièrement exposés à ce phénomène (EC2, EC4, EC7).

L'arrivée de nouvelles espèces et de maladies exotiques peut prendre un caractère de risque wildcard (cf. chapitre 13). Il est difficile d'émettre des pronostics quant aux organismes qui arriveront en Suisse et aux dommages qu'ils sont susceptibles de provoquer. L'expérience acquise à ce jour en matière d'espèces envahissantes montre que leur potentiel de dommages est considérable. La figure 44 présente les risques prioritaires liés au défi

«Propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques».

11.1 Dégradation de la santé humaine

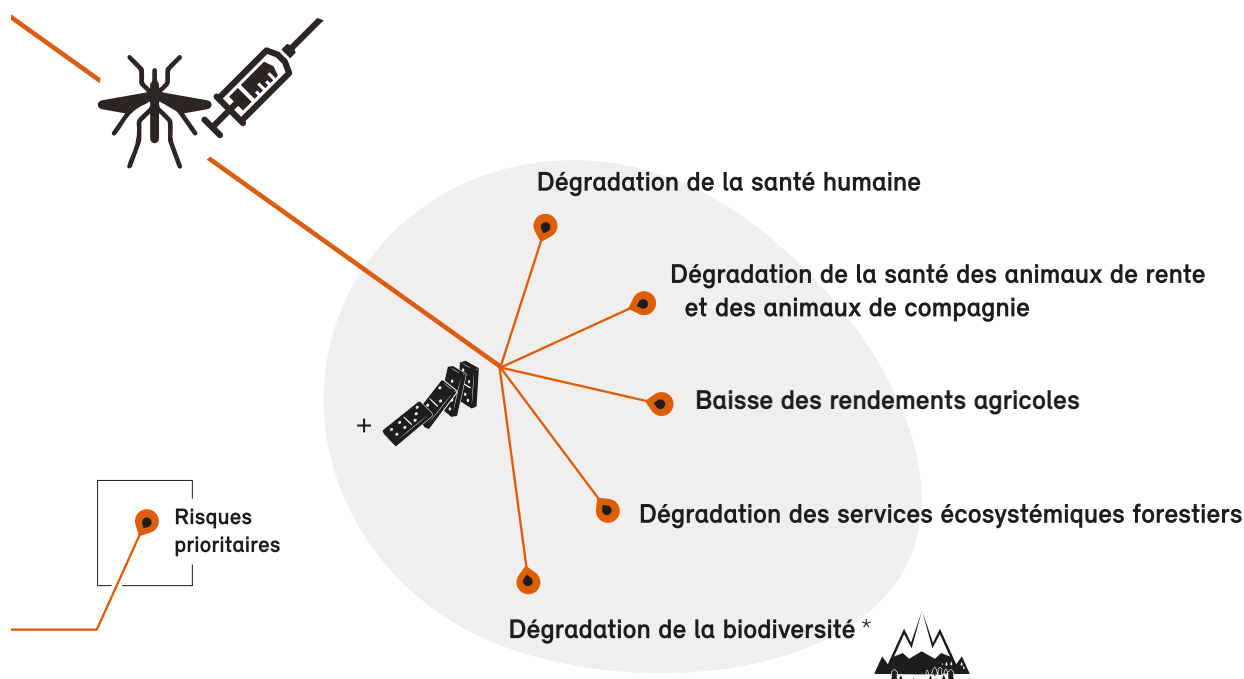
Les changements climatiques agissent sur la propagation de vecteurs de maladies, d'agents pathogènes et de plantes allergéniques, ce qui peut avoir des impacts négatifs sur la santé humaine (Smith et al. 2014). Il pourrait en résulter une augmentation de la fréquence des maladies infectieuses transmises par les aliments, l'eau et les vecteurs. Les principaux vecteurs de maladies infectieuses en Suisse sont les moustiques et les tiques (EC4, EC7).

11.1.1 Les maladies infectieuses et leurs vecteurs

Moustiques : le moustique tigre asiatique et le moustique japonais (tous deux du genre *Aedes*) se sont installés en Suisse dans les années 2000 (cf. tableau ci-dessus). Contrairement au moustique japonais, qui est largement répandu au nord des Alpes, le moustique tigre se rencontre surtout en Suisse méridionale. Il peut transmettre

Figure 44

Propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques : vue d'ensemble des risques prioritaires



* Analysé dans un autre défi

trois maladies virales : la dengue, le chikungunya et le Zika (EC2 – EC7). Il n'est pas exclu que le moustique japonais puisse lui aussi transmettre ces trois pathologies (OFEV 2012b), mais jusqu'à présent, cela n'a pas pu être démontré sur le terrain. Pour se développer, le moustique tigre a besoin de températures douces en hiver et de températures annuelles moyennes supérieures à un certain seuil¹⁷. Il lui faut en outre disposer de faibles étendues d'eau stagnante pour la ponte.

Diverses espèces de phlébotomes peuvent par ailleurs transmettre la leishmaniose, une maladie parasitaire. On trouve déjà le vecteur de cette maladie en Suisse, mais pas l'agent pathogène lui-même. Néanmoins, vecteur et agent pathogène sont tous deux largement répandus dans le bassin méditerranéen.

Tiques : *Ixodes ricinus* est l'une des espèces de tiques les plus répandues en Suisse (EC3). Elle peut transmettre la borréliose (maladie de Lyme) et la méningo-encéphalite verno-estivale (MEVE) (OcCC/ProClim 2007). Toutes les tiques ne sont cependant pas porteuses d'un agent pathogène : un tiers d'entre elles environ est infecté par la borréliose, tandis que le virus de la MEVE est quelque 500 fois moins fréquent (zecken.ch 2017). La propagation de la tique est fonction des températures, celle des agents pathogènes varie fortement d'une région à l'autre.

Malgré le haut niveau d'hygiène qui caractérise la Suisse, on y trouve des maladies infectieuses transmises par les aliments (OcCC/SCNAT 2005). Toutefois, les intoxications alimentaires dues à des agents bactériens ont nettement diminué pendant la période 1988 – 2011 (OFSP 2012).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Les changements climatiques amènent des conditions propices à la survie du moustique tigre asiatique et, par là, à sa propagation au nord des Alpes (EC7, AEE 2017). S'agissant du moustique tigre égyptien – vecteur primaire des virus de la dengue, du chikungunya, de Zika et de la fièvre jaune –, on ignore encore s'il pourra s'établir dans notre pays (ECDC 2012). À l'avenir, il est en outre possible que le phlébotome et l'agent pathogène de la leishmaniose se propagent en Suisse et plus particulièrement en

Suisse méridionale (OFSP & OFEV 2007). Les moustiques du genre *Anopheles*, qui transmettent la malaria, pourraient également profiter de la hausse des températures pour venir plus nombreux en Suisse (EC5).

Cependant, d'autres facteurs jouent un rôle dans l'arrivée des maladies à transmission vectorielle. Leur établissement dépend non seulement de la présence d'un vecteur, mais aussi de celle de l'agent pathogène et d'un hôte au même endroit et au même moment. De plus, le vecteur doit être infecté par l'agent pathogène (Adelphi/PRC/EURAC 2015). Tant que l'agent pathogène n'est pas présent en Suisse, la propagation du moustique ne constitue pas un risque d'infection.

Toutes les pathologies susmentionnées ne sont répandues que sous les tropiques, à l'exception de la leishmaniose. À ce jour, aucune contamination par cette maladie n'a été enregistrée en Suisse¹⁸. On ne peut toutefois exclure que des personnes ayant contracté la maladie à l'étranger se rendent dans notre pays et que la maladie se propage du fait de la présence du vecteur et de conditions climatiques appropriées (voir encadré « Épidémie de chikungunya dans le nord de l'Italie ») (EC7).

Les changements climatiques provoqueront un allongement de la période d'activité des tiques et leur permettront de se propager à plus haute altitude. Le nombre de tiques pourrait toutefois reculer à plus basse altitude, surtout en Suisse méridionale, sous l'effet de la hausse des températures (EC2, EC4, EC7, EC8, AEE 2017). Quant aux virus responsables de la MEVE, ils sont sensibles à la chaleur, si bien qu'on s'attend à l'avenir à ce que leur prévalence diminue à basse altitude (OcCC/ProClim 2007). Les régions abritant des tiques infectées par la borréliose pourraient néanmoins augmenter (EC6).

Les conditions climatiques à venir pourraient favoriser l'augmentation des maladies infectieuses transmises par les aliments. La qualité de l'eau est en outre susceptible de se dégrader sous l'effet d'agents pathogènes. Compte tenu de la régularité des contrôles, une hausse des cas

17 Dans le cas du moustique tigre, ce seuil s'élève à 11 °C.

18 Le paludisme d'aéroport constitue une exception : des personnes n'ayant pas séjourné dans des pays tropicaux ont été infectées par le parasite à proximité d'un aéroport par des moustiques arrivés en avion.

d'infection est toutefois considérée comme improbable (OcCC/ProClim 2007).

11.1.2 Allergies

La charge pollinique a évolué au cours des dernières décennies en Suisse. Des plantes exotiques allergéniques s'y sont en outre répandues. L'ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*), dont le pollen provoque des réactions allergiques ou de l'asthme chez 10 % de la population suisse, en constitue un exemple (EC2, EC4, EC5, EC7). De nos jours, quelque 15 % des adultes sont allergiques au pollen (EC1, EC3, EC6).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Les changements climatiques entraîneront un allongement de la saison des pollens (Académies suisses des sciences 2016a). Ils pourraient toutefois aussi accélérer les différents stades de développement de certaines espèces de plantes allergéniques et, par là, en raccourcir la période allergisante. La cause des changements climatiques, à savoir l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'air, pourrait entraîner une augmentation de la production de pollen chez certaines plantes, par exemple chez l'ambrosie (Hamaoui-Laguel et al. 2015).

La hausse des températures moyennes favorise en outre la propagation des plantes à des altitudes plus élevées (EC5, EC7). Elle permet également la dissémination de nouvelles espèces de plantes allergéniques, ce qui est susceptible d'allonger la saison des pollens (EC1, EC6). Certaines plantes allergéniques en provenance du bassin méditerranéen, par exemple le cyprès, la pariétaire et l'olivier, pourraient devenir plus fréquentes en Suisse (OcCC/ProClim 2007). Une éventuelle augmentation des longues périodes de beau temps en été est susceptible d'accroître encore la charge pollinique. Il pourrait en résulter une aggravation des réactions allergiques, un allongement de la période des allergies et une augmentation du nombre de personnes allergiques à l'échelle de la Suisse (EC1, EC3, EC6).

Les allergies ne sont pas le seul risque sanitaire induit par les végétaux. Ainsi, un simple contact avec le suc de la berce du Caucase peut, sous l'effet de la lumière du soleil, provoquer des lésions de la peau semblables à

des brûlures (OFEV 2016d). Il sera pratiquement impossible d'empêcher l'établissement, voulu ou non, en Suisse d'autres plantes ayant des effets nocifs sur la santé, d'autant que les changements climatiques sont susceptibles de favoriser leur propagation.

11.1.3 Appréciation sommaire

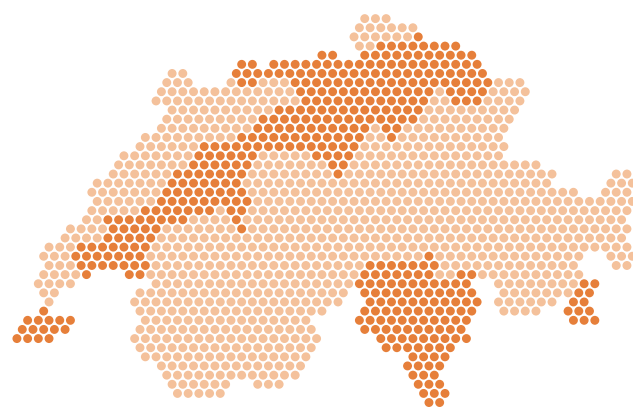
D'ici 2060, on s'attend à ce que le risque de dégradation de la santé humaine par des maladies et des espèces exotiques augmente modérément sous l'effet des changements climatiques sur le Plateau, dans les grandes agglomérations et en Suisse méridionale. C'est dans ces régions que la hausse des températures moyennes devrait avoir les impacts les plus importants. Dans le Jura, les Alpes et les Préalpes, on ne s'attend qu'à une faible augmentation de ce risque (fig. 45).

Figure 45

Évolution du risque « Dégradation de la santé humaine » dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- légère
- modérée



La dégradation de la santé humaine étant susceptible d'avoir de très graves conséquences, surtout si certaines maladies infectieuses apparaissent, ce risque doit être considéré comme très important, notamment pour des raisons éthiques. Malgré les instruments existant en matière de surveillance, d'alerte précoce et de lutte, les experts jugent plutôt faible la capacité d'adaptation de la Suisse à ce risque (Jörin et al. 2016).

Ce risque est également soumis à des influences socio-économiques. La mondialisation de l'économie favorise l'arrivée d'agents pathogènes et de vecteurs de maladies (Académies suisses des sciences 2016a). Les voyages lointains, notamment dans des pays présentant des risques sanitaires élevés, pourraient continuer à augmenter. D'un côté, le risque de contracter une infection en buvant de l'eau potable ou en consommant des aliments augmentera en de nombreux points du globe sous l'effet des changements climatiques (DEFRA 2012c); de l'autre, il existe un risque que des agents pathogènes soient introduits en Suisse (EC4). Enfin, la croissance démographique augmente le risque de contacts avec des organismes nocifs pour la santé (Adelphi/PRC/EURAC 2015).

Compte tenu des évolutions climatiques et socio-économiques prévisibles, le risque de dégradation de la santé humaine doit être considéré comme prioritaire sur le Plateau, dans les grandes agglomérations et en Suisse méridionale (fig. 46).

Figure 46

Grandes régions dans lesquelles le risque « Dégradation de la santé humaine » est prioritaire



Mesures d'adaptation

Différentes mesures sont possibles pour réduire les risques sanitaires : observation et surveillance des (nouveaux) vecteurs et des (nouvelles) maladies infectieuses chez l'homme et chez l'animal, contrôle de la qualité de l'eau potable et des denrées alimentaires, lutte contre les (nouvelles) plantes allergéniques et sensibilisation de la population (recommandations concernant le comporte-

ment à adopter). La propagation de certaines maladies peut par ailleurs être endiguée par des programmes de vaccination et l'on peut, par des thérapies appropriées, soulager les malades et raccourcir la durée de la maladie. Bon nombre de mesures, par exemple la surveillance nationale du moustique tigre asiatique, sont déjà mises en œuvre avec succès (EC2, EC6, EC7, Académies suisses des sciences 2016a).

Épidémie de chikungunya dans le nord de l'Italie

En 2007, une épidémie de chikungunya a éclaté à Ravenne (nord de l'Italie) en raison de la présence en nombre élevé de moustiques tigres asiatiques et de l'arrivée en provenance de l'Inde d'une personne atteinte par la maladie. Plus de 200 cas de chikungunya ont été recensés, et l'un d'entre eux a eu une issue fatale. Des mesures appropriées de lutte contre le moustique tigre asiatique ont permis de stopper la propagation de la maladie.

(Source : EC7)

11.2 Dégradation de la santé des animaux de rente et des animaux de compagnie

Les animaux de rente et les animaux de compagnie peuvent eux aussi être touchés par des maladies dont la propagation est influencée par les changements climatiques. Dans le contexte des zoonoses¹⁹, la santé animale peut avoir des effets sur la santé humaine (cf. 11.1). On ne peut donc aborder la santé humaine et la santé animale de façon indépendante (EC2, OcCC/ProClim 2007). L'Office fédéral de la santé publique (OFSP) tient compte de ce fait au travers de ce qu'il est convenu d'appeler l'approche « One Health ».

La propagation de la maladie de la langue bleue en Europe s'explique en partie par les changements climatiques (EC4, EC6, Kovats et al. 2014). Transmise par des moustiques du genre *Culicoides*, cette maladie touche les ruminants, surtout les ovins et les bovins. En Suisse, le premier cas de langue bleue a été signalé en 2007 ; des

19 Maladies transmissibles entre l'homme et d'autres vertébrés.

programmes de vaccination ont ensuite été menés, et notre pays est exempt de cette pathologie depuis 2012 (OSAV 2013).

Les chiens peuvent eux aussi contracter la borréliose suite à une piqûre de tique ; par ailleurs, la leishmaniose peut leur être fatale (EC7).

Les plantes peuvent également présenter un danger pour les animaux de rente. Le Sénéçon du Cap, une espèce exotique envahissante, produit des substances hépatotoxiques. Le problème qu'elle représente ne doit pas être sous-estimé, surtout dans le domaine de l'agriculture (EC7).

D'ici 2060, on s'attend à ce que le risque de dégradation de la santé animale augmente modérément sur le Plateau et faiblement dans le reste de la Suisse. Dans les agglomérations (où il n'y a pas de détention d'animaux de rente), ce risque n'existe que pour les animaux de compagnie et, en cas de zoonose, pour l'être humain. Il doit être considéré comme prioritaire sur le Plateau (fig. 47).

Figure 47

Grande région dans laquelle le risque « Dégradation de la santé des animaux de rente et des animaux de compagnie » est prioritaire



11.3 Baisse des rendements agricoles

Les organismes nuisibles provoquent une baisse des rendements agricoles. Pour réduire les pertes dans le domaine de la production végétale²⁰, on utilise en Suisse

20 La production végétale comprend les cultures fourragères, les grandes cultures, les cultures maraîchères, les cultures fruitières et la viticulture.

plus de 2000 tonnes de produits phytosanitaires par an (SCNAT 2016b).

Les principaux ravageurs sont les insectes, les rongeurs, les oiseaux, les gastéropodes et les acariens. Les plantes adventices provoquent aussi des dommages en faisant concurrence aux plantes utiles. Les maladies des plantes sont avant tout causées par des champignons, des virus et des bactéries (EC6, Union suisse des paysans 2016). Le climat influence certes tous les organismes nuisibles, qu'ils soient indigènes ou exotiques, mais c'est surtout l'être humain qui est responsable de leur propagation (voir l'introduction du chapitre 11).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Évolution des saisons : des hivers plus doux favorisent la survie et la propagation de nombreux organismes nuisibles. Ils pourraient en particulier être bénéfiques aux insectes, aux rongeurs, aux plantes adventices qui germent en automne (p. ex. gaillet gratteron, vulpin des champs) et à des champignons nuisibles comme le mildiou (OcCC/ProClim 2007, Académies suisses des sciences 2016a).

Des températures printanières plus douces augmentent la probabilité d'infestation par des organismes nuisibles au cours des premières phases de développement des plantes. Cela pourrait notamment être le cas pour les pucerons si ces derniers migrent plus tôt de leur lieu d'hivernage vers les plantes cultivées (OcCC/ProClim 2007).

Hausse générale des températures : l'élévation des températures provoque un développement plus rapide et une propagation plus étendue de certaines espèces d'insectes, ce qui est bénéfique à des ravageurs comme la pyrale du maïs, la chrysomèle des racines du maïs, l'oulema melanopus, le puceron et le doryphore. Les ravageurs dont le développement s'étend sur plusieurs années (p. ex. les larves de pyrale du maïs) pourront entraîner des dommages à intervalles plus rapprochés (OcCC/ProClim 2007).

La hausse des températures et l'allongement des périodes de chaleur permettront à certaines espèces d'insectes de se multiplier davantage. La pyrale du maïs et le carpocapse des pommes et des poires développaient jusqu'à présent une à deux générations par saison. À l'avenir, ils pourront en former deux à trois (CH2014-Impacts 2014,

OcCC/ProClim 2007). La hausse des températures pourrait également être bénéfique à certaines plantes adventices (p.ex. au cirse des champs, à l'oseille et au chiendent), car leur plus grande capacité d'adaptation leur confère un avantage concurrentiel sur les plantes de culture. Une couverture du sol réduite en raison de vagues de chaleur ou de l'érosion pourrait favoriser encore davantage la croissance des plantes adventices (OcCC/ProClim 2007). De manière générale, la crête des Alpes cessera d'être un obstacle infranchissable pour les espèces envahissantes, car la zone froide se déplacera vers le haut tout en se réduisant.

Effets positifs : les auxiliaires pourront eux aussi bénéficier des changements climatiques et certaines maladies végétales deviendront plus rares. Les températures élevées sont par exemple propices à la coccinelle, qui se nourrit de pucerons (Freier & Triltsch 1996). De plus, il faut s'attendre à un recul des infestations par des champignons nuisibles tels que la septoriose et la fusariose de l'épi (OcCC/ProClim 2007).

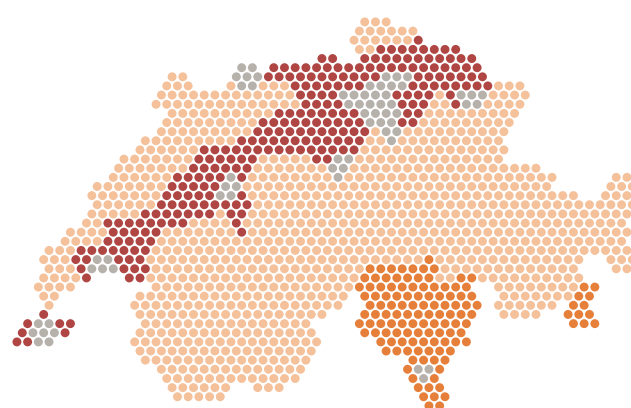
On s'attend à ce que sous l'effet des changements climatiques, le risque de baisse des rendements agricoles augmente de façon importante sur le Plateau, de façon modérée au Tessin, et faiblement dans les Alpes, les Préalpes et le Jura. Ce risque n'est pas pertinent dans les grandes agglomérations (fig. 48).

Figure 48

Évolution du risque « Baisse des rendements agricoles » dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

- légère
- modérée
- importante
- non pertinent



La capacité d'adaptation de la Suisse à ce risque est jugée relativement élevée par les spécialistes. Elle est freinée par l'insuffisance des technologies, car il n'y a que peu d'alternatives à l'utilisation, en partie contestée, de produits phytosanitaires (Jörin et al. 2016).

Les évolutions socio-économiques ont elles aussi une influence sur les rendements des récoltes agricoles (OcCC/ProClim 2007). D'une part, il n'est possible d'agir que de façon limitée sur l'introduction d'organismes nuisibles exotiques, car cette dernière est avant tout causée par l'essor du transport de marchandises et des voyages (voir l'introduction du chapitre 11). D'autre part, l'agriculture est soumise à un grand nombre d'influences d'ordre économique et politique, ce qui a des répercussions sur la marge de manœuvre dont elle dispose (cf. 4.1).

Au vu des évolutions climatiques et socio-économiques attendues ainsi que de l'importance de l'agriculture pour la société, le risque de baisse des rendements agricoles est prioritaire sur le Plateau (fig. 49).

Figure 49

Grande région dans laquelle le risque « Baisse des rendements agricoles » est prioritaire



Mesures d'adaptation

La baisse des rendements agricoles peut être atténuée par différents moyens, dont la lutte contre les organismes nuisibles. Cette dernière engendre toutefois des coûts, sans compter qu'elle peut porter atteinte à l'environnement et aux écosystèmes (EC7). Il existe des systèmes de prévision et de surveillance servant à la détection précoce de nouvelles espèces exotiques, ce qui permet d'élaborer suffisamment tôt des stratégies de lutte. Il convient aussi d'encourager la sélection et l'utilisation de variétés robustes (OFEV 2014a). Il est également possible de varier d'une année à l'autre les

Baisse des rendements agricoles provoquée par la drosophile du cerisier

Depuis 2011, la drosophile du cerisier est présente dans toute la Suisse. Elle infeste les fruits à noyau, les baies et le raisin. Les hivers doux et les printemps chauds augmentent la taille de sa population. Elle peut se multiplier de façon explosive, puisque la femelle pond jusqu'à 400 œufs et que, dans des conditions optimales, le stade adulte est atteint en deux semaines seulement (Kehrli et al. 2013). En Suisse, on enregistre depuis 2011 des dommages dans les cultures de baies. S'agissant des cultures de fruits à noyau et de la vigne, des dégâts considérables ont été signalés pour la première fois en 2014.

(Sources : EC5, Agroscope 2014)

cultures mises en place, sauf pour les cultures pérennes (EC4, OcCC/ProClim 2007). La sensibilisation des agriculteurs et l'échange d'expériences avec les pays voisins favorisent également l'adaptation (OFEV 2014a).

11.4 Dégradation des services écosystémiques forestiers

La forêt fournit de nombreux services : production de bois, protection contre les dangers naturels, protection contre l'érosion, maintien de la biodiversité, filtrage de l'eau potable et de l'air, réservoir d'eau, etc. Elle peut également servir de puits de carbone, de terrain de sport et d'espace de détente (EC1, EC4, EC5).

Les ravageurs forestiers, les maladies des plantes et les espèces exotiques envahissantes peuvent constituer des causes importantes de dégradation des services écosystémiques forestiers et aggraver les impacts de la sécheresse et des tempêtes (EC3, EC6, EC7). L'affaiblissement et la mort des arbres, de même que leur éviction par des espèces envahissantes dont le bois n'a pas les mêmes propriétés, sont susceptibles de réduire l'effet protecteur de la forêt (EC7). L'infestation de bois par les ravageurs et la croissance réduite du bois sur pied diminuent le rendement de la production de bois (cf. annexe EC1). Le prix du bois peut en outre chuter si des infestations massives ou des tempêtes provoquent des exploitations forcées (EC3).

Ravageurs forestiers : le typographe est l'un des ravageurs forestiers indigènes les plus redoutables. Il s'agit d'une espèce de bostryche qui infeste les épicéas (Pluess et al. 2016). L'épicéa étant la principale essence arboricole de Suisse, son infestation peut provoquer d'importants dommages (voir encadré « Exploitation forcée du bois d'épicéa ») (Académies suisses des sciences 2016a). Deux autres espèces sont susceptibles de se transformer en ravageurs des forêts d'épicéa : le némate de l'épicéa et une tenthrède dévoreuse d'aiguilles d'épicéa, *Pachyne-matus montanus*. Après avoir constaté que cette dernière s'était multipliée massivement dans les pays alpins ainsi que localement en Suisse, on a mis en évidence un lien entre ce phénomène et les changements climatiques qui se sont produits à ce jour (Schafellner & Schopf 2014, OFEV 2016b).

Espèces animales et végétales exotiques envahissantes :

l'ailante et la renouée du Japon sont des végétaux exotiques envahissants qui, s'ils se propagent dans les forêts protectrices, sont susceptibles de réduire la protection assurée par ces dernières (EC7, AEE 2016). Les ravageurs exotiques peuvent toutefois avoir des effets encore bien plus dévastateurs sur la fonction de protection des forêts. Le cynips du châtaignier, qui vient de Chine et est considéré comme un organisme nuisible dangereux, s'est fortement propagé en Suisse méridionale (Forster et al. 2009). Quant au nématode du pin et au capricorne asiatique, ils sont classés organismes nuisibles particulièrement dangereux et doivent donc, en vertu de l'ordonnance sur la protection des végétaux, être signalés aux autorités compétentes et combattus (OFEV 2016c). Le capricorne asiatique provoque de graves dommages sur les plans tant économique qu'écologique, car, contrairement à de nombreux autres ravageurs, il infeste et tue des arbres (feuillus) en bonne santé (Wermelinger et al. 2015).

Maladies des plantes : le feu bactérien est une maladie végétale provoquée par une bactérie qui s'est propagée à toute la Suisse. Plusieurs maladies fongiques – la graphiose de l'orme (maladie hollandaise de l'orme), le flétrissement du frêne et le chancre de l'écorce du châtaignier – modifient la composition des forêts, dégradant ainsi les services écosystémiques qu'elles fournissent. Les nombreuses forêts de châtaigniers que compte le Tessin sont fortement touchées (Rigling et al. 2016, EPSD/OFAG/OFEV 2015).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Températures : de manière générale, la hausse des températures accélère le développement des insectes, des bactéries et des virus (EC4). À cela s'ajoute le fait que la période de végétation commence plus tôt et se termine plus tard. En conséquence, les infestations débutent elles aussi plus tôt et le taux de reproduction des insectes augmente (EC1, EC3, EC6, CH2014-Impacts 2014). On part ainsi du principe que d'ici à 2085 au plus tard, le typographe produira trois générations par années au lieu de deux actuellement sur le Plateau (Pluess et al. 2016). Du fait en particulier de l'adoucissement des températures durant la saison froide, la mortalité hivernale des ravageurs pourrait diminuer et ces derniers pourraient se propager à des altitudes plus élevées (EC3, EC6, EC7, AEE 2016, Pluess et al. 2016). De manière générale, les

changements climatiques ont pour effet d'améliorer les conditions de vie des agents pathogènes sensibles au froid (AEE 2016).

Sécheresse : l'accroissement de la sécheresse peut être bénéfique à certains organismes nuisibles et agents pathogènes, mais néfaste à d'autres, dont il freinera la propagation (EC3, EC6). L'affaiblissement des arbres provoqué par la sécheresse profite indirectement aux ravageurs (cela vaut en particulier pour l'épicéa, qui est l'hôte du typographe). Les périodes de canicule, les tempêtes et les incendies de forêt leur sont également bénéfiques. Tous ces événements, qui deviendront plus fréquents à l'avenir, rendent les arbres plus vulnérables aux infestations par des nuisibles (Lévesque et al. 2015).

Comme c'est le cas dans l'agriculture (cf. 11.2), certains ravageurs ne trouveront plus de conditions de vie adéquates dans les forêts avec les changements climatiques, alors qu'il existe des auxiliaires auxquels ces changements seront bénéfiques (OcCC/ProClim 2007).

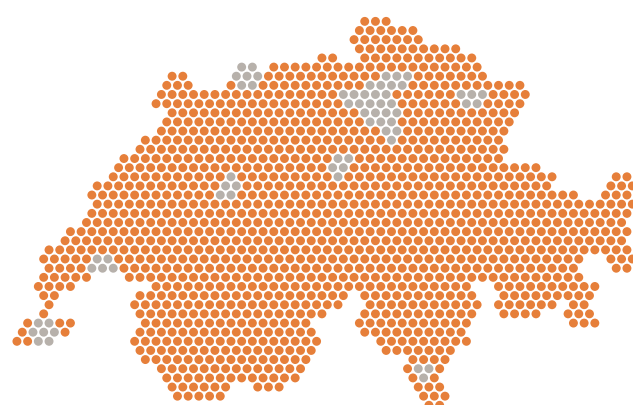
Sur le Plateau, dans le Jura, en Suisse méridionale, dans les Alpes et dans les Préalpes, on s'attend à une augmentation modérée du risque de dégradation des services écosystémiques forestiers par des ravageurs, des maladies et des espèces exotiques envahissantes. Ce risque n'est pas pertinent dans les grandes agglomérations (fig. 50).

Figure 50

Évolution du risque « Dégradation des services écosystémiques forestiers » dans les différentes grandes régions

Augmentation du risque :

● modérée ● non pertinent



La loi fédérale sur les forêts offre de bonnes conditions-cadres pour atténuer les impacts des changements climatiques (Jörin et al. 2016). La longévité des arbres et la lenteur de leur croissance représentent néanmoins un défi de taille. Des dommages potentiellement irréversibles menacent les peuplements mal adaptés aux conditions climatiques à venir (CH2014-Impacts 2014, Académies suisses des sciences 2016a).

La mondialisation du commerce constitue également un facteur d'influence important (voir l'introduction du chapitre 11). C'est ainsi qu'il faut s'attendre à ce que des organismes nuisibles continuent d'arriver en Suisse avec les marchandises importées (OcCC/ProClim 2007). Enfin, la marge de manœuvre du secteur de l'économie forestière dépend dans une large mesure du prix du bois. Celui-ci est pour l'heure très bas, si bien que les ventes couvrent à peine les coûts de production (EC1, EC3, EC4). Une éventuelle hausse de la demande de bois-énergie pourrait améliorer la situation (EC8).

Au vu des changements climatiques et socio-économiques attendus ainsi que du caractère potentiellement irréversible de certains dommages, le risque de dégradation des services écosystémiques forestiers doit être considéré comme prioritaire dans toute la Suisse (à l'exception des grandes agglomérations) (fig. 51).

Figure 51

Grandes régions dans lesquelles le risque « Dégradation des services écosystémiques forestiers » est prioritaire



Mesures d'adaptation

Il existe différentes possibilités d'action. Étant donné la longévité des arbres et la lenteur de leur développement, elles requièrent toutefois une planification à long terme. D'une part, il est essentiel de soutenir les peuplements capables de s'adapter tout en répartissant les risques sur un large éventail d'essences. D'autre part, il est possible, dans une certaine mesure, de maintenir les organismes nuisibles sous contrôle par des mesures de surveillance et de lutte. En cas de perte de la fonction protectrice de la forêt, on peut recourir à des mesures de remplacement techniques, mais celles-ci sont souvent très onéreuses (EC2, EC3, EC6, EC8, OFEV 2014a, OcCC/ProClim 2007).

Exploitation forcée du bois d'épicéa

Le typographe a proliféré massivement sous l'effet conjugué de l'ouragan Lothar de 1999 ainsi que de la canicule et surtout de la sécheresse de l'été 2003. Deux facteurs ont joué un rôle : d'une part, le typographe a pu produire une génération supplémentaire en 2003 ; d'autre part, les épicéas étaient plus vulnérables, car affaiblis par la tempête, la canicule et la sécheresse. Pendant la période 2000 – 2008, il a fallu procéder à l'exploitation forcée de huit millions de mètres cubes de bois d'épicéa²¹ (Pluess et al. 2016), et quelque deux millions de mètres cubes de bois d'épicéa infesté ont dû être abattus rien qu'en 2003 (OcCC/SCNAT 2005).

21 Habituellement, on abat en moyenne cinq millions de mètres cubes de bois par an, toutes essences confondues (OcCC/ProClim 2007). Voir aussi, à propos des dommages causés aux forêts par l'ouragan Lothar, l'encadré figurant au chapitre 8.

12 Amélioration des conditions locales



- Diminution du besoin en énergie de chauffage
- Augmentation des revenus du tourisme estival
- Hausse des rendements agricoles



Viticulture dans le Lavaux

Photo : Karen Desjardin/Getty Images/Moment Open

Même si les risques liés aux changements climatiques sont nettement plus nombreux que les opportunités susceptibles d'en découler, de telles opportunités existent bel et bien. Le présent chapitre porte uniquement sur les opportunités prioritaires. D'autres opportunités sont décrites aux points 5.2 (Augmentation de la production énergétique hivernale) et 5.3 (Diminution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige) ainsi qu'aux chapitres 10 (Modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages) et 14 (Modifications du climat à l'étranger).

L'évolution de certains paramètres climatiques peut engendrer aussi bien des risques que des opportunités. Ainsi, la diminution des chutes de neige en hiver réduit les coûts d'entretien des routes, tout en provoquant des pertes de rendement pour le tourisme hivernal. Des effets antagonistes peuvent également se produire au sein d'un seul et même secteur. Par exemple, l'agriculture bénéficie certes d'un allongement de la période de végétation, mais elle est aussi confrontée à davantage de pertes de récoltes dues à la sécheresse. Quant à la production hydraulique, elle tendra à la hausse en hiver et à la baisse en été. Aucun secteur ne fera que bénéficier des changements climatiques sans encourir le moindre risque.

On peut faire une distinction entre deux types d'opportunités : celles dont on bénéficie automatiquement (p. ex. baisse des frais de chauffage) et celles qui requièrent la mise en œuvre de mesures ciblées pour se matérialiser (p. ex. augmentation des revenus du tourisme estival en région de montagne).

Évolution observée et évolution attendue

Les opportunités liées au climat résultent avant tout de la hausse des températures moyennes et de ses impacts. Selon les projections, les températures moyennes annuelles devraient, à l'horizon 2060, avoir augmenté de 2,8 à 3,7 °C par rapport à la période 1980–2009. Modérée au printemps et en automne, c'est en été que la hausse sera la plus forte (CH2011 2011). Cette élévation des températures moyennes, conjuguée à la diminution des précipitations estivales et automnales, pourrait entraîner une légère « méditerranéisation » de la Suisse (EC3, EC6 – EC8).

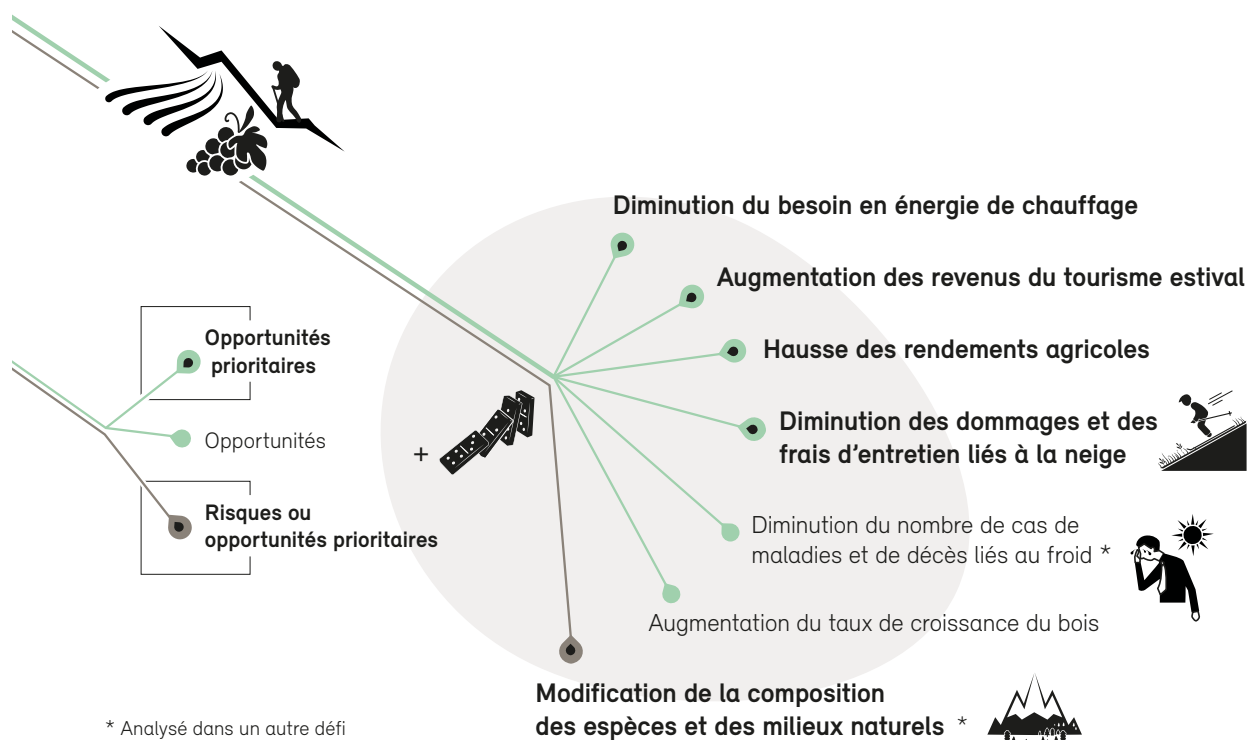
Allongement de la période de végétation²² : du fait de la hausse des températures moyennes, la période de végétation commencera plus tôt et se terminera plus tard. À l'horizon 2060, la durée de la période de végétation pourrait avoir augmenté de quelque 50 jours, selon l'altitude, par rapport aux années 1980–2009 (Météo-Suisse 2014a). La limite supérieure de la végétation se déplacera par ailleurs vers le haut (EC5, EC8).

Diminution du nombre de jours de gel et de la couverture neigeuse : le nombre de jours où la température minimale est inférieure à 0 °C (jours de gel) devrait diminuer sensiblement. À l'horizon 2060, on pourrait, en altitude, en avoir jusqu'à 60 de moins que pendant la période 1980–2009. À basse altitude, la diminution des jours de gel est moins importante en termes absolus, car ils sont plus rares. Les vagues de froid auront également reculé en 2060. Du fait de la hausse des températures, les précipitations hiver-

²² La période de végétation se définit comme le nombre de jours par année civile qui s'écoule entre la première occurrence d'une période de six jours présentant une température moyenne supérieure à 5 °C et la première occurrence, après le 1^{er} juillet, d'une période de six jours présentant une température moyenne inférieure à 5 °C.

Figure 52

Amélioration des conditions locales : vue d'ensemble des opportunités, qu'elles soient prioritaires ou non



nales tomberont davantage sous forme de pluie et moins sous forme de neige, ce qui entraînera une diminution de la durée et de l'épaisseur de la couverture neigeuse. À basse altitude, les jours de chutes de neige pourraient avoir presque complètement disparu à l'horizon 2060 (MétéoSuisse 2014a).

Fonte des glaciers : il faut s'attendre à ce que la fonte des glaciers ait modifié sensiblement le paysage à l'horizon 2060. On peut partir du principe que 40 % environ de la surface englacée que compte la Suisse (état en 1985) aura disparu d'ici là. Le recul des glaciers pourrait mettre à nu des dépressions dans lesquelles de nouveaux lacs sont susceptibles de se former (OFEV 2012a).

La figure 52 présente les opportunités, prioritaires ou non²³, liées au défi « Amélioration des conditions locales ».

12.1 Diminution du besoin en énergie de chauffage

Le chauffage des locaux compte pour environ un quart de la consommation énergétique totale de la Suisse (OFEN 2015b). C'est avant tout dans les bâtiments d'habitation que l'on consomme de l'énergie de chauffage, mais les bâtiments des entreprises (industrie, services, commerce) sont eux aussi chauffés. Les véhicules à propulsion fossile peuvent être chauffés avec la chaleur qu'ils produisent de toute façon, ceux à propulsion électrique ne peuvent l'être que moyennant une consommation supplémentaire d'énergie (EC1, EC7). Ainsi, le chauffage compte pour près de 11 % de l'énergie consommée par les Chemins de fer fédéraux pour les transports (EC3, EC7).

Le besoin en énergie de chauffage dépend principalement de la température extérieure et, dans une moindre mesure, de l'ensoleillement et de la vitesse du vent (Adelphi/PRC/EURAC 2015). Le nombre de degrés-jours de chauffage²⁴ en est un bon indicateur.

²³ Voir aussi, à propos de l'opportunité « Diminution du nombre de cas de maladies et de décès liés au froid », l'encadré figurant sous 3.1.

²⁴ Les degrés-jours de chauffage se définissent comme la somme des écarts quotidiens entre la température extérieure moyenne et une température intérieure de 20 °C, et ce pour tous les jours où la température extérieure moyenne s'élève à 12 °C ou moins (OFEN 2015a).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Le nombre de degrés-jours de chauffage varie fortement d'une année à l'autre, mais il a tendancielllement diminué au cours de la dernière décennie. Pendant la période 1980–2009, la Suisse comptait en moyenne 3428 degrés-jours de chauffage par an. Ce chiffre est passé à 2782 pendant la période 2000–2015 (OFEN 2015a).

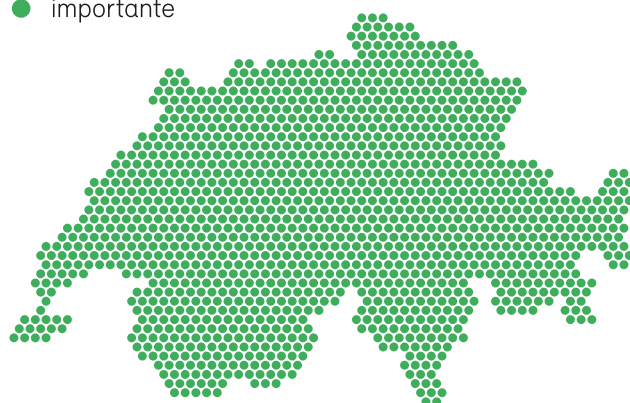
À l'horizon 2060, on s'attend à ce que le nombre de degrés-jours de chauffage ait diminué d'environ 30 % par rapport à la période 1980–2009, avec des fluctuations régionales liées à l'altitude (EC1, EC5, EC7, EC8 ; Füssler et al. 2015).

Les projections montrent que le besoin en énergie de chauffage diminuera de manière significative dans toute la Suisse (fig. 53). Les économies d'énergie et de frais de chauffage réalisées en hiver seront vraisemblablement plus importantes que les coûts supplémentaires induits par le rafraîchissement estival (cf. 3.3) (CH2014-Impacts 2014).

Figure 53
Évolution de l'opportunité « Diminution du besoin en énergie de chauffage » dans les différentes grandes régions

Augmentation de l'opportunité :

● importante



La consommation d'énergie de chauffage ne dépend pas seulement des conditions climatiques, mais aussi de plusieurs facteurs socio-économiques. Les économies de frais de chauffage sont déterminées dans une large mesure par les prix de l'énergie, lesquels ont connu de fortes fluctuations au cours des dernières années. La croissance démographique attendue et l'augmentation de la surface

habitable par personne tendent à accroître la consommation d'énergie. Le comportement de la population, l'augmentation des exigences de confort et certains effets rebonds (p.ex. hausse de la température de chauffage) sont susceptibles de réduire considérablement l'opportunité que représente la baisse de la consommation d'énergie de chauffage (Gonseth et al. 2017, AEE 2017). D'un autre côté, cette consommation est d'ores et déjà en diminution du fait de l'amélioration de l'isolation des bâtiments neufs et rénovés. Cette évolution devrait se poursuivre. L'opportunité que représente la diminution du besoin en énergie de chauffage ne se traduit pas seulement par la baisse des frais de chauffage, mais aussi par la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En Suisse, le chauffage des bâtiments (préparation d'eau chaude comprise) compte encore pour un quart environ des émissions de CO₂ (OFEV 2017b).

En dépit d'évolutions socio-économiques potentiellement antagonistes, l'opportunité que constitue la baisse du besoin en énergie de chauffage sous l'effet des changements climatiques doit être considérée comme prioritaire dans toute la Suisse (fig. 54).

Figure 54

Grandes régions dans lesquelles l'opportunité « Diminution du besoin en énergie de chauffage » est prioritaire



Mesures d'adaptation

L'assainissement énergétique du parc de bâtiments, l'amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage et l'adoption de mesures spécifiques par les pouvoirs publics sont susceptibles d'amener une diminution supplémentaire de la consommation d'énergie.

Réduction des frais de chauffage

Les Grisons sont un canton de montagne dans lequel plus de 41 % de la population vit à plus de 1000 m d'altitude. En moyenne annuelle, les près de 200 000 habitants de ce canton dépensent 155 millions de francs pour le chauffage. Ce montant pourrait avoir diminué d'environ 39 millions²⁵ à l'horizon 2060.

(Source : EC5)

12.2 Augmentation des revenus du tourisme estival

Le tourisme est un secteur fortement dépendant des conditions climatiques et météorologiques. De nombreux touristes choisissent leur destination de voyage ou d'excursion en fonction des conditions climatiques ou des prévisions météorologiques pour la région concernée – surtout en cas de courts séjours durant l'entre-saison (printemps/automne) (Serquet & Rebetez 2013).

Bon nombre de régions de Suisse enregistrent un nombre plus élevé de visiteurs au cours des mois d'été que pendant le reste de l'année (EC3, EC6, EC7). Le tourisme estival gagne en importance dans les régions de montagne, malgré le rôle dominant qu'y joue le tourisme d'hiver (RMS 2012). En Suisse centrale par exemple, le tourisme estival représente déjà 40 % des revenus des remontées mécaniques (EC8).

Par revenus du tourisme estival, on entend ici à la fois les recettes directes (nuits d'hôtel, remontées mécaniques) et les revenus indirects liés à d'autres activités de loisirs ou à la vente de biens (p. ex. articles de sport, denrées alimentaires) et de services (p. ex. offres de loisirs, gastronomie).

Impacts constatés et impacts prévisibles

De nos jours déjà, bon nombre de touristes optent pour des activités à la montagne ou au bord des lacs et rivières durant les périodes de canicule. Lorsqu'il fait chaud, mais que la chaleur n'est pas perçue comme oppressante, les

²⁵ Les éventuels effets socio-économiques ne sont pas pris en compte dans ce chiffre.

visiteurs affluent dans les villes qui offrent une atmosphère « méditerranéenne ».

Ces dernières années, le glacier du Trift, dont le recul a donné naissance à un lac, est devenu une attraction touristique grâce notamment à la construction d'un pont suspendu des plus attrayants.

La hausse des températures moyennes, l'augmentation de la fréquence des périodes de canicule, l'allongement de la saison estivale, la diminution des précipitations estivales et la formation ponctuelle de nouveaux lacs sont des changements susceptibles de créer des conditions favorables à l'augmentation des revenus du tourisme estival.

« Fraîcheur estivale » dans les montagnes : comme les températures en plaine et dans les grands centres urbains atteindront de plus en plus souvent des valeurs extrêmes pendant les périodes de canicule, il faut partir du principe que les touristes se sentiront de plus en plus attirés par la fraîcheur du climat montagnard (EC1, EC5, EC7, EC8, SAB 2010). Ce sont en particulier les régions de montagne situées à proximité des grands centres qui bénéficieront de cette évolution des comportements (EC3, EC6, EC8). On a déjà pu démontrer l'existence d'une corrélation entre le nombre de nuitées de touristes suisses en régions de montagne et les températures élevées régnant en plaine (Serquet & Rebetez 2011). Si la hausse des températures constitue une opportunité pour les régions de montagne, c'est notamment parce qu'elle pourrait y attirer des personnes pour lesquelles le climat du bassin méditerranéen devient trop chaud (EC5).

« Méditerranéisation » des villes : les centres urbains seront particulièrement mis à mal par les périodes de canicule. La hausse des températures moyennes et la diminution des précipitations estivales et automnales pourraient toutefois constituer une opportunité pour les villes. Grâce à un climat qui, de par la douceur des soirées, incite à passer plus de temps en plein air, les villes – et les régions lacustres – pourraient à l'avenir attirer davantage de visiteurs en aménageant leurs espaces publics (rives, parcs, étangs, etc.) de manière attrayante (EC1).

« Prolongation » de l'été : l'allongement de la saison chaude (début plus précoce et fin plus tardive) constitue

une autre opportunité pour attirer davantage de visiteurs, augmenter le nombre de nuitées et utiliser plus longtemps les attractions touristiques (EC3, EC6, EC7). La diminution des précipitations estivales et automnales offre quant à elle l'opportunité de développer les offres de loisirs en plein air (SCNAT 2016a). En permettant notamment de prolonger la saison de la baignade, cette évolution devrait même avoir des impacts positifs au Tessin, région qui bénéficie d'ores et déjà d'un climat propice au tourisme (EC7).

Modification du paysage : les glaciers constituant une attraction touristique très appréciée (EC5), leur fonte est susceptible d'avoir des impacts négatifs sur la façon dont certaines destinations sont perçues (EC5, EC7, SCNAT 2016a). Si les conditions le permettent, ces impacts pourraient être compensés par la formation de nouveaux lacs (EC5, EC8, SCNAT 2016a). Les conséquences de la modification du paysage devraient varier d'une région à l'autre et dépendre fortement des conditions locales (NELAK 2013).

Les régions des Alpes, des Préalpes et du Jura devraient être les grandes gagnantes d'une modification du comportement des touristes résultant de la hausse des températures. Dans ces trois régions, on s'attend à une augmentation modérée des revenus du tourisme, alors qu'en Suisse méridionale, dans les grandes agglomérations et sur le Plateau, la hausse attendue est minime (fig. 55).

Figure 55

Évolution de l'opportunité « Augmentation des revenus du tourisme estival » dans les différentes grandes régions



Le tourisme est influencé non seulement par des paramètres climatiques, mais aussi par des facteurs socio-économiques tels que la situation économique en Suisse et à l'étranger (influence sur le cours des changes), l'évolution démographique (augmentation du nombre de personnes âgées), les tendances en matière de tourisme et la qualité des infrastructures (EC6 – EC8).

L'opportunité « Augmentation des revenus du tourisme estival » doit être considérée comme prioritaire dans les Alpes, les Préalpes, le Jura et en Suisse méridionale (fig. 56).

Figure 56

Grandes régions dans lesquelles l'opportunité « Augmentation des revenus du tourisme estival » est prioritaire.



Mesures d'adaptation

Au vu du potentiel qui s'offre en matière de tourisme estival sous l'effet des changements climatiques, les régions concernées (en particulier les régions de montagne et les régions lacustres) devraient prendre des mesures pour exploiter de façon optimale les opportunités existantes, par exemple en offrant plus d'activité de plein air (EC8). Les remontées mécaniques comptent parmi les bénéficiaires potentiels du développement du tourisme estival en région de montagne. Certaines de ces entreprises ont d'ores et déjà pris des mesures pour accroître la part que représente le tourisme estival dans leur chiffre d'affaires (EC3).

En tout état de cause, la baisse des revenus du tourisme hivernal (cf. 5.1) est souvent plus importante pour les remontées mécaniques que l'augmentation des revenus

du tourisme estival, car c'est pendant la saison froide qu'elles réalisent la plus grande partie de leur chiffre d'affaires. Pour pouvoir maintenir son niveau de revenus, le secteur du tourisme devra donc adapter en parallèle son offre à l'évolution de l'environnement socio-économique (nouveaux groupes cibles à l'étranger, augmentation des visiteurs d'un certain âge, etc.).

Évolution du nombre de visiteurs dans le Jura durant l'été 2015

Lors de l'été 2015 (particulièrement chaud), l'agence Jura Tourisme a enregistré une nette augmentation du nombre de visiteurs par rapport à l'été 2014 (particulièrement pluvieux). Les nuitées hôtelières ont augmenté de 4,2 % en juillet, les nuitées en camping de 42,1 %. De plus, davantage de visiteurs se sont rendus dans les points d'accueil de Jura Tourisme pour s'y faire conseiller (+7 % en juillet et en août), et l'étang de la Gruère a remporté beaucoup de succès (+23 % en juillet et en août). Durant l'été 2015, les Franches-Montagnes et la fraîcheur de leur climat ont attiré un nombre record de visiteurs.

(Source : EC6)

12.3 Hausse des rendements agricoles

L'agriculture suisse apporte une contribution importante à l'approvisionnement de la population en denrées alimentaires et à la préservation d'un paysage façonné par l'homme depuis plusieurs siècles (EC5, OFS 2016). Les conditions climatiques ont une influence déterminante sur la production et le rendement agricoles (cf. 4.1) (Académies suisses des sciences 2016a). L'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère peut elle aussi avoir des impacts sur la croissance des plantes (fertilisation par le CO₂). Toutefois, comme d'autres facteurs environnementaux, tels que les ressources en nutriments et en eau, ont en règle générale un effet limitatif, cet effet est souvent négligeable (Chmielewski 2007).

Impacts constatés et impacts prévisibles

Hausse de la température moyenne : l'élévation des températures moyennes, contrairement à la canicule,

est susceptible d'avoir des effets positifs sur les cultures agricoles. Le taux de photosynthèse des plantes dépend de la disponibilité de lumière, de nutriments et d'eau, ainsi que de la température. La hausse des températures moyennes peut accroître le taux de photosynthèse des végétaux dont la plage de températures optimale n'est pas encore atteinte, et par là accélérer leur croissance (Chmielewski 2007). Elle est donc susceptible d'augmenter le rendement des cultures agricoles sur les plans tant quantitatif que qualitatif (EC5, EC7). En 2015, la teneur en sucre de la betterave sucrière et du raisin ont par exemple été nettement supérieurs à la moyenne pluriannuelle (OFEV 2016b).

Si la hausse des températures moyennes s'accompagne d'une augmentation de la fréquence des périodes de beaux temps, il en découlera des avantages non seulement pour les plantes, mais aussi pour la conduite des exploitations agricoles. L'augmentation des jours où il est possible de travailler dans les champs facilitera l'organisation du travail et favorisera une exploitation efficace des capacités des machines agricoles (OcCC/ProClim 2007).

Allongement de la période de végétation : l'allongement de la période de végétation peut entraîner une augmentation de la production annuelle (p. ex. deuxième coupe de foin) (Académies suisses des sciences 2016a). C'est surtout la hausse des températures moyennes pendant des périodes relativement longues au printemps qui est susceptible d'avoir des effets positifs sur le commencement et la durée des différents stades de développement des plantes (Chmielewski 2007).

Diminution du nombre de jours de gel : les épisodes de gel survenant pendant la période de végétation peuvent causer des dégâts considérables dans l'agriculture. La vigne ainsi que les cultures fruitières et maraîchères y sont particulièrement sensibles (EC4, EC5, EC8). La diminution du nombre de jours de gel a donc un impact positif sur les rendements agricoles. Quant à la réduction du manteau neigeux, elle entraîne le déplacement vers le haut de la limite de la végétation (EC3, EC6). Ce déplacement ne devrait toutefois augmenter que de façon minime le rendement des grandes cultures, car une exploitation économiquement rentable est souvent difficile à ces altitudes.

Les effets sur les plantes des changements climatiques décrits ci-dessus ne sont pas que positifs. La hausse des températures aura des effets néfastes sur les espèces végétales dont l'optimum de température pour la photosynthèse est déjà dépassé (Chmielewski 2007). Le début plus précoce de la période de végétation ne supprimera pas le risque d'épisodes de gel tardifs (comme au printemps 2017), du moins en altitude (OcCC/ProClim 2007). De plus, des espèces comme le blé d'automne, la betterave sucrière, les pommiers et les abricotiers ont besoin d'une période de froid pour déclencher la germination (EC3, EC4, EC6).

De manière générale, la hausse des températures moyennes et les changements qu'elle amènera sont susceptibles d'avoir des effets positifs sur de nombreuses plantes (p. ex. colza, soja, riz, raisins de table). Néanmoins, il sera à l'avenir plus difficile de cultiver non seulement de l'avoine, mais aussi et surtout du blé d'automne sur le Plateau (OcCC/ProClim 2007, Académies suisses des sciences 2016a).

Par ailleurs, il ne pourra y avoir d'augmentation des rendements agricoles que si les autres facteurs (ressources en eau, nutriments) n'ont pas d'effet limitatif (EC1, EC3, EC7). On s'attend donc à d'importantes disparités locales dans l'ampleur que prendra l'augmentation des récoltes (OFAG 2011). À partir d'un réchauffement supérieur à 2 ou 3 °C, les pertes de rendement dues à la sécheresse et aux ravageurs devraient surcompenser la hausse induite par l'élévation des températures moyennes (OcCC/ProClim 2007).

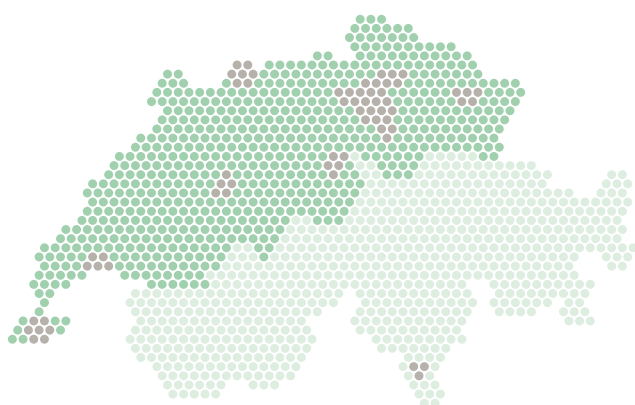
La hausse des températures moyennes et ses conséquences secondaires auront des effets globalement positifs sur l'agriculture (EC1, EC3 – EC8). On s'attend à une hausse modérée des rendements sur le Plateau, dans les Préalpes et dans le Jura. Les changements seront minimes dans les Alpes et en Suisse méridionale. En ce qui concerne les grandes agglomérations, l'agriculture n'y est pas un secteur pertinent (fig. 57).

Figure 57

Évolution de l'opportunité « Hausse des rendements agricoles »
dans les différentes grandes régions

Augmentation de l'opportunité :

- légère
- modérée
- non pertinent



Les évolutions socio-économiques ont une grande influence sur le secteur de l'agriculture (EC3 – EC8). Celles qui sont pertinentes sont décrites en détail sous 4.1. Au vu des changements prédominants attendus sous l'effet de l'évolution du climat, l'opportunité « Hausse des rendements agricoles » doit être considérée comme prioritaire sur le Plateau, dans les Préalpes et dans le Jura (fig. 58).

Figure 58

Grandes régions dans lesquelles l'opportunité « Hausse des rendements agricoles » est prioritaire



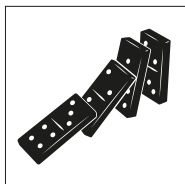
Mesures d'adaptation

La formation des agriculteurs et les conseils qui leur sont dispensés devront tenir compte de l'évolution des conditions locales afin que les opportunités qui s'offrent puissent être exploitées. S'agissant de la recherche, les priorités doivent aller à l'examen de l'adéquation aux conditions locales de certaines plantes cultivées, à la sélection et à l'utilisation de variétés adaptées ainsi qu'à une exploitation conforme aux conditions locales (EC3, EC5 – EC7, Académies suisses des sciences 2016a, OFEV 2014a). Ainsi, il pourrait devenir possible de cultiver en Suisse des espèces du bassin méditerranéen sensibles au froid telles que l'ail, les aubergines, les poivrons, les tomates, les olives, les melons et les agrumes (EC4, OcCC/ProClim 2007), à condition toutefois de tenir compte du risque accru de dommages dus au gel.

Opportunités pour la viticulture

La hausse des températures moyennes pourrait permettre à la Suisse de cultiver davantage de variétés de raisin (CH2014-Impacts 2014). On pourra désormais planter le cépage Aramon à Genève et les cépages Syrah et Tempranillo au Tessin (EC4, EC7). La hausse des températures devrait également entraîner une augmentation de la teneur en sucre du moût de raisin, ce qui améliore la qualité du vin (EC5, EC7). Les rendements viticoles ne dépendent toutefois pas seulement des températures. Les infestations de ravageurs pourraient elles aussi évoluer sous l'effet des changements climatiques.

13 Risques wildcards



- Risques difficiles à évaluer



L'évolution de systèmes complexes tels que la couche inférieure de l'atmosphère terrestre n'est que difficilement prédictible.

Les méthodes usuelles d'analyse des risques ne permettent pas d'évaluer et de quantifier tous les risques liés aux changements climatiques. On appelle «risques wildcards» les risques qui échappent à ces méthodes. Cette notion souligne le caractère surprenant (aléatoire) d'un événement pouvant s'avérer lourd de conséquences. Il est utilisé en futurologie et dans l'analyse de scénarios pour désigner les événements perturbateurs inattendus, les chocs ou les discontinuités (Steinmüller 2007). Les risques wildcards se caractérisent par le fait :

- qu'ils présentent une faible probabilité ;
- qu'ils peuvent avoir des impacts dramatiques ;
- qu'ils se produisent par surprise.

Les risques wildcards sont étroitement liés aux chaînes d'impacts d'autres processus, activités et événements ayant lieu dans la nature, dans la société ou au sein de l'économie. On les appelle aussi risques systémiques (Nauser et al. 2015). Bien souvent, il n'est possible d'estimer que sommairement tant la probabilité de matérialisation de ces risques que l'étendue des dommages qu'ils sont susceptibles de causer. Leur évaluation peut par exemple accrocher sur le fait que les événements ne suivent pas un cours linéaire et qu'ils peuvent atteindre un point de basculement qui provoque une modification soudaine de l'état du système. Les effets en cascade constituent également une caractéristique typique des risques systémiques : les impacts primaires se propagent

au-delà du système concerné et mènent, le cas échéant par des voies détournées et avec un certain décalage dans le temps, à des dommages secondaires et tertiaires touchant des systèmes connexes.

Dans le contexte des changements climatiques, la modification du courant océanique allant des Caraïbes à l'Atlantique Nord (Gulf Stream) peut être considérée comme un risque wildcard. Si ce risque se matérialisait, il pourrait en résulter un refroidissement marqué du climat européen. Selon les connaissances scientifiques actuelles, un tel scénario est plausible, mais le moment de son éventuelle survenance et son déroulement ne sont pas prédictibles. Quant à ses conséquences pour l'Europe, elles seraient considérables, et pas seulement sur le plan climatique.

Pour autant qu'on puisse en juger actuellement, un événement wildcard touchant la Suisse pourrait par exemple prendre la forme suivante: sous l'effet de la fonte du pergélisol, un pan de montagne s'écroule dans un bassin de rétention, provoquant une vague de crue qui descend jusque dans la vallée, où elle provoque d'énormes dommages matériels et immatériels. Cet événement déclenche une psychose dans toutes les régions de montagne où le même scénario pourrait en théorie se produire. Ces régions sont alors désertées par leurs habitants, ce qui paralyse l'essentiel de leurs activités économiques et bloque leur développement (Buser 2007).

Cet exemple montre que les risques wildcards sont certes rattachés à des évolutions connues – en l'occurrence les impacts des changements climatiques sur la stabilité de la roche en montagne – mais que leur portée est fonction de l'enchaînement spatio-temporel des événements subséquents qui touchent la nature, la société et l'économie.

La liste détaillée des risques et opportunités figurant à l'annexe A1 comprend les risques wildcards qui ont été jugés pertinents pour la Suisse. Ces risques peuvent être subdivisés en trois grandes catégories:

1. **Modification de la circulation atmosphérique ainsi que de la fréquence et de la durée (persistance) de situations atmosphériques:** les situations atmosphé-

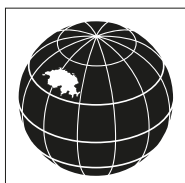
riques persistantes peuvent entraîner des épisodes de fortes précipitations et des périodes de sécheresse de longue durée ainsi que des vagues de chaleur extrêmes. Elles peuvent provoquer la surcharge, voire l'effondrement d'infrastructures critiques telles qu'ouvrages de protection, centrales électriques et STEP, ou mener à des pénuries d'eau dues à une baisse importante et durable du niveau des eaux souterraines.

2. **Réunion de facteurs menant à une évolution imprévue d'aléas naturels en soi connus:** il peut notamment s'agir d'événements survenant dans des lieux jusqu'alors considérés comme sûrs ou de dommages à des infrastructures très utilisées par le public, comme des gares ou des axes de circulation importants qui ne sont en principe pas exposés aux risques.
3. **Survenance de situations pour lesquelles il n'existe pas de précédents et contre lesquelles il est impossible de se prémunir:** ce type de situation peut par exemple se produire lorsque des plans ou des cours d'eau atteignent des températures encore inconnues qui sont critiques pour la faune ou pour la flore, lorsque de nouvelles espèces envahissantes se propagent dans des écosystèmes ou lorsque la santé humaine, les cultures agricoles ou les forêts (protectrices) se dégradent de façon inattendue sous l'effet de nouveaux parasites ou de nouvelles maladies.

Plus le climat s'écarte de sa plage de variation historique, plus la probabilité de survenance de situations de type wildcard augmente. Lorsque les changements climatiques auront atteint un stade avancé, de nouveaux risques et de nouvelles opportunités, pour l'heure impossibles à prévoir et à évaluer, devraient se présenter sur l'ensemble du territoire suisse.

En pratique, il n'est ni possible ni judicieux de se préparer à toutes les éventualités. Si l'on étudie les risques wildcards, c'est avant tout pour prendre en considération les évolutions négatives (mais aussi positives) qui sortent du cadre des connaissances empiriques. En se représentant des scénarios improbables et contre-intuitifs, on acquiert la faculté de prendre en compte la survenance d'événements inattendus lors de l'élaboration de plans de mesures et d'y intégrer des solutions plus innovantes, plus robustes et plus souples (Steinmüller & Steinmüller 2004).

14 Impacts des changements climatiques à l'étranger



- Risques indirects
- Opportunités indirectes



Le port rhénan de Birsfelden

Photo : Patrick Walde

Du point de vue de la Suisse, bon nombre des impacts liés au climat qui surviennent à l'étranger constituent des risques systémiques. Les événements dus aux changements climatiques qui touchent d'autres pays peuvent, au travers de longues chaînes de processus (dommages secondaires et tertiaires), avoir des répercussions très étendues, au point que le lien entre la cause (à l'étranger) et les effets (en Suisse) n'est plus forcément perceptible.

En tant que pays importateur et exportateur de biens et services, la Suisse est fortement intégrée dans la vie

économique internationale. Dans des domaines comme l'approvisionnement en énergie, en denrées alimentaires et en matières premières pour la production industrielle, elle est fortement dépendante des importations, qui revêtent pour elle une importance cruciale (OFAG 2016). Les échanges avec l'étranger jouent également un rôle central dans le secteur des services (finances, assurances, conseil, tourisme).

Cette forte dépendance envers l'étranger peut notamment être illustrée par la part des surfaces situées dans

d'autres pays dont la Suisse a besoin : en se fondant sur des analyses statistiques du commerce mondial (Yu et al. 2013), on estime que 84 % des surfaces nécessaires à la production des biens consommés en Suisse se trouvent à l'étranger. Si ces surfaces ou les systèmes d'achat, de production et de distribution qui y sont liés se dégradent sous l'effet des changements climatiques, les répercussions sur l'économie et la société suisses peuvent être considérables.

Selon de premières estimations (Schwank et al. 2007) fondées sur la consultation d'experts, les impacts économiques touchant la Suisse en raison des modifications du climat à l'étranger devraient être plus importants que les impacts directs attendus en Suisse. Cette analyse est corroborée par les résultats de travaux de recherche se rapportant à la Grande-Bretagne (PwC 2013). Une étude récente (Rüttinger & Pohl 2016) répertorie, dans l'optique de la politique extérieure et de la politique de sécurité, quatre risques liés au climat qui sont déjà observables aujourd'hui, mais qui devraient s'accroître sensiblement à l'avenir : conflits locaux pour l'utilisation des ressources, menaces sur des ressources vitales et migrations, épisodes météorologiques extrêmes et catastrophes, fluctuations du prix des denrées alimentaires. Les impacts liés au climat qui se produisent à l'étranger devraient être pris en compte pour l'adaptation en Suisse, du moins dans les domaines les plus exposés. Une gestion prévoyante de pareils impacts constitue un avantage de poids dans le contexte de la concurrence internationale (Bresch 2016).

Les impacts des changements climatiques à l'étranger peuvent avoir pour la Suisse une portée comparable, voire plus étendue, que les risques et opportunités prioritaires qui se présentent sur le territoire national. Les changements climatiques ne sont toutefois qu'un facteur parmi tous ceux qui sont susceptibles d'impacter les perspectives d'évolution de notre pays. Les tendances internationales qui se dessinent sur les plans économique, politique, technique ou démographique se superposent aux changements climatiques, si bien qu'il est difficile d'analyser isolément ces derniers.

Les risques (–) et les opportunités (+) qui devraient gagner en importance du fait des impacts internationaux des changements climatiques sur la Suisse sont les suivants :

Flux commerciaux internationaux : vulnérabilité aux perturbations

Les catastrophes, qu'elles soient ou non liées au climat, montrent que la mondialisation de l'économie augmente la vulnérabilité de cette dernière aux perturbations. L'OCDE (2014) a décrit plusieurs cas mettant en évidence l'impact des pénuries touchant les chaînes de distribution mondialisées. Des inondations survenues dans la région de Bangkok ont entraîné en 2011 une baisse temporaire de quelque 30 % de l'offre de disques durs pour ordinateurs. Le tsunami qui a touché la côte est du Japon la même année a eu des impacts sur les industries mondiales de l'automobile et de l'électronique, car d'importants producteurs de laques pour véhicules et de microprocesseurs ont cessé d'être opérationnels pendant une période relativement longue.

En Suisse, la canicule et la sécheresse de l'été 2003 ont entraîné des restrictions massives de la navigation sur le Rhin. Le trafic des navires marchands a été réduit et les capacités du rail n'ont pas suffi à acheminer en Suisse tous les produits pétroliers, containers et métaux qui avaient été livrés dans les ports de la mer du Nord. D'importantes quantités de céréales ont dû être entreposées dans ces ports jusqu'à ce que la situation sur le Rhin se normalise (OFEFP et al. 2004).

- diminution de la sécurité de l'approvisionnement en raison de perturbations – dues aux changements climatiques – de la production et du transport de biens d'importation importants ;
- modifications de la productivité de systèmes agricoles et forestiers étrangers ayant en particulier des impacts sur l'industrie des denrées alimentaires, du textile, du bois et du papier ;
- augmentation de la volatilité des prix des produits agricoles ;
- pertes de rendement pour l'industrie d'exportation en raison de baisses du pouvoir d'achat dans des pays exposés aux changements climatiques ;
- augmentation des risques liés aux investissements exposés aux changements climatiques ;

-
- diminution de la stabilité politique et de la sécurité internationale avec augmentation simultanée des flux migratoires mondiaux induits par le climat ;
 - + augmentation de la demande internationale de conseils et de service de planification et d'ingénierie pour l'adaptation aux changements climatiques ;
 - + augmentation de la demande internationale de services d'assurance et de réassurance ;
 - + amélioration de la position concurrentielle de la Suisse dans le secteur du tourisme (fraîcheur estivale, relative sécurité d'enneigement).

La liste détaillée des risques et opportunités répertoriés dans la littérature spécialisée figure à l'annexe A1.

15 Gestion des incertitudes

Toute prédiction concernant l'évolution à venir du système climatique, de la nature, de la société ou de l'économie comporte forcément des incertitudes. Pour estimer les impacts des changements climatiques à l'horizon 2060 et pour évaluer et prioriser les risques et les opportunités qui en découlent pour la Suisse, il faut poser de nombreuses hypothèses. Celles-ci vont de l'évolution attendue des émissions de gaz à effet de serre à leurs effets sur le climat mondial et local, en passant par les changements qui en résulteront pour la nature, la société et l'économie, ainsi que par la question de savoir comment évoluera la capacité de résistance (résilience) de la société et de l'économie à des perturbations dues à des facteurs indépendants du climat (évolution politique, tendances sociétales et économiques, innovations technologiques, etc.).

Les causes d'incertitude

Le scénario d'émissions choisi comme fondement de l'analyse des risques part du principe que l'ampleur des changements climatiques sera importante (cf. annexe A2). Ce scénario est plausible, mais il ne représente que l'une des nombreuses formes que peuvent prendre les changements climatiques. Si d'ambitieux objectifs de réduction des émissions sont poursuivis de manière systématique au plan international, il est possible qu'en 2060, les émissions aient diminué par rapport à aujourd'hui et que les impacts soient moins importants qu'on ne le craint. La Suisse doit cependant aussi être prête à faire face à une évolution moins favorable, d'où le scénario choisi.

Les scénarios d'émissions peuvent être traduits en modèles climatiques qui renseignent sur l'évolution possible de certains paramètres climatiques. Si les modèles permettent d'ores et déjà d'établir des prédictions relativement robustes pour des paramètres comme la température, les précipitations, la limite des chutes de neige, etc., les prévisions concernant l'évolution d'événements relativement rares tels que les précipitations extrêmes ou les tempêtes comportent davantage d'incertitudes. Or les précipitations extrêmes sont susceptibles, avec d'autres facteurs, de jouer un rôle important dans le déclenchement d'événements dommageables comme les crues, les laves torrentielles ou les glissements de terrain.

S'agissant des impacts des changements climatiques sur la nature, les incertitudes des modèles climatiques se superposent aux déficits de connaissance sur la sensibilité de certaines espèces et d'écosystèmes complets aux modifications du régime climatique. Il en devient difficile d'estimer les effets des changements climatiques sur la propagation d'agents pathogènes, d'organismes nuisibles ou d'espèces envahissantes et, par là, sur la santé humaine, l'agriculture ou l'économie forestière.

Les impacts futurs sur l'économie et la société sont quant à eux fortement dépendants des hypothèses sur l'évolution de la population, des zones habitées, de l'activité économique, etc. Ces hypothèses ont une forte influence sur l'ampleur des dommages à venir ; elles sont susceptibles de mener à une sur- ou à une sous-évaluation de risques ou d'opportunités.

Comme indiqué aux chapitres 13 et 14, il faut en outre s'attendre, avec la progression des changements climatiques, à des impacts qui ne peuvent pas être évalués à l'aide des méthodes conventionnelles d'analyse des risques. Les risques wildcards et les impacts des changements climatiques à l'étranger comportent une part supplémentaire d'incertitude qui ne peut être réduite que dans une mesure très limitée.

Réduction des déficits de connaissance

Les travaux de recherche intensifs menés au fil des ans ont permis de réduire sensiblement les incertitudes liées à de nombreuses prédictions relatives aux changements climatiques. Il est toutefois indispensable de poursuivre les recherches afin d'élaborer des modèles climatiques capables de représenter l'évolution à venir de manière plus réaliste et plus détaillée, afin de détecter les risques à un stade plus précoce et de mieux comprendre les évolutions possibles des événements ainsi que les possibilités d'action, et afin de pouvoir mettre en œuvre des contre-mesures de façon plus ciblée.

Il existe un important besoin de recherches dans le domaine des impacts des changements climatiques sur les systèmes naturels et socio-économiques. De nombreux travaux de recherche ont certes déjà été menés en

Suisse au sujet de ces impacts (p. ex. Pluess et al. 2016, CH2014–Impacts 2014, OFEV 2012a, SECO 2011), mais des analyses supplémentaires restent nécessaires pour certaines problématiques – concernant p. ex. les écosystèmes naturels ou les risques sanitaires pour l'être humain et les animaux – afin de pouvoir évaluer le besoin d'agir et/ou les actions possibles de manière plus complète et plus nuancée. La surveillance et la détection précoce des risques comportent elles aussi encore de nombreuses lacunes, qu'il s'agit de combler si l'on veut pouvoir repérer à temps les changements qui s'amorcent et estimer correctement leurs conséquences potentielles (ProClim 2015).

L'évolution de la société et de l'économie et, par là, la mesure dans laquelle les biens matériels et immatériels seront à l'avenir exposés aux changements climatiques est également une problématique qui n'a reçu que peu d'attention jusqu'à présent. Il n'existe pour l'heure pas d'analyses largement étayées qui permettent d'évaluer la vulnérabilité de la société et de l'économie face aux perturbations liées au climat et leur capacité d'adaptation aux épisodes de crise.

Lorsqu'il est question des évolutions à long terme touchant des systèmes complexes, la recherche peut atteindre ses limites. Dans les cas où l'analyse approfondie ne permet pas d'écarter les incertitudes, les techniques de scénario peuvent constituer une solution. Elles permettent de décrire des trajectoires d'évolution possibles, d'identifier les risques qui y sont liés et d'évaluer les options qui se présentent pour l'adaptation (IRGC 2013, IRGC 2015).

Adéquation des mesures

L'objectif de la stratégie d'adaptation du Conseil fédéral (OFEV 2012b, OFEV 2014a) est de préparer le mieux possible la Suisse aux conséquences actuellement prévisibles des changements climatiques, mais aussi à celles qui sont moins probables. À cette fin, il convient – dans les domaines où cela est déjà possible et judicieux – de prendre des mesures garantissant que les risques que les changements climatiques peuvent présenter à moyen et long termes resteront supportables.

L'un des principaux défis consiste à déterminer les mesures appropriées pour les risques répertoriés malgré les incertitudes existantes. Lorsqu'il s'agit d'empêcher la survenue, à un moment donné dans l'avenir, de

dommages potentiellement irréversibles, les déficits de connaissances quant à la probabilité d'occurrence ou à l'étendue des dommages en question ne doivent en aucun cas mener à l'inaction ou à l'attentisme. Il convient plutôt, en se fondant sur les connaissances les plus pointues disponibles, de mettre en évidence les évolutions plausibles, et d'en tirer des options d'action, puis les mesures à prendre. L'efficacité, l'efficience, l'équité et la résilience sont des critères susceptibles d'aider à trouver des solutions appropriées (Renn 2014, Renn 2015).

Bien souvent, les mesures peuvent s'inscrire dans des concepts et des dispositifs existant déjà pour la gestion des risques conventionnels (protection contre les dangers naturels, gestion de la sécheresse, lutte contre les organismes nuisibles, etc.). Ce qui est décisif dans ce contexte, c'est de prévoir en tenant compte du caractère évolutif des changements climatiques.

Possibilités d'action

Le choix des stratégies et des mesures d'adaptation doit tenir compte du fait que les connaissances relatives aux impacts des changements climatiques ou à la combinaison de mesures optimale sont souvent limitées, mais que l'on ne peut attendre d'avoir éliminé toutes les incertitudes pour agir. Les types de mesures et les principes applicables en pareilles circonstances sont décrits ci-après (UKCIP 2007, Martin 2012).

Mesures au bénéfice multiple : il s'agit de mesures qui servent l'adaptation aux changements climatiques, même si elles sont avant tout prises pour d'autres raisons. On utilise les occasions d'obtenir un avantage additionnel dans l'optique de l'adaptation aux changements climatiques, sans que cela requière de gros efforts supplémentaires. Exemples :

- dans les agglomérations, la planification des espaces extérieurs se fait de manière à améliorer la qualité de vie et de délasserment tout en contribuant efficacement à l'évacuation des eaux en cas de fortes précipitations, en favorisant la circulation du vent et en offrant des ombrages (Ville de Sion 2017) ;
- la stratégie de développement régional tient compte des risques et opportunités liés aux changements climatiques et les utilise pour (re)positionner la région (Regionalkonferenz Oberland-Ost 2016) ;

- afin de maintenir la fonction protectrice des forêts, les peuplements sont rajeunis. Pour ce faire, on utilise des espèces résistantes à la sécheresse, ce qui accroît la capacité d'adaptation des forêts ;
- les nouvelles concessions octroyées aux centrales hydroélectriques sont conçues de manière à servir les objectifs non seulement de la production d'électricité, mais aussi de la sécurité d'approvisionnement et de la protection contre les crues, tout en garantissant au besoin la disponibilité d'eau d'extinction.

Mesures dites « sans regret » ou « sans grand regret » :

il s'agit ici avant tout de planifier et de mettre en œuvre, à court terme, des mesures ayant une utilité positive (même secondaire) déjà dans les conditions climatiques actuelles. On évite les conflits avec d'autres objectifs, et l'effet à long terme en matière d'adaptation aux changements climatiques revêt une importance secondaire. Les mesures « sans grand regret » se différencient des mesures « sans regret » en ceci qu'on en attend une utilité plus élevée en matière d'adaptation et qu'on accepte qu'elles engendrent des coûts supplémentaires (modérés). Exemples :

- mise en place de cultures robustes et peu sensibles aux conditions météorologiques dans le secteur de l'agriculture ;
- orientation des mesures de protection contre les dangers naturels de manière à ce qu'elles tiennent compte des cas de surcharge ;
- planification et construction de bâtiments (entreprises, habitation) offrant un climat intérieur agréable même en cas de températures extérieures élevées ;
- mise en place de systèmes de suivi et d'alerte afin de surveiller les foyers connus ou nouveaux de mouvements de terrain ou l'apparition d'organismes nuisibles.

Flexibilité et résilience : la flexibilité met l'accent sur le caractère itératif de l'adaptation. Les mesures sont aménagées de manière à remplir leur office dans les conditions actuelles (p. ex. assurer le niveau de sécurité requis), mais à pouvoir être adaptées moyennant un coût raisonnable en cas de modification des conditions-cadres. On se ménage une certaine marge de manœuvre afin de pouvoir orienter plus précisément les mesures dès que des connaissances supplémentaires seront disponibles.

La flexibilité est également l'une des idées maîtresses des stratégies qui visent à renforcer la résilience de la nature, de la société et de l'économie face aux perturbations liées au climat. Les systèmes résilients se caractérisent par le fait qu'ils disposent de plusieurs filets de sécurité, ce qui leur permet de résister à la perte temporaire de certaines de leurs parties ou fonctions (Nausser et al. 2015).

Parmi leurs propriétés figurent la redondance, la décentralisation, la diversité, la tolérance aux erreurs, la robustesse et le capital humain (en tant que ressource pour la gestion des crises). Ces propriétés se manifestent par exemple :

- dans les milieux naturels interconnectés ;
- dans les cultures agricoles diversifiées et adaptées aux conditions locales ;
- dans un approvisionnement en eau et en électricité issu de sources décentralisées, mais pouvant être couplées ;
- dans la pluralité de systèmes de transport et de communication indépendants les uns des autres ;
- dans les plans d'urgence pour la gestion des situations de crise et des nouveaux risques sanitaires ;
- dans la sensibilisation aux risques et le renforcement des approches préventives.

Les procédures de gestion des risques qui ont fait leurs preuves dans des situations conventionnelles ne sont applicables que dans une mesure très limitée aux risques wildcards et aux risques systémiques transfrontières. Ces risques requièrent des stratégies davantage axées sur la capacité à réagir avec flexibilité à des situations extraordinaires et à la perte de systèmes critiques.

En guise de conclusion, il convient de souligner qu'en raison précisément des incertitudes considérables qui sont liées aux changements climatiques d'origine anthropique, le principe général est qu'il faut, parallèlement à l'adaptation, éviter le plus possible d'émettre des gaz à effet de serre. Le lien entre émissions de gaz à effet de serre et changements climatiques a été amplement démontré. La réduction des émissions reste donc la principale stratégie à appliquer pour éviter ou atténuer des impacts potentiellement incontrôlables.

A Annexe

A1 Liste détaillée des risques et opportunités liés aux changements climatiques

On trouvera ci-après la liste de tous les risques répertoriés dans l'analyse des risques, qu'ils soient prioritaires (en gras et avec une puce de couleur) ou non. Tous les risques et toutes les opportunités liés aux changements climatiques sont rattachés à un défi et classés par défi dans la liste ci-dessous.

Il existe des redondances dans l'énumération des risques et opportunités associés à la biodiversité. Tous ces risques et opportunités sont mentionnés d'une part sous le défi Modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages (par analogie à la structure du rapport) et d'autre part, par souci d'exhaustivité, sous les autres défis, si ces derniers influent sur la biodiversité.

Légende des couleurs



Risque



Opportunité

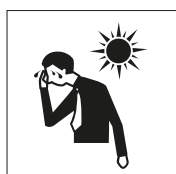


Risque et opportunité

Défi

Risque/Opportunité

Accentuation des fortes chaleurs



● Dégradation de la santé humaine

- Augmentation de la mortalité due aux fortes chaleurs
- Augmentation de la morbidité due aux fortes chaleurs (stress thermique)
- Aggravation des impacts liés à l'ozone du fait de la fréquence accrue des situations de smog estival
- Augmentation du risque de cancer de la peau
- Détérioration de l'état de santé et/ou diminution du bien-être

● Baisse de la productivité au travail

- Baisse de la productivité au travail

● Augmentation du besoin en énergie de refroidissement

- Augmentation du besoin de refroidissement des bâtiments
- Augmentation du besoin de refroidissement des installations industrielles
- Augmentation du besoin de refroidissement dans les transports individuels
- Augmentation du besoin de refroidissement dans les transports publics

● Dégradation de la biodiversité

- Atteintes causées à la faune et à la flore par les fortes chaleurs

Dégradation de la santé des animaux de rente et des animaux de compagnie

- Augmentation de la mortalité des animaux de rente
- Baisse de la fertilité du bétail laitier
- Pertes de rendement dans la production animale
- Augmentation de la mortalité des poissons
- Augmentation des zoonoses
- Hausse des coûts d'approvisionnement en eau potable

Légende des couleurs



Risque



Opportunité



Risque et opportunité

Défi

Risque/Opportunité

Baisse de la production énergétique et industrielle

- Restriction de l'utilisation des centrales thermiques (y compris des centrales nucléaires)
- Diminution de la capacité de refroidissement industriel des cours d'eau
- Diminution de la production d'énergie due à une baisse de rendement

Baisse des rendements agricoles

- Augmentation de la mortalité des jeunes plantes due à la surchauffe de la surface du sol
- Augmentation du stress phytotoxique dû à des concentrations élevées d'ozone dans l'air
- Augmentation des brûlures des plantes dues à l'irrigation

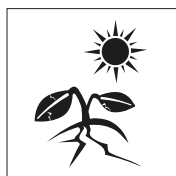
Baisse des rendements forestiers

- Augmentation de la mortalité des jeunes peuplements due à la surchauffe de la surface du sol
- Augmentation du stress phytotoxique dû à des concentrations élevées d'ozone dans l'air

Dégradation des infrastructures énergétiques et de transport

- Dégradation des infrastructures de transport
- Dégradation de la sécurité d'approvisionnement du réseau électrique

Accroissement de la sécheresse



● Baisse des rendements agricoles

- Baisse des rendements agricoles, modification de l'adéquation aux conditions locales
- Réduction de la capacité d'infiltration des sols

● Augmentation du risque d'incendies de forêt

- Diminution de l'effet protecteur de la forêt
- Baisse du rendement de la production de bois
- Dégradation de la fonction de stockage de CO₂ de la forêt
- Dégradation de la fonction récréative de la forêt
- Augmentation des dommages aux bâtiments et aux infrastructures

● Augmentation des pénuries d'eau

- Augmentation des conflits d'utilisation de l'eau
- Augmentation des pénuries d'eau d'usage
- Augmentation des pénuries d'eau potable

● Diminution de la production hydroélectrique estivale

- Diminution de la production hydroélectrique estivale

● Dégradation de la biodiversité

- Pertes de milieux naturels tributaires d'une alimentation hydrique suffisante
- Pertes d'espèces hygrophiles

Dégradation des services écosystémiques forestiers

- Diminution du potentiel d'exploitation du bois

Légende des couleurs



Risque



Opportunité



Risque et opportunité

Défi	Risque/Opportunité
	• Diminution de l'effet protecteur de la forêt
	Limitation de la capacité de transport fluvial
	• Diminution de la capacité de transport fluvial en raison de baisses du niveau d'eau (Rhin) • Dégradation de l'infrastructure d'accès à la mer en raison de baisses du niveau d'eau
	Dépenses pour la potabilisation de l'eau
	• Dépenses pour la potabilisation de l'eau dues à la dégradation de sa qualité

Élévation de la limite des chutes de neige

**Baisse des revenus du tourisme hivernal**

- Hausse des coûts d'enneigement des pistes
- Raccourcissement de la saison de ski
- Fermeture de stations de ski de basse altitude
- Diminution du nombre de nuitées en raison de conditions d'enneigement incertaines
- Baisse du nombre de clients des remontées mécaniques
- Diminution de l'envie de pratiquer les sports d'hiver en raison de l'absence de neige sur le Plateau

**Augmentation de la production énergétique hivernale**

- Augmentation de la production hydroélectrique
- Augmentation du rendement énergétique de la production de chaleur solaire
- Augmentation de la production d'énergie solaire due au raccourcissement de la durée de la couverture neigeuse

**Diminution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige**

- Baisse des coûts de déneigement
- Baisse des coûts d'entretien des routes
- Diminution des dommages aux infrastructures dus aux avalanches (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Diminution des dommages aux bâtiments dus aux avalanches (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Diminution des dommages aux bâtiments et aux infrastructures dus à la pression de la neige
- Diminution des dommages causés par le gel aux infrastructures ferroviaires, aux conduites d'eau et aux infrastructures des bâtiments
- Diminution des dommages aux routes causés par le gel
- Diminution des dommages aux véhicules causés par le gel

**Modification de la composition des espèces et des milieux naturels**

- Déplacement des aires de répartition vers le nord et vers des altitudes plus élevées (apparition de populations relictuelles)
- Modification du paysage (couverture neigeuse, glaciers, limite de la forêt)
- Apparition de nouveaux milieux naturels sur les surfaces libérées par le recul des glaciers

Diminution des accidents dus à la neige

- Diminution des accidents survenant sur des chaussées enneigées
- Diminution des accidents de sports d'hiver

Légende des couleurs



Risque



Opportunité

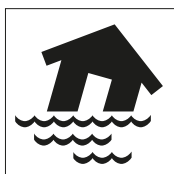


Risque et opportunité

Défi

Risque/Opportunité

Aggravation du risque de crues

● **Augmentation des dommages aux personnes**

- Augmentation du nombre de morts, de blessés et de personnes nécessitant de l'aide
- Dégradation de la santé psychique

● **Augmentation des dommages matériels**

- Augmentation des dommages aux bâtiments (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation des dommages aux infrastructures de communication (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation des dommages aux infrastructures de transport (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation des dommages aux infrastructures d'approvisionnement en énergie (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation des dommages aux infrastructures d'approvisionnement en eau et d'évacuation des eaux (ainsi que des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation des dommages aux autres infrastructures (y compris aux infrastructures de protection contre les crues)
- Augmentation des dommages aux bâtiments et infrastructures causés par les eaux de surface
- Augmentation des dommages aux biens culturels
- Augmentation des dommages aux espaces de détente
- Augmentation des dommages aux véhicules
- Augmentation des dommages aux bâtiments et infrastructures causés par la rupture de poches glaciaires et de glaciers (ainsi que des pertes économiques qu'ils induisent)

● **Modification de la composition des espèces et des milieux naturels**

- Apparition de milieux naturels pionniers après les crues

Dégradation des services écosystémiques forestiers et baisse des rendements agricoles

- Diminution de l'effet protecteur de la forêt
- Baisse des rendements agricoles
- Diminution de la production de bois
- Diminution de la fertilité des sols due au lessivage de nutriments
- Pollution des sols due au lessivage de produits phytosanitaires et d'autres produits toxiques
- Diminution du potentiel agricole en raison de l'érosion
- Dégradation de la fonction récréative des forêts et des espaces verts

Diminution de la production hydroélectrique

- Restrictions d'utilisation de la force hydraulique
- Diminution de la production d'énergie
- Augmentation des dommages aux installations hydroélectriques dus à l'accroissement du potentiel de charriage et à l'apport de matières en suspension
- Diminution de la capacité des bassins de rétention en raison de l'augmentation des dépôts de matériaux charriés et de sédiments

Baisse de la qualité de l'eau

Légende des couleurs



Risque



Opportunité



Risque et opportunité

Défi	Risque/Opportunité
	• Baisse de la qualité de l'eau en cas de déversement d'eaux usées dans des réseaux de canalisations et des bassins de rétention sous-dimensionnés • Pollution due au lessivage de produits phytosanitaires ou d'autres produits toxiques • Pollution de l'eau potable et des eaux souterraines due au lessivage de matières organiques décomposées • Pollution des captages d'eau potable • Dégradation de la qualité des eaux souterraines • Diminution de la recharge naturelle des eaux souterraines en raison des pertes de débits

Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain



● Augmentation des dommages aux personnes

- Augmentation du nombre de morts, de blessés et de personnes nécessitant de l'aide
- Dégradation de la santé psychique

● Augmentation des dommages matériels

- Augmentation des dommages aux bâtiments (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation des dommages aux infrastructures de communication (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation des dommages aux infrastructures de transport (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation des dommages aux infrastructures d'approvisionnement en énergie (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation des dommages aux infrastructures d'approvisionnement en eau et d'évacuation des eaux (ainsi que des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation des dommages aux véhicules
- Augmentation des dommages aux bâtiments et infrastructures à usage touristique (et dommages indirects)
- Augmentation des dommages aux espaces de détente
- Augmentation des dommages aux infrastructures hydroélectriques
- Diminution de la capacité des bassins de rétention en raison de l'augmentation des dépôts de matériaux charriés et de sédiments

Dégradation des services écosystémiques forestiers et baisse des rendements agricoles

- Diminution de l'effet protecteur de la forêt
- Baisse des rendements agricoles
- Diminution de la production de bois
- Diminution de la fertilité des sols
- Dégradation de la fonction récréative des forêts et des espaces verts

Modification de l'activité des tempêtes et de la grêle



● Augmentation ou diminution des dommages aux personnes

- Augmentation ou diminution du nombre de morts, de blessés et de personnes nécessitant de l'aide

● Augmentation ou diminution des dommages dus aux tempêtes

- Augmentation ou diminution des dommages aux bâtiments (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation ou diminution des dommages aux infrastructures de communication (et des pertes économiques qu'ils induisent)

Légende des couleurs



Risque



Opportunité



Risque et opportunité

Défi

Risque/Opportunité

- Augmentation ou diminution des dommages aux infrastructures de transport (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation ou diminution des dommages aux infrastructures d'approvisionnement en énergie (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation ou diminution de l'effet protecteur de la forêt et des dommages indirects qui en découlent
- Augmentation ou diminution du potentiel d'exploitation du bois, et impacts indirects sur le prix du bois
- Augmentation ou diminution des coûts de déblaiement en forêt, de la lutte contre les ravageurs et du rajeunissement des forêts
- Augmentation ou diminution du stockage de CO₂ par les forêts et de l'effet de puits de carbone des surfaces boisées
- Augmentation ou diminution de l'effet de filtre du sol forestier, et impacts sur la disponibilité d'eau potable
- Augmentation ou diminution de la protection contre l'érosion assurée par les surfaces boisées
- Augmentation ou diminution des dommages aux cultures agricoles et aux serres (y compris à leur contenu)
- Augmentation ou diminution de l'efficacité des éoliennes
- Augmentation ou diminution des dommages aux véhicules
- Augmentation ou diminution des dommages aux espaces de détente (en particulier aux forêts)
- **Augmentation ou diminution des dommages dus à la grêle**
- Augmentation ou diminution des dommages aux bâtiments (et des pertes économiques qu'ils induisent)
- Augmentation ou diminution des dommages aux véhicules
- Augmentation ou diminution des dommages aux cultures agricoles et aux serres (y compris à leur contenu)
- Augmentation ou diminution des dommages aux infrastructures (et des pertes économiques qu'ils induisent)

Modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages



● Évolution négative de la composition des espèces et des milieux naturels

- Découplage temporel ou spatial d'espèces interdépendantes
- Déplacement des aires de répartition vers le nord et vers des altitudes plus élevées (apparition de populations relictuelles)
- Dégradation de processus d'évolution due à un appauvrissement génétique induit par l'isolement et la diminution de la superficie des milieux naturels
- Dégradation de la biodiversité induite par la diminution, sous l'effet de la hausse des températures moyennes, de la fréquence des phases de circulation thermique dans les lacs
- Dégradation de la pollinisation
- Disparition d'espèces qui disposaient d'un avantage concurrentiel en raison de leur tolérance au gel
- Dégradation des conditions de vie des espèces qui hibernent
- Pertes de milieux naturels qui dépendent d'un approvisionnement en eau suffisant
- Pertes d'espèces hygrophiles
- Éviction d'espèces indigènes par l'arrivée et/ou la propagation d'espèces exotiques envahissantes
- Dégradation de la biodiversité du fait de la propagation d'organismes nuisibles
- Dégradation de la biodiversité du fait de la détérioration de la qualité de l'eau
- Dégradation de la biodiversité du fait de la détérioration de la qualité des sols
- Dégradation de la biodiversité du fait de la détérioration de la qualité de l'air
- Atteintes à la faune et à la flore dues à l'augmentation de la charge thermique

Légende des couleurs

- Risque
- Opportunité
- Risque et opportunité

Défi

Risque/Opportunité

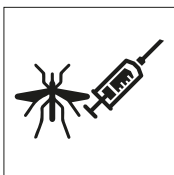
● **Évolution positive de la composition des espèces et des milieux naturels**

- Propagation d'espèces capables de s'adapter et d'espèces généralistes
- Apparition de milieux naturels pionniers après les crues
- Propagation d'espèces ayant besoin d'écosystèmes secs pour survivre
- Augmentation de la biodiversité sous l'effet de la fréquence accrue des incendies de forêt
- Apparition de nouveaux milieux naturels sur les surfaces libérées par le recul des glaciers
- Augmentation du nombre de générations par an du fait de l'allongement de la période de végétation

Évolution de l'attrait du paysage

- Modification du paysage (couverture neigeuse, glaciers, limite des forêts)
- Perte d'attractivité des activités en montagne en raison de l'augmentation des catastrophes naturelles

Propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques

● **Dégradation de la santé humaine**

- Prolongation de la saison pollinique des plantes allergéniques
- Propagation des tiques en altitude
- Augmentation des maladies transmises par des vecteurs, par l'eau et par les aliments
- Augmentation de la dissémination des plantes allergéniques
- Augmentation des maladies provenant de régions humides

● **Dégradation de la santé des animaux de rente et des animaux de compagnie**

- Dégradation de la santé des animaux de rente et des animaux de compagnie

● **Baisse des rendements agricoles**

- Baisse des rendements agricoles

● **Dégradation des services écosystémiques forestiers**

- Diminution de l'effet protecteur de la forêt
- Diminution du potentiel d'exploitation du bois

● **Dégradation de la biodiversité**

- Éviction d'espèces indigènes par l'arrivée et/ou la propagation d'espèces exotiques envahissantes
- Dégradation de la biodiversité sous l'effet de la propagation d'organismes nuisibles

Amélioration des conditions locales

● **Diminution du besoin en énergie de chauffage**

- Diminution du besoin en énergie de chauffage sous l'effet de la hausse des températures moyennes

● **Augmentation des revenus du tourisme estival**

- Développement du tourisme estival du fait de la diminution des jours de pluie, de la hausse des températures et de l'allongement de la saison chaude
- Augmentation de l'attractivité des régions de montagne du fait de leur fraîcheur
- Méditerranéisation du climat
- Augmentation de l'attractivité des régions lacustres pendant les vagues de chaleur
- Évolution (positive ou négative) de l'attractivité du paysage

Légende des couleurs



Risque



Opportunité



Risque et opportunité

Défi

Risque/Opportunité

**Hausse des rendements agricoles**

- Évolution positive de l'adéquation des conditions locales à la culture de nouvelles variétés (p. ex. dans la viticulture)
- Hausse des rendements agricoles sous l'effet des températures moyennes accrues
- Augmentation de la disponibilité de biomasse (énergie)

**Modification de la composition des espèces et des milieux naturels**

- Modification du paysage (couverture neigeuse, glaciers, limite de la forêt)
- Apparition de nouveaux milieux naturels sur les surfaces libérées par le recul des glaciers
- Propagation d'espèces capables de s'adapter et d'espèces généralistes
- Apparition de milieux naturels pionniers après les crues
- Propagation d'espèces ayant besoin d'écosystèmes secs pour survivre
- Augmentation de la biodiversité sous l'effet de la fréquence accrue des incendies de forêt

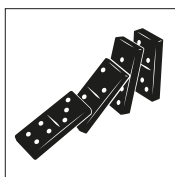
Diminution du nombre de cas de maladies et de décès liés au froid

- Diminution de la mortalité due aux maladies dont la fréquence augmente en hiver
- Diminution de la morbidité due aux maladies dont la fréquence augmente en hiver
- Diminution/augmentation des cas de méningo-encéphalite à tiques (selon la région)

Augmentation du taux de croissance du bois

- Augmentation du potentiel d'exploitation du bois sous l'effet de la hausse des températures moyennes (allongement de la période de végétation)
- Diminution des dommages causés aux forêts par la pression de la neige

Risques wildcards

**Risques difficiles à évaluer**

- Impacts considérables sur la biodiversité et/ou les services écosystémiques en raison du dépassement de points de basculement d'écosystèmes
- Dégradation considérable de la santé humaine du fait de l'apparition de maladies jusqu'alors inconnues ou de nouvelles plantes allergéniques
- Atteintes considérables aux cultures indigènes et à la production animale du fait de l'apparition de nouveaux organismes nuisibles et de la propagation de nouvelles maladies
- Dégradation considérable de la biodiversité en raison de l'apparition de nouvelles espèces envahissantes
- Dommages considérables aux forêts en raison de la propagation de nouveaux organismes nuisibles et de nouvelles maladies
- Dégradation considérable de ressources vitales suite à l'arrêt inattendu et simultané de plusieurs infrastructures critiques
- Dommages considérables dus à l'apparition successive de plusieurs phénomènes dangereux ou aux répétitions inhabituellement nombreuses d'un même phénomène
- Dommages considérables dus à la modification de la circulation des courants ou de certaines situations météorologiques (p. ex. persistance)
- Dommages considérables dus à des effets encore non évalués des chaînes d'impacts entre changements climatiques et dangers naturels (nouveaux modèles de processus, etc.)
- Dommages considérables dus à l'altération du potentiel de régénération de zones touchées par des processus de dangers naturels

Légende des couleurs



Risque



Opportunité

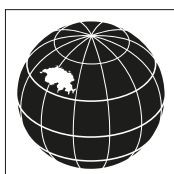


Risque et opportunité

Défi

Risque/Opportunité

Impacts des changements climatiques à l'étranger



Risques indirects

- Augmentation des baisses de revenus dues aux difficultés d'exportation vers des pays exposés aux changements climatiques dont la croissance économique ralentit
- Diminution de la sécurité d'approvisionnement due aux difficultés d'importation (nourriture, fourrage, énergie, matières premières, etc.) à partir de pays exposés aux changements climatiques
- Augmentation des frais de transport en raison de la destruction (due au climat) des infrastructures
- Impacts sur les industries alimentaires, textiles, du bois et du papier dus à la diminution de la productivité de systèmes agricoles et sylvicoles situés à l'étranger
- Augmentation de la demande de capitaux pour financer des mesures d'adaptation et d'atténuation
- Diminution de la stabilité politique et de la sécurité internationale
- Augmentation des impacts positifs ou négatifs liés aux flux migratoires induits par le climat
- Augmentation de la demande en matière de coopération au développement et d'aide en cas de catastrophe (après des événements extrêmes)
- Augmentation de la volatilité des prix des produits agricoles
- Augmentation des risques liés aux investissements exposés au climat

Opportunités indirectes

- Augmentation des revenus du tourisme (fraîcheur estivale, relative sécurité d'enneigement)
- Augmentation de la demande de services de réassurance
- Augmentation des revenus tirés de l'exportation de mesures de protection du climat et d'adaptation (ingénierie, planification)
- Augmentation des revenus que les centrales suisses de pompage tirent de la compensation des fluctuations de la production d'électricité d'origine éolienne et solaire à l'étranger

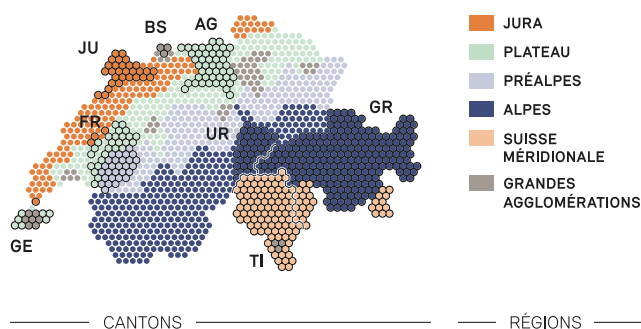
A2 Méthodologie

En 2010, parallèlement à l'élaboration de la stratégie d'adaptation, l'OFEV a confié à un partenaire externe la tâche d'élaborer une méthode permettant de répertorier les risques et opportunités existant en Suisse, de les évaluer selon des critères uniformes et de comparer le rôle qu'ils jouent dans les différents secteurs. Du fait de la diversité topographique de la Suisse et des particularités de ses zones densément peuplées, six grandes régions ont été définies pour cette analyse et chaque grande région a fait l'objet d'une à deux études de cas menées selon cette méthode (fig. 59).

Figure 59

Grandes régions de Suisse et études de cas

Jura (EC6), Plateau (EC1+EC3), Préalpes (EC3), Alpes (EC5 + EC8), Suisse méridionale (EC7), grandes agglomérations (EC2 + EC4)



La présente synthèse se fonde sur ces huit études de cas (EC1 – EC8)²⁶. Dans une première étape, les résultats de ces études ont été transposés aux grandes régions. Dans une deuxième étape, les risques et opportunités répertoriés ont été priorisés sur la base de critères supplémentaires. Les études de cas et la synthèse qui en découle reposent donc sur une approche méthodologique uniforme et cohérente.

La méthodologie définie dans les années 2010–2013 pour l'élaboration des études de cas (principales hypothèses posées, conditions-cadres, étapes de travail, etc.) a été décrite en détail (Holthausen et al. 2013a). Cette méthodologie initiale a été développée ponctuellement lors de l'élaboration des huit études de cas. Des adapta-

tions supplémentaires y ont été apportées aux fins de la présente synthèse, et un procédé de priorisation approprié a été appliqué. Ce chapitre présente les principaux aspects de la méthodologie initiale qui sont pertinents pour la synthèse ainsi que les approches méthodologiques qui ont été adoptées par la suite.

A2.1 Utilisation des scénarios climatiques

Pour mettre en évidence tout l'éventail possible des impacts liés au climat, les études de cas, à l'instar de la stratégie d'adaptation aux changements climatiques, se sont fondées sur deux scénarios d'évolution du climat : le scénario « Changements climatiques de faible amplitude », qui correspond au scénario d'émissions RCP3PD du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), et le scénario « Changements climatiques de grande amplitude », qui correspond au scénario d'émissions A1B²⁷ du même groupe d'experts. La présente synthèse tient exclusivement compte du scénario « Changements climatiques de grande amplitude » et des risques et opportunités qui en ont été déduits dans les études de cas.

Le scénario d'émissions A1B (*business as usual* – évolution des émissions mondiales sans changement de la politique actuelle) part du principe que les émissions mondiales augmenteront au même rythme qu'aujourd'hui jusqu'en 2050 et qu'elles ne reculeront qu'à partir de la deuxième moitié du siècle. Au vu de l'évolution actuelle de la politique climatique internationale et des émissions mondiales de gaz à effet de serre, ce scénario peut être considéré comme réaliste à pessimiste. Un scénario climatique pour la Suisse a ensuite été calculé sur cette base sous la direction de MétéoSuisse et de l'EPFZ (CH2011 2011). Il décrit, pour les quatre saisons, l'évolution attendue des températures et des précipitations entre « aujourd'hui » (moyenne de la période 1980–2009) et « 2060 » (moyenne de la période 2045–2074). L'évolution de ces paramètres est indiquée par des plages de valeurs qui illustrent les incertitudes liées aux modèles climatiques utilisés.

Le scénario « Changements climatiques de grande amplitude » ne repose pas sur les valeurs moyennes de ces

²⁶ Les titres abrégés des huit études de cas sont indiqués à la fin du chapitre 1.

²⁷ Ces deux scénarios sont décrits au chapitre 2 du plan d'action du Conseil fédéral (OFEV 2014a).

A2.2 Identification des risques et des opportunités

Dans le cadre de la méthodologie élaborée pour l'analyse des risques, on a identifié 17 aléas et effets dont les manifestations sont susceptibles d'évoluer sous l'influence des changements climatiques. Le terme d'aléa désigne des phénomènes naturels ayant un caractère épisodique, tels que les crues, les avalanches ou les vagues de chaleur, alors que celui d'effets désigne les évolutions lentes telles que l'élévation des températures moyennes ou la modification graduelle du régime des précipitations. On a par ailleurs répertorié neuf secteurs – appelés « domaines d'impact » – dans lesquels les aléas et effets sont susceptibles d'avoir des conséquences. Afin d'assurer l'exhaustivité et la systématique de l'analyse des risques et opportunités liés au climat, une matrice de pertinence a été établie pour chacune des régions faisant l'objet d'une étude de cas (fig. 60).

La matrice de pertinence permet de répertorier les combinaisons qui créent des risques ou des opportunités (en gris dans la fig. 60), pour ensuite les analyser de manière approfondie dans le cadre des études de cas. Par risque, on entend le produit de la probabilité de survenance d'un évènement et de l'ampleur des dommages qu'il provo-

querait. Par opportunité, on entend le produit de la probabilité de survenance d'un évènement et des avantages qu'il apporterait.

Les études de cas ont chacune déterminé, d'une part, les risques et opportunités actuels (sur la base des données climatiques relatives à la période 1980 – 2009 et des données socio-économiques relatives à l'année 2010 environ) et, d'autre part, les risques et opportunités à l'horizon 2060 (sur la base des données climatiques relatives à la période 2045 – 2074 et des données socio-économiques relatives à l'année 2010²⁸ environ). Les risques et opportunités découlant des changements climatiques (aussi appelés risques et opportunités liés au climat) correspondent à la différence entre les risques et opportunités à l'horizon 2060 et les risques et opportunités actuels. Le présent rapport de synthèse évalue toujours les risques et opportunités en se fondant sur cette différence. La seule exception est constituée par les risques liés aux tempêtes et à la grêle : faute de projections climatiques suffisamment probantes, on se base alors sur les risques actuels.

28 Pour de plus amples informations sur la prise en compte de l'évolution socio-économique jusqu'en 2060, voir annexe A2.3.

Tableau 3

Les défis des changements climatiques

Dans la présente synthèse	Dans la stratégie d'adaptation de la Confédération (OFEV 2012b)
Accentuation des fortes chaleurs (chap. 3)	Accentuation des fortes chaleurs dans les agglomérations et les villes
Accroissement de la sécheresse (chap. 4)	Accroissement de la sécheresse estivale
Élévation de la limite des chutes de neige (chap. 5)	Élévation de la limite des chutes de neige
Aggravation du risque de crues (chap. 6)	Aggravation du risque de crues
Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain (chap. 7)	Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain
Modification de l'activité des tempêtes et de la grêle (chap. 8)	[Non traité]
Dégradation de la qualité de l'eau, des sols et de l'air (les risques prioritaires sont rattachés à d'autres défis) (chap. 9)	Dégradation de la qualité de l'eau, des sols et de l'air
Modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages (ensemble des impacts sur la biodiversité, y compris ceux rattachés à d'autres défis) (chap. 10)	Modification des milieux naturels, de la composition des espèces et des paysages
Propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques (chap. 11)	Propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques
Amélioration des conditions locales (opportunités) (chap. 12)	[Non traité]
Risques wildcards (chap. 13)	[Non traité]
Impacts des changements climatiques à l'étranger (chap. 14)	[Non traité]

Contrairement aux études de cas, qui présentent les risques et opportunités par domaine d'impact (approche sectorielle), la présente synthèse s'appuie davantage sur la stratégie du Conseil fédéral en ce sens qu'elle regroupe les risques et opportunités par défi. Les défis en question sont décrits selon une approche transversale dans le premier volet de la stratégie (OFEV 2012b, cf. chapitre 2). Dans la présente synthèse, on a toutefois, dans six cas, soit introduit un nouveau défi, soit adapté la désignation d'un défi existant afin que tous les risques et opportunités répertoriés puissent être couverts (cf. chapitre 2).

A2.3 Évaluation et priorisation des risques et des opportunités

Dans les études de cas, on a estimé quantitativement les risques et opportunités lorsque cela était possible (estimation monétarisée). Lorsque cela ne l'était pas, on les a estimés qualitativement. Pour chaque étude de cas, la plausibilité des estimations effectuées a été examinée par des experts lors d'un atelier ainsi que lors de la validation du rapport final. Au cours d'une étape ultérieure, les résultats des études de cas ont été transposés aux grandes régions correspondantes. Cette extrapolation est décrite dans le rapport méthodologique (Holthausen et al. 2013a).

La synthèse regroupe les résultats obtenus tant à l'échelon des grandes régions qu'à celui des régions ayant fait l'objet des études de cas. Pour certains dangers naturels tels que les crues et les mouvements de terrain, on a pris en compte les événements centennaux; pour des changements plus lents tels que l'évolution de la température moyenne et du régime des débits, on s'est fondé sur la valeur attendue chaque année. Une analyse de la littérature spécialisée et des consultations d'experts ont en outre été menées afin de compléter la liste des risques et opportunités identifiés lors des études de cas, de manière à répertorier de façon aussi exhaustive que possible les risques et opportunités pertinents pour la Suisse. C'est ainsi qu'a été établie la liste détaillée figurant à l'annexe A1.

Pour pouvoir comparer entre eux les résultats obtenus pour les différents secteurs et grandes régions, on a utilisé une échelle qualitative à trois niveaux: augmentation faible / modérée / importante du risque ou de l'opportu-

nité. Pour la transposition aux grandes régions des évaluations quantitatives des risques et opportunités issues des études de cas, l'échelle a été adaptée à chacune des grandes régions concernées. Par exemple, la concentration de valeurs et de population est beaucoup plus élevée dans les grandes agglomérations que dans les Préalpes. De ce fait, un risque sera considéré comme important dans les Préalpes s'il représente une valeur attendue de plus de 15 millions de francs, alors que dans les grandes agglomérations, il devra atteindre au moins 100 millions de francs pour se voir attribuer le même qualificatif. Si l'on prend les risques d'événements centennaux, les seuils augmentent d'un facteur 5.

Bien que les huit études de cas reposent sur une méthodologie uniforme, leur évaluation des différents risques et opportunités ne saurait être reprise et comparée sans réflexion. D'une part, parce que certains aspects de la méthodologie ont été approfondis entre la première et la dernière étude de cas; d'autre part, parce que les auteurs des différentes études ne sont pas les mêmes et qu'ils ont utilisé des ensembles de données en partie différents, posé des hypothèses qui n'étaient pas forcément les mêmes, et recouru aux avis d'experts qui n'étaient pas non plus forcément les mêmes. L'échelle à trois niveaux mentionnée plus haut et l'évaluation des risques et opportunités selon cette échelle ont donc été plausibilisées et au besoin adaptées par les auteurs des études de cas ainsi que par d'autres experts issus des milieux scientifiques et de l'administration (cf. annexe A2.4).

L'étape suivante a consisté à prioriser les risques et opportunités. À cet effet, l'évaluation qualitative des risques et opportunités a été complétée par cinq autres critères dotés d'une pondération moins élevée que celle liée aux changements climatiques (pondération supérieure à 40 %).

La nécessité de prendre en compte d'autres critères pour la priorisation découle du fait que l'acceptation d'un risque par la société peut varier et que d'autres facteurs d'influence peuvent accroître ou réduire les risques et opportunités liés au climat et influencer sur la mise en œuvre des mesures d'adaptation qui s'y rapportent. Les critères supplémentaires pris en compte dans l'évaluation sont les

suivants (leur pondération arrondie a été ajoutée entre parenthèses) :

- l'irréversibilité d'un dommage potentiel (20 %) ;
- le fait que des infrastructures critiques puissent être touchées (10 %) ;
- l'influence des évolutions socio-économiques (10 %) ;
- les conflits d'intérêts ou les synergies potentiels (10 %) ;
- la capacité d'adaptation du système concerné (10 %).

Irréversibilité d'un dommage potentiel : le critère de l'irréversibilité d'un dommage potentiel n'est pertinent que pour les risques. Trois possibilités ont été envisagées : en cas de matérialisation du risque, le dommage peut être entièrement réparé (réversible) / il peut être en partie réparé / il ne peut pas être réparé (irréversible).

Fait que des infrastructures critiques puissent être touchées : ce critère n'a lui aussi de sens que pour les risques. Trois possibilités ont été envisagées : en cas de matérialisation du risque, les dommages aux infrastructures critiques attendus sont inexistant/isolés/étendus. L'évaluation du risque sur la base de ces deux premiers critères a été effectuée par les auteurs des études de cas et par l'OFEV.

Influence des évolutions socio-économiques : ce critère est pertinent pour tous les risques et toutes les opportunités. Il a été subdivisé en cinq niveaux : les changements socio-économiques sont susceptibles d'accroître ou de réduire le risque ou l'opportunité de plus d'un ordre de grandeur/de moins d'un ordre de grandeur/ils ne peuvent pas le/la modifier. Pour évaluer ce paramètre, on a utilisé les résultats des études de cas, car dans ces dernières, les changements socio-économiques ont été pris en compte séparément, par exemple au moyen de scénarios d'évolution de la population.

Conflits d'intérêts ou synergies potentiels : ce critère est lui aussi pertinent aussi bien pour les risques que pour les opportunités. Il a été subdivisé en cinq niveaux et évalué par les auteurs des études de cas ainsi que par l'OFEV sur la base des risques et des opportunités, et éventuellement aussi des mesures d'adaptation. Les cinq niveaux pris en compte sont les suivants :

- apparition de nouveaux conflits d'intérêts et aggravation de conflits d'intérêts existants ;
- aggravation de conflits d'intérêts existants, mais pas de nouveaux conflits ;
- pas d'aggravation significative des conflits d'intérêts existants ;
- atténuation des conflits d'intérêts existants ou apparition de nouvelles synergies ;
- atténuation significative des conflits d'intérêts existants ou apparition de nouvelles synergies significatives.

Capacité d'adaptation du système concerné : la capacité d'adaptation a été évaluée à l'aide de six facteurs. Cette évaluation repose sur un travail de recherche indépendant mené sur mandat de l'OFEV (Jörin et al. 2016) et portant sur la question de savoir s'il existe des obstacles à l'adaptation en Suisse dans les domaines des connaissances, de la motivation, des structures juridiques, de la technologie, des finances et des structures institutionnelles. Dans le cadre de ce travail, des experts ont évalué ces facteurs sur une échelle à cinq niveaux. Pour l'évaluation des risques dans le cadre de la synthèse, les niveaux de l'échelle ont été regroupés par deux, de sorte qu'il n'en est plus resté que trois (faible/moyen/élevé).

L'évaluation de ces critères additionnels pour chaque risque et opportunité a été effectuée de façon uniforme pour toute la Suisse et est de ce fait identique pour chaque grande région. Les évaluations des risques et opportunités découlant des changements climatiques et des autres critères ont ensuite été agrégées. Le classement final en risques et opportunités prioritaires ou non prioritaires a été effectué sur la base d'un seuil. Le résultat – la liste des risques prioritaires – a été plausibilisé et vérifié par des experts issus des milieux scientifiques et de l'administration, ce qui a entraîné des modifications ponctuelles de la priorisation (indépendamment de la question de savoir si le seuil avait été atteint ou non). 29 risques et opportunités ont été identifiés comme prioritaires à partir de la liste complète des risques et opportunités, qui comporte une cinquantaine d'éléments.

Pour l'évaluation, à l'aide des critères additionnels décrits ci-dessus, des risques et opportunités découlant des

changements climatiques et pour leur priorisation subséquente, on a choisi une procédure uniforme et systématique pouvant être appliquée comme une recette. Les évaluations et les priorisations ainsi effectuées ont été analysées et vérifiées par de nombreux experts, ce qui a entraîné de nouvelles adaptations. De ce fait, le résultat ne correspond plus en tous points à la procédure uniforme initialement définie, mais il donne un tableau cohérent et consolidé du paysage suisse des risques.

A2.4 Implication d'experts

Comme cela a été mentionné plus haut, plusieurs phases du processus de préparation, d'analyse et de synthèse reposent sur le recours à un vaste panel d'experts. C'est l'un des points forts de cette analyse des risques.

Des experts issus des administrations cantonales, mais aussi des milieux scientifiques et de bureaux privés ont apporté leur concours à l'élaboration des études de cas ainsi qu'au processus de transposition des résultats de ces études aux grandes régions. Ces experts ont participé à des ateliers et ont été consultés pour clarifier des questions techniques spécifiques. Pour la vérification des rapports finaux, on a fait appel à des spécialistes des cantons et de la Confédération ainsi qu'à certains scientifiques.

De nombreux experts ont également participé à l'élaboration de la synthèse :

- l'évaluation des risques et opportunités à l'échelle des grandes régions a été plausibilisée lors d'un atelier avec les auteurs des études de cas, afin de permettre une comparaison entre ces régions ;
- l'exhaustivité de la liste des risques et opportunités, de même que l'évaluation de ces risques et opportunités (et en particulier les adaptations effectuées lors de l'atelier), ont été vérifiées au moyen d'entretiens téléphoniques avec des experts de la Confédération, des cantons et des assurances ;
- des scientifiques ont donné un retour d'information écrit sur l'exhaustivité de la liste des risques et opportunités, sur l'évaluation des risques et opportunités et sur la priorisation effectuée ;
- des spécialistes de la Confédération et de deux bureaux privés ont pris position au sujet du présent rapport ;
- durant l'élaboration de la synthèse, différents spécialistes de la Confédération et de ProClim, de même que des scientifiques, ont été consultés à propos de problématiques spécifiques, de certaines évaluations et de la priorisation des risques et opportunités.

Quelque 360 experts ont mis leurs connaissances au service de l'élaboration de la méthodologie, des études de cas et de la synthèse. 75 d'entre eux ont participé à l'élaboration du présent rapport, près de 290 à celle des huit études de cas. Sur ces quelque 360 experts, 200 environ représentent les pouvoirs publics (Confédération, cantons et communes), une cinquantaine les milieux scientifiques et 110 environ des associations, des entreprises et des bureaux de conseil et d'ingénieurs. Les noms de toutes ces personnes sont indiqués à l'annexe A3.

A2.5 Limites de la méthodologie utilisée et de la portée des résultats obtenus

Les prévisions concernant l'évolution de systèmes complexes sur de longues périodes comportent forcément des incertitudes (cf. chapitre 15).

Du fait de la non-disponibilité de certains ensembles de données et d'une compréhension insuffisante de certains processus, des hypothèses simplifiées ont dû être posées dans les études de cas, sur la base d'avis d'experts. Par ailleurs, les régions faisant l'objet des études de cas diffèrent fortement les unes des autres par leur taille et par leur homogénéité, ce qui peut avoir des répercussions sur la robustesse des résultats. Plus le territoire concerné était petit, plus le degré de spécificité des données et estimations intégrées dans l'étude a pu être élevé. Les hypothèses, les inexactitudes, les incertitudes et les estimations ont été présentées de façon transparente dans les rapports relatifs aux études de cas. Ces éléments peuvent ainsi être pris en compte lors de l'interprétation des résultats (y compris pour la synthèse) et, le cas échéant, adaptés aux nouvelles connaissances.

L'objectif de l'analyse des risques est de déterminer les risques et opportunités liés aux changements climatiques. C'est la raison pour laquelle la situation que nous connaissons aujourd'hui a été comparée avec la situation qui, à l'horizon 2060, découlerait du scénario « Changements climatiques de grande amplitude » en l'absence

de modifications des paramètres socio-économiques et sans mise en œuvre de mesures d'adaptation. L'évolution socio-économique (l'un des critères supplémentaires, cf. annexe A2.3) a été prise en compte séparément. Elle est susceptible de renforcer une opportunité ou d'aggraver un risque de façon déterminante, si bien qu'il faut en tenir compte dans la planification des mesures d'adaptation.

L'analyse des risques n'a pas pour objectif de comparer l'influence des changements socio-économiques à celle des changements climatiques. Elle vise à déterminer les besoins d'adaptation actuels, et pour cela ne tient pas compte des mesures d'adaptation, même lorsqu'elles sont très faciles à mettre en œuvre. Seules certaines mesures d'adaptation « autonomes » – p.ex. irrigation accrue au moyen d'une installation d'irrigation existant déjà – ont été prises en compte.

Il n'a pas été effectué de projections, de simulations ou d'études d'impact supplémentaires aux fins de l'analyse des risques. Les études de cas et la synthèse fournissent des résultats tirés de la littérature spécialisée, des données disponibles et des estimations d'experts.

Les risques et opportunités à l'horizon 2060 constituent le principal résultat de l'analyse des risques. Le moment auquel les impacts des changements climatiques atteindront une ampleur qui rendra une intervention nécessaire peut toutefois varier grandement d'une situation à l'autre. L'importance des risques et opportunités dépend donc fortement du moment considéré. C'est un fait dont il faut tenir compte lors de l'interprétation des résultats.

Les études de cas et la synthèse permettent de comparer les risques et les opportunités pour en déduire les priorités de l'adaptation. À cette fin, l'analyse des risques et opportunités telle que présentée ici est suffisante. Le présent rapport est principalement axé sur l'évaluation et la priorisation des risques et opportunités, non sur le besoin d'agir et les mesures possibles. L'évaluation et la planification de mesures (p.ex. dans le contexte de la gestion d'une situation concrète de dangers naturels) requièrent une analyse détaillée tenant compte des spécificités locales.

A3 Listes

A3.1 Experts

Les experts cités ci-dessous ont apporté leur concours à l'analyse des risques au travers des connaissances qu'ils ont apportées et des avis qu'ils ont donnés. Les auteurs les remercient vivement de leur engagement.

Experts ayant participé à l'élaboration de la présente synthèse (et parfois aussi à celle des études de cas)

Aschwanden Hugo (OFEV), Bachmann Andreas (OFEV), Bernasconi Angelo (IFEC ingegneria SA), Bezzola Gian Reto (OFEV), Billeter Regula (ZHAW), Binz Andreas (canton de Fribourg), Brang Peter (WSL), Bresch David (Swiss Re), Bugmann Harald (WSL), Burkhardt Andrea (OFEV), Butterling Melanie (ARE), Croci-Maspoli Mischa (MétéoSuisse), Eberli Josef (OFEV), Eichenberger Nicolas (canton du Jura), Felder Daniel (OFAG), Filliger Paul (OFEV), Fischer Andreas (MétéoSuisse), Füssler Jürg (INFRAS), Gehrig Regula (MétéoSuisse), Girard Céline (CSD), Gutzwiller Lukas (OFEN), Haeberli Wilfried (Université de Zurich), Hama Michiko (MétéoSuisse), Hauser Ruth (OSAV), Hofmann Christine (OFEV), Hohmann Roland (OFEV), Holtausen Niels (EBP), Huggel Christian (Université de Zurich), Kläy Matthias (OFEV), Kleppek Sabine (OFEV), Kotlarski Sven (MétéoSuisse), Küchler Meinrad (WSL), Küchli Christian (OFEV), Kull Christoph (OcCC), Lattion Mireille (SECO), Lehmann Therese (Université de Berne), Locher Peter (EBP), Losey Stéphane (OFEV), Mani Peter (Geo7), Manser Rolf (OFEV), Martin David (SOFIES), Mini Luca (Egli Engineering AG), Müller Lea (Swiss Re), Müller Stephan (OFEV), Neu Urs (ProClim), Nötzli Jeanette (SLF), Piguet Étienne (Université de Neuchâtel), Plüss Therese (OFEV), Probst Thomas (OFEV), Reinhard Michael (OFEV), Rösli Martin (Swiss TPH), Rössler Ole (Université de Berne), Romang Hans (OFEV), Salzmann Nadine (Université de Fribourg), Sandri Arthur (OFEV), Scapozza Carlo (OFEV), Schäppi Bettina (INFRAS), Schärpf Carolin (OFEV), Scherrer Simon (MétéoSuisse), Schlumpf Christoph (SECO), Schmocker-Fackel Petra (OFEV), Schwierz Cornelia (MétéoSuisse), Stähli Ruedi (OFEV), Stöckli Reto (MétéoSuisse), Stöckli Sibylle (FiBL), Stöckli Veronica (Bergwelten 21), Stockmann Reto (assurance bâtiments du canton des Grisons), Tschanz Karl (canton de Zurich), Urbinello Damiano (OFSP), Voehringer Frank (EPFL), Walther Gian-Reto (OFEV), Werner Christoph

(OFPP), Zahner Samuel (OFEV), Zoller Martina (OFEV), Zubler Elias (MétéoSuisse)

Experts ayant participé à l'élaboration des études de cas et/ou de la méthodologie

Abbet Pascal (Services industriels de Genève), Abderhalden Michele (canton du Tessin), Abt Marianne (SECO), Aemisegger Silvan (canton de Bâle-Ville), Aeschlimann David (canton de Fribourg), Ambrosi Christian (SUPSI), Ammann Walter (GRF Davos), Ammann Markus (OFT), Amrein Dominik (canton de Bâle-Ville), Andres Norina (WSL), Annen Beat (canton d'Uri), Antonucci Alessandro (SUPSI), Arnold Adi (ARE), Aubert Marie-Sophie (canton de Genève), Aubron Daniel (Inddigo), Azzimonti Laura (SUPSI), Bader Stefan (MétéoSuisse), Bader Simone (OFPP), Baggi Stefano (IFEC ingegneria SA), Bal Bernard (Asters, Conservatoire d'espaces naturels de Haute-Savoie), Baltzer Philippe (canton d'Argovie), Barben Martin (OFEV), Barelli Ean (CFF), Barras Charles (Ticino Turismo), Barudoni Nicola (Ticino Sentieri), Bassi Giorgio (canton du Tessin), Baumer Andrea (Ofima), Beck Rémy (canton de Genève), Berlocher Florentin (canton de Genève), Bernasconi Matteo (canton du Tessin), Besomio Lorenzo (canton du Tessin), Betschart Mario (INFRAS), Beuret Bernard (Fondation Rurale Interjurassienne), Beurret Bruno (canton de Genève), Bigatto Marco (AIL), Blaser Lilian (EBP), Blumer Peter (assurance bâtiments du canton de Bâle-Ville), Bondolfi Anahide (SOFIES), Bonetti Pius (Andermatt), Bongard Nicolas (canton de Genève), Boschung Serge (canton de Fribourg), Bouvier Léo (canton de Genève), Bouvier-Gallacchi Martine (canton du Tessin), Bozzolo Dario (IFEC ingegneria SA), Braun-Fahrländer Charlotte (Swiss TPH / Université de Bâle), Brelot Elodie (Groupe Rhône-Alpes sur les infrastructures de l'eau), Broggin Michele (AIL), Brulfert Guillaume (Air Rhône-Alpes), Brülhart Pierre (canton du Jura), Bründl Michael (SLF), Brunner Peter (ASA), Brunot Gilles (Météo France), Bühler Ueli (canton des Grisons), Cadlolo Timo (Ticino Turismo), Caflisch Michael (canton des Grisons), Calonder Beat (canton des Grisons), Carattini Ivano (canton du Tessin), Carrière Florent (Hélianthe), Carvajal Maria Inés (canton d'Argovie), Cattaneo Carlo (AIL), Caviezel Mevina (CFF), Ceschi Pier Angelo (SES), Chaix Christophe (Mission Développement Prospective), Chanel Michel (Syndicat Intercommunal d'énergie et de e-communication de l'Ain), Charpié-Pruvost Marion

(Association Régionale de Coopération du Genevois), Charvet Élodie (Communauté de Communes du Genevois), Cheda Francesca (canton de Fribourg), Christin Hubert (Haute-Savoie), Christinet Nadia (canton de Vaud), Ciani Andrea (IFEC ingegneria SA), Combe Guillaume (Conseil général de la Haute-Savoie), Conedera Marco (WSL), Cornaglia Laurent (Maneco), Crinari Christian (canton du Tessin), Darazs Olga (CSD), David Roland (canton du Tessin), de Haan van der Weg Peter (EBP), De Siebenthal Yves (Services industriels de Genève), Degiorgi Paolo (OFAG), Delabays Nicolas (canton de Genève), Dematte Simona (police cantonale de Bâle-Ville), Deneuille Antoine (Haute-Savoie), Destinobles Réginald (canton de Genève), Diallo Thierno (Université de Genève), Dietrich Eric (la Mobilière), Domeniconi Raffaele (SSIGE/VSA), Duplan Sylvie (Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses abords), Egli Thomas (Egli Engineering AG), Egloff Urs (canton d'Argovie), Eichenberger Nicolas (canton du Jura), Erdin Daniel (Union suisse des paysans), Ernst Philipp (canton d'Uri), Eschmann Patrice (canton du Jura), Eyer Willy (canton de Fribourg), Faessler Jérôme (Université de Genève), Fährndrich David (EDJ), Fauvain Hervé (canton de Genève et ARC Syndicat mixte), Fehr Remo (canton des Grisons), Feitknecht Adriano (Messeria Ramello), Feitknecht Ulrico (Federazione Ticinese produttori di latte), Feltscher Markus (Fondation de prévention des établissements cantonaux d'assurance), Fernex Jeanne (CSD), Fernex Jean (canton du Jura), Ferrari Loris (canton du Tessin), Ferreti Sylvain (canton de Genève), Fischli Michael (IFEC ingegneria SA), Flück Andreas (canton de Bâle-Ville), Flury Stefan (canton d'Uri), Forni Diego (canton du Tessin), Fournier Rémi (Office national des forêts, France), Fouvy Patrick (canton de Genève), Frei Christoph (MétéoSuisse), Freiburghaus Matthias (SSIGE), Fuhrer Jürg (Agroscope), Furger Beat (canton d'Uri), Gaia Marco (MétéoSuisse), Gambin Nolvonn (canton du Jura), Gasser Hans (canton des Grisons), Gattoni Milko (ESI), Genini Sem (Unione Contadina ticinese), Gerber Jacques (canton du Jura), Gerber Basil (OFEV), Gerber-Schori Yolande (canton de Fribourg), Gertsch Eva (OFEV), Ghidossi Patrizio (Ufficio coordinamento CMSC Ticino), Giochen Bearth (canton des Grisons), Girandier Bruno (Communauté de Communes du Pays de Gex), Giulliani Silvano (Union suisse des paysans), Goldstein Beat (OFEN), Graf Andrea (SUPSI), Greminger Peter (OFEV), Grossniklaus Simon (canton d'Argovie), Grütter Marco

(Fonds suisse de secours pour dommages non assurables), Guidi Valeria (LMA, SUPSI), Hannes Jenny (canton des Grisons), Hofmann Martin (canton de Bâle-Ville), Hofstetter Marold (Ofima), Hohl Markus (OFPP), Hussenot Vincent (Prioriterre Haute-Savoie), Infanger Remo (CKW), Jäger Sascha (Kraftwerk Birsfelden), Jann Marcel (canton d'Uri), Jermini Mauro (Agroscope), Joerin Christophe (canton de Fribourg), Kern Theo (Aargauischer Landwirtschaftsverband), Knechtle Philippe (canton de Fribourg), Kohli Dominique (OFAG), Kolb Daniel (canton d'Argovie), Kräuchi Norbert (canton d'Argovie), Kunz Pierre (canton de Genève), Kuszli Charles-Antoine (Université de Genève), Lachat Jean-Paul (canton du Jura), Lanfranchi Marco (canton des Grisons), Lavallez Catherine (Université de Lausanne), Lehmann David (CSD), Leuthard Werner (canton d'Argovie), Leuthold Rudolf (canton des Grisons), Lienert Christophe (canton d'Argovie), Linder Basso Daniela (canton du Tessin), Liniger Mark (MétéoSuisse), Linsbauer Andreas (GIUZ), Lötscher Hanspeter (canton des Grisons), Lötscher Andrea (canton des Grisons), Luminet Anne (RhônAlpEnergie Environnement), Lusti Hansueli (Suisse Grêle), Luzi Valentin (canton des Grisons), Mameli Giampaolo (AIL), Margreth Stefan (SLF), Mariéthoz Tristan (canton de Vaud), Mariniello Mario (canton du Jura), Martignoni Agnese (IFEC ingegneria SA), Mathys Christian (canton de Bâle-Ville), Meier Rolf (canton d'Argovie), Meier Thomas (Hardwasser AG), Mollier Sandra (canton de Genève), Monico Cristina (Azienda Moncucchetto), Monin Grégoire (CSD), Monn Guido (Matterhorn Gotthard Bahn), Moradpour Eloïse (CSD), Morier Alain (canton d'Argovie), Moser Mirco (canton du Tessin), Moser Hans-Ruedi (cantons de Bâle-Ville et Bâle-Campagne), Müller René (canton d'Argovie), Müller Matthias (canton d'Argovie), Murbach Franz (OFS), Murri Marcel (canton d'Argovie), Neher Robert (canton de Bâle-Ville), Niffeler Urs (canton d'Argovie), Notari Nicola (IFEC ingegneria SA), Overney Olivier (OFEV), Parlow Eberhard (Université de Bâle), Pasquini François (canton de Genève), Passardi Michele (Consavis SA), Patocchi Nicola (Fondazione Bolle di Magadino), Paupe Monique (ECA Jura), Pedrazzini Roberto (CFF), Perch-Nielsen Sabine (EBP), Peyer Marco (canton d'Argovie), Pfändler Sascha (IWB), Pitozzi Sandro (canton du Tessin), Pourraz Cécile (Syndicat des énergies et de l'aménagement numérique de Haute-Savoie), Pozzoni Maurizio (SUPSI), Prina Alexandre (canton de Genève), Pronini Roberto (AET),

Püntener Richard (canton d'Uri), Pütz Marco (WSL), Quartenghi Stefano (CDV), Rampazzi Filippo (Museo cantonale di storia naturale TI), Randlett Marie-Eve (CSD), Re Lorenza (canton du Tessin), Realini Giovanni (CFF), Reisner Yvonne (canton de Bâle-Ville), Renaud Ewa (HEPIA), Rezzonico Francesco (canton du Tessin), Riesen Fabian (AFF), Rivola Christian (RIBO architecture), Rivollet Marion (Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses abords), Rochefort Sophie (HEPIA), Rossini Corrado (AET), Rötheli Patrick (canton d'Argovie), Rummer Erik (IWB), Ruprecht-Martignoli Silvia (OFEV), Saha Dieter (Schweizerische Rheinhäfen), Salvetti Andrea (canton du Tessin), Samson Éléonore (Conseil général de l'Ain), Scapozza Cristian (SUPSI), Scarselli Miriva (canton de Bâle-Ville), Scerpella Fiorenzo (AET), Schädler Bruno (Université de Berne), Schaeffer Mireille (Centre Régional de la Propriété Forestière de Rhône-Alpes), Schaltegger Ernst (InnovaBridge Foundation), Schär Christoph (EPFZ), Schaub Daniel (canton d'Argovie), Schaub Yvonne (GIUZ), Schmid David (canton des Grisons), Schönenberger Nicola (InnovaBridge Foundation), Schreiber Guido (canton d'Uri), Schwager Franziska (canton de Bâle-Ville), Soldini Camilla (canton du Tessin), Sommer Markus (canton de Bâle-Ville), Spycher Boris (canton des Grisons), Stadler Andrea (canton des Grisons), Stal Marc (GRF Davos), Stefanoto Sabine (canton de Genève), Steiner Thomas (Union fribourgeoise du tourisme), Studer Stéphane (CSD), Sturzenegger Daniel (Egli Engineering AG), Svoboda Paul (canton de Bâle-Ville), Szerb Peter (RhônAlpEnergie Environnement), Tallon Léa (CSD), Tarelli Marco (commune d'Altdorf), Thadikkaran-Salomon Lynne (canton de Genève), Thali Urs (Ingenieurbüro Göschenen), Thalmann Philippe (EPFL), Thomann Georg (canton des Grisons), Togni Mauro (canton du Tessin), Tonolla Mauro (LMA, SUPSI), Tufan Ural (canton de Bâle-Ville), Ulrich Alois (canton d'Uri), Valsangiacomo Claudio (SUPSI), Vanomsen Pierre (Egli Engineering AG), Vares Sylvie (Association Régionale de Coopération du Genevois), Veronesi Mauro (canton du Tessin), Villard Hervé (canton de Genève), von Greyerz Salomé (OFSP), Walker Alexander (canton d'Uri), Walker Raimund (canton d'Uri), Wehrli André (DDC), Weibel Martin (Alpiq), Weingardt Frank (assurance bâtiments du canton d'Argovie), Weirich Nicolas (Chambre d'agriculture de Haute-Savoie), Wider Jérôme (OFEV), Wilhelm Christian (canton des Grisons), Willi Christina (EBP), Wokaun Alexander (Institut Paul Scherrer), Wüthrich

Christian (canton d'Uri), Wüthrich Martin (ASA), Zaffalon Marco (SUPSI), Zappa Massimiliano (WSL), Zraggen Sonja (canton d'Uri), Zimmermann Niklaus (WSL), Zinder Rémy (canton de Genève), Zufferey Vivian (Agroscope), Zwissig Josef (commune de Seelisberg)

A3.2 Bibliographie

Études de cas

EC1 (Étude de cas 1)

Holthausen N., Locher P., Blaser L., Pütz M., Bründl M. 2013 : Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau. Ergebnisbericht. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Zollikon : 67 p.

EC2 (Étude de cas 2)

Füssler J., Betschart M., Schächli B., Egli T., Mini L. 2015 : Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz : Regionale Fallstudie Kanton Basel-Stadt. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Zurich : 167 p.

EC3 (Étude de cas 3)

Locher P., Holthausen N., Wili C., Girard C., Tallon L., Darazs O., Lerch J. 2015 : Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Freiburg. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Zollikon : 193 p.

EC4 (Étude de cas 4)

Füssler J., Schächli B., Betschart M., Martin D., Bondolfi A., Aubron D., Mini L., Egli T. 2015 : Analyse des risques et opportunités liés aux changements climatiques en Suisse. Étude de cas du canton Genève et du Grand-Genève. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Genève : 225 p.

EC5 (Étude de cas 5)

Stöckli V., Ammann W. 2015 : Klimawandel Graubünden. Analyse der Risiken und Chancen. Arbeitspapier 3 einer kantonalen Klimastrategie. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Coire : 142 p.

EC6 (Étude de cas 6)

Girard C., Monin G., Lehmann D., Moradpour É., Fernex J., Randlett M.-È., Studer S. 2016 : Analyse des risques et opportunités liés aux changements climatiques en

Suisse. Étude de cas du canton du Jura. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Porrentruy : 167 p.

EC7 (Étude de cas 7)

Bernasconi A., Bozzolo D., Baggi S., Ciani A., Martignoni A., Notari N., Fischli M., Stöckli V., Schönenberger N., Schaltegger E., Passardi M., Rivola C. 2016 : Analisi dei rischi e delle opportunità legati ai cambiamenti climatici in Svizzera. Caso di studio del Cantone Ticino. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Rivera : 416 p.

EC8 (Étude de cas 8)

Füssler J., Betschart M., Schächli B., Egli T., Vanomsen P., Sturzenegger D., Mini L. 2015 : Klimabedingte Risiken und Chancen 2060. Regionale Fallstudie Kanton Uri. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Zurich : 311 p.

Bibliographie supplémentaire

Aargauer Zeitung 2015 : Die Lage bleibt trotz Regen kritisch. Fischsterben wegen Trockenheit.

Internet : www.aargauerzeitung.ch/aargau/freiamt/fischsterben-wegen-trockenheit-die-lage-bleibt-kritisch-129455240. Consulté le 01.07.2016.

Abegg B. 2012 : Natürliche und technische Schneesicherheit in einer wärmeren Zukunft. In : Forum für Wissen 2012 (Éd. WSL) : pp. 29 – 35.

Académies suisses des sciences 2016a : Coup de projecteur sur le climat suisse. État des lieux et perspectives. Swiss Academies Reports 11(5), Berne : 218 p.

Académies suisses des sciences 2016b : Ozone et smog estival. Les changements climatiques menacent les succès d'aujourd'hui. Swiss Academies Factsheet 11 (5) : 6 p.

Adelphi, PRC, EURAC 2015 : Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Éd. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau : 688 p.

AEE (Agence européenne pour l'environnement) 2017 : Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report, Copenhagen : 419 p.

-
- AEE (Agence européenne pour l'environnement) 2016 : European forest ecosystems. State and trends, Copenhagen : 123 p.
- AEE (Agence européenne pour l'environnement) 2013 : Le changement climatique et l'air. Notre climat change, Copenhagen : 12 p.
- AEE (Agence européenne pour l'environnement) 2012a : Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report, Copenhagen : 300 p.
- AEE (Agence européenne pour l'environnement) 2012b : Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies, Copenhagen : 143 p.
- Agroscope 2014 : Die Kirschessigfliege im Beeren-, Obst- und Weinbau. Faktenblatt : 2 p.
- AGV (Aargauische Gebäudeversicherung) 2011 : Geschäftsbericht. Aarau : 91 p.
- Alarme-Météo 2016 : Neige.
Internet : <https://alarmemeteo.ch/alarmes-conseils/neige/>. Consulté le 15.06.2017.
- Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A. 2006 : Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport INRA, France : 72 p.
- Anderson H.R., Derwent D., Stedman J., Hayman G. 2008 : The Health Impact of Climate Change due to Changes in Air Pollution. In : Health Effects of Climate Change in the UK. An Update of the Department of Health Report 2001/2002. Department of Health / Health Protection Agency, Londres : pp. 91 – 105.
- ASAE (Association suisse pour l'aménagement des eaux) 2007 : Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz. In : Eau Energie Air, 99. Jahrgang 2007, Baden : pp. 55 – 60.
- Atlas hydrologique de la Suisse 2015 :
Internet : <http://hydrologischeratlas.ch/fr>. Consulté le 31.10.2016.
- Badoux A., Andres N., Techel F., Hegg C. 2016 : Natural hazard fatalities in Switzerland from 1946 to 2015. In : Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16 : pp. 2747 – 2768.
- Ballester J., Rodó X., Robine J.-M., Richard Herrmann F. 2016 : European seasonal mortality and influenza incidence due to winter temperature variability. In : Nature Climate Change, Volume 6 : pp. 927 – 930.
- Ban N., Schmidli J., Schär C. 2015 : Heavy precipitation in a changing climate : does short-term summer precipitation increase faster? In : Geophysical Research Letters 42 : pp. 1 – 8.
- Bauder A., Funk M., Huss M. 2007 : Ice-volume changes of selected glaciers in the Swiss Alps since the end of the 19th century. In : Ann. Glaciol. 46 : pp. 145 – 149.
- Beniston M. 2012 : Impacts of climatic change on water and associated economic activities in the Swiss Alps. In : Journal of Hydrology 412/413 : pp. 291 – 296.
- Bergamin F. 2011 : Kontroverse um das Artensterben. Wissenschaftler bezeichnen Voraussagen von Aussterberaten als zu hoch. In : NZZ Online.
Internet : https://www.nzz.ch/kontroverse_um_das_artensterben-1.10693163. Consulté le 14.06.2017.
- Bircher N., Cailleret M., Huber M., Bugmann H. 2015 : Empfindlichkeit typischer Schweizer Waldbestände auf den Klimawandel. In : Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 6/2015, Zurich : pp. 408 – 419.
- Björnsen Gurung A., Stähli M. 2014 : Ressources en eau de la Suisse. Ressources disponibles et utilisation – aujourd'hui et demain. Synthèse thématique 1 dans le cadre du Programme national de recherche PNR 61 « Gestion durable de l'eau », Berne : 71 p.
- Blanc P., Schädler B. 2013 : L'eau en Suisse – un aperçu. Commission suisse d'hydrologie, Berne : 28 p.

- Bresch D. 2016: Wie uns der Klimawandel (in)direkt betrifft. Zukunftsblog ETH Zürich. Publié le 28.10.2016. Internet: <https://www.ethz.ch/content/main/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2016/10/wie-uns-der-klimawandel-indirekt-betrifft.html>. Consulté le 26.05.2017.
- Brunner C.U., Steinemann U., Nipkow J. 2008: Construire, quand le climat se réchauffe. Recommandation Construction durable 2008/2. Éd. Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics (KBOB), Amt für Wasser, Abfall, Energie und Luft (AWEL) Kanton Zürich, Umwelt und Gesundheitsschutz (UGZ) Stadt Zürich: 8 p.
- Buser C. 2007: Wild Cards und Raumplanung. swissfuture Société suisse pour des études prospectives, 02/07: pp. 20 – 23.
- Bux K. 2006: Klima am Arbeitsplatz – Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse. Bedarfsanalyse für weitere Forschungen. Éd. Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin/Dresden: 33 p.
- Canton de Berne 2015: Klimawandel und Naturgefahren. Veränderungen im Hochgebirge des Berner Oberlandes und ihre Folgen. Éd. Groupe de travail Dangers naturels du canton de Berne, Interlaken: 35 p.
- Canton du Valais 2009: Concept cantonal contre les incendies de forêts, Sion: 45 p.
- Centre d'Allergie Suisse 2016: Prévision pollinique. Internet: www.pollenundallergie.ch/infos-sur-pollens-et-allergies/informations-polliniques/prevision-pollinique/?oid=1828&lang=fr#. Consulté le 21.11.2016.
- Cerutti B., Tereanu C., Domenighetti G., Gaia M., Bolgiani I., Lazzaro M., Cassis I. 2004: Canicola, mortalità e interventi di pronto soccorso durante l'estate 2003 in Ticino. In: Tribuna medica ticinese, Mezzovico: pp. 363 – 367.
- CFHA (Commission fédérale de l'hygiène de l'air) 2004: Sommersmog, Berne: 24 p.
- CFSB (Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique) 2013: Umgang mit Schadorganismen von Pflanzen in geschlossenen Systemen – Ein internationaler Vergleich, Berne: 78 p.
- CH2011 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Publié par C2SM, MétéoSuisse, EPF Zurich, NCCR Climate & OcCC, Zurich: 88 p.
- CH2014-Impacts 2014: Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland. Publié par OCCR, OFEV, MétéoSuisse, C2SM, Agroscope & ProClim, Berne: 136 p.
- Chaix O., Whese 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. Rapport d'experts. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne: 165 p.
- Chmielewski F.-M. 2007: Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. In: Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke, Berlin: pp. 75 – 85.
- Commission européenne 2011: Les sols, la face cachée du cycle climatique, Luxembourg: 20 p.
- Conedera M., Cesti G., Pezzatti G.B., Zumbrunnen T., Spinedi F. 2006: Lightning-induced fire in the Alpine region. An increasing problem. Éd. Viegas, D.X., V International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, Portugal: 9 p.
- Conedera M., Pezzatti G.B. 2005: Gli incendi di bosco. Cosa ci dice la statistica. In: Dati statistiche e società 1-2005, Lugano: pp. 6 – 13.
- Confédération Suisse 2016: Gestion des dangers naturels en Suisse. Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat 12.4271 déposé par Christophe Darbellay le 14.12.2012, Berne: 125 p.
- Confédération Suisse 2015: Environnement Suisse 2015. Rapport du Conseil fédéral. Éd. Conseil fédéral suisse, Berne: 140 p.

Confédération Suisse 2012 : Stratégie Biodiversité Suisse. En exécution de la mesure 69 (objectif 13, art. 14, section 5) du programme de la législature 2007 – 2011. Élaborer une stratégie en faveur du maintien et du développement de la biodiversité, Berne : 89 p.

DEFRA 2012a : Climate Change Risk Assessment for the Business, Industry and Services Sector : 182 p.

Internet : <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=CCRAfortheBusiness,IndustryandServices-Sector.pdf>. Consulté le 30.05.2017.

DEFRA 2012b : Climate Change Risk Assessment. Built Environment. Summary Report : 4 p.

Internet : <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=CCRASummaryBuiltEnvironment.pdf>. Consulté le 30.05.2017.

DEFRA 2012c : Climate Change Risk Assessment for the Health Sector : 240 p.

Internet : <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=CCRAfortheHealthSector.pdf>. Consulté le 30.05.2017.

Dousset B., Gourmelon F., Laaidi K., Zeghnoun A., Giraudet E., Bretin P., Mauri E., Vandentorren S. 2011 : Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. In : *International Journal of Climatology*, 31(2) : pp. 313 – 323.

Dübendorfer C., Tratschin R., Urfer D., Zahner S., Zysset A. 2016 : Gestion des ressources en eau dans les situations exceptionnelles. Gérer les pénuries locales d'eau en Suisse. Rapport d'experts du 7 décembre 2015. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Zollikon/Porrentruy : 106 p.

Dübendorfer C., Moser D., Kempter T., Egloff L., Müller V., Wanner P., Kirchhofer A., Baumann P. 2011 : Rapport d'experts en vue d'un module Température pour le système modulaire gradué. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Zollikon : 83 p.

Eawag 2016 : L'histoire des blooms cyanobactériens retracée sur 200 ans.

Internet : www.eawag.ch/fr/news-agenda/actualites/detail/news/blauaalgenblueten-der-vergangen-200-jahre-rekonstruiert/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=db4568bfceec5b54546279a6a749cd67. Consulté le 26.06.2017.

EC1 – EC8 (Étude de cas 1 – Étude de cas 8) : voir les références complètes des sources au début de la bibliographie.

ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control) 2012 : The climatic suitability for dengue transmission in continental Europe. Technical report, Stockholm : 22 p.

Eis D., Helm D., Laußmann D., Stark K. 2010 : Klimawandel und Gesundheit. Ein Sachstandsbericht. Éd. Robert Koch Institut, Berlin : 246 p.

Faust A.-K., Gonseth C., Vielle M. 2011 : Modélisation de l'adaptation aux changements climatiques dans un modèle économique intégré. Rapport final. Groupe de Recherche en Économie et Management de l'Environnement. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, Lausanne : 158 p.

Filippini M., Geissmann T. 2014 : Kostenstruktur und Kosteneffizienz der Schweizer Wasserkraft. Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), Zurich : 84 p.

Fischer K., Dierks A., Franke K., Geister T.L., Liska M., Winter S., Pflücke C. 2010 : Environmental Effects on Temperature Stress Resistance in the Tropical Butterfly *Bicyclus Anyana*. In : *PLoS ONE*, Volume 5, Issue 12 : e15284.

Fondation de prévention des établissements cantonaux d'assurance 2007 : Elementarschutzregister Hagel. Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle. Synthesebericht, Berne : 35 p.

Forster B., Castellazzi T., Colombi L., Fürst E., Marazzi C., Meier F., Tettamanti G., Moretti G. 2009 : Die Edelkastaniengallwespe *Dryocosmus kuriphilus* (Yasumatsu) (Hymenoptera, Cynipidae) tritt erstmals in der Südschweiz

auf. In: Bulletin de la société entomologique suisse, Volume 82 : pp. 271 – 279.

Forum Biodiversité Suisse 2013 : Biodiversité alpine. In: Hotspot. Dialogue entre recherche et pratique. Informations du Forum Biodiversité Suisse 27, Berne : 28 p.

Freier B., Triltsch H. 1996 : Climate chamber experiments and computer simulations on the influence of increasing temperature on wheat-aphid-predator interactions. In: Aspects Appl Biol 45 : pp. 293 – 298.

Fuhrer J., Calanca P. 2012 : Le changement climatique influence le bien-être des vaches laitières. In: Recherches Agronomiques Suisse 3(3), Zurich : pp. 132 – 139.

Fuhrer J. 2010 : Estimation des besoins en irrigation pour l'agriculture suisse. Rapport final, 8 mars 2010. Sur mandat de l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) et des cantons de BE, LU, FR, AG, VD, VS, GE et ZH, Reckenholz-Tänikon : 26 p.

Fuhrer J., Jasper K. 2009 : Besoins en irrigation en Suisse. Rapport final. Sur mandat de l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) et des cantons de BE, LU, FR, AG, VD, VS, GE et ZH, Reckenholz-Tänikon : 75 p.

Füssler J., Betschart M., Egli T., Mini L. 2015 : Klima, Gefahren und Effekte. Herleitungen für die Agglomerationsfallstudien. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Zurich : 76 p.

Gasparrini A., Guo Y., Hashizume M., Lavigne E., Zanobetti A., Schwartz J., Tobias A., Tong S., Rocklöv J., Forsberg B., Leone M., De Sario M., Bell M.L., Leon Guo Y.-L., Wu C.-f., Kan H., Yi S.-M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M., Hilario Nascimento Saldiva P., Honda Y., Kim H., Armstrong B. 2015 : Mortality risk attributable to high and low ambient temperature : a multicountry observational study. In: The Lancet, Volume 386, n°. 9991 : pp. 369 – 375.

Genier Y. 2016 : Stations de ski : celles qui s'en sortent, celles qui plongent. L'Hebdo du 18.02.2016. Internet : <http://www.hebdo.ch/hebdo/cadrages/detail/stations-de-ski-celles-qui-s%E2%80%99en-sortent-celles-qui-plongent>. Consulté le 01.06.2016.

Geo7 2012 : Klimasensitivität Naturgefahren. Teil 2 : Resultate. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne : 85 p.

GIEC 2014 : Changements climatiques 2014. Incidences, adaptation et vulnérabilité. Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC. Éd. C.B. Field et al. Organisation météorologique mondiale, Genève : 34 p.

GIEC 2013 : Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques. Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC. Éd. T.F. Stocker et al. Cambridge University Press, Cambridge/New York : 29 p.

Gillioz V. 2016 : Tourisme de montagne. Des pistes pour s'adapter au changement climatique. In: Montagna 3/2016 : p. 8 – 9.

Giorgi F., Torma C., Coppola E., Ban N., Schär C., Somot S. 2016 : Enhanced summer convective rainfall at Alpine high elevations in response to climate warming. In: Nature Geoscience, Vol. 9(8) : pp. 584 – 589.

Gonseth C., Thalmann P., Vielle M. 2017 : Impacts of global warming for energy use for heating and cooling with full rebound effects in Switzerland. In: Swiss Journal of Economics and Statistics. Elsevier 2017 : 27 p.

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

Gruner U. 2008 : Klimatische und meteorologische Einflüsse auf Sturzprozesse. In: Proceed. Conf. Interprävent 2008, 2 : p. 147 – 158.

Hajat S., Kovats R.S., Atkinson R.W., Haines A. 2002 : Impact of hot temperatures on death in London. A time series approach. In: Journal of Epidemiology and Community Health, Vol. 56 : pp. 367 – 372.

Hamaoui-Laguel L., Vautard R., Liu L., Solmon F., Viovy N., Khvorostyanov D., Essl F., Chuine I., Colette A., Semenov M.A., Schaffhauser A., Storkey J., Thibaudon M., Epstein

- M.M. 2015 : Effects of climate change and seed dispersal on airborne ragweed pollen loads in Europe. In: *Nature Climate Change*, Vol. 5 : pp. 766 – 771.
- Hänggi P. 2011 : Auswirkungen der hydroklimatischen Variabilität auf die Wasserkraftnutzung in der Schweiz. Inauguraldissertation der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. Institut de géographie de l'Université de Berne : 231 p.
- Hegg C., Jeisy M., Waldner P. 2004 : Wald und Trinkwasser. Eine Literaturstudie. Éd. Institut fédéral de recherche WSL, Birmensdorf : 60 p.
- Hilker N., Badoux A., Hegg C. 2009 : The Swiss flood and landslide damage database 1972 – 2007. In: *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9 : pp. 913 – 925.
- Holthausen N., Locher P., Blaser L., Perch-Nielsen S., de Haan van der Weg P., Pütz M., Bründl M. 2013a : Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz. Methodenbericht. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, Berne : 42 p.
- Holthausen N., Locher P., Blaser L., Pütz M., Bründl M. 2013b : Risiken und Chancen des Klimawandels in der Schweiz. Document de travail non publié. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, Berne : 43 p.
- Horst K., Bockmühl K., Schliep R. 2013 : Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland IX. Ergebnisse und Dokumentation des 9. Workshops. Bundesamt für Naturschutz, Bonn : 75 p.
- Imhof M., Nicolet P., Voumard J., Jaboyedoff M. 2015 : Grêle 2011. Étude de l'orage de grêle des 12 et 13 juillet 2011 dans le canton d'Argovie. Éd. Union intercantonale de réassurance, Berne : 62 p.
- IRGC (International Risk Governance Council) 2015 : Guidelines for Emerging Risk Governance, Lausanne : 59 p.
- IRGC (International Risk Governance Council) 2013 : Public Sector Governance of Emerging Risks. How can central governments improve their anticipation of and early response to emerging risks? A concept note to accompany IRGC's workshop report on hallmarks and drivers of public sector governance of emerging risks, Lausanne : 20 p.
- Jonas T. 2012 : Monitoring von Schneewasserressourcen in der Schweiz. In: *Forum für Wissen 2012* (Éd. WSL) : pp. 7 – 12.
- Jörin J., Patt A., Maestri C., Knüsel B. 2016 : Schlussbericht des Forschungsprojekts «Anpassungsfähigkeit der Schweiz an den Klimawandel». Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Zurich : 150 p.
- Kapsch M.-L., Kunz M., Vitolo R., Economou T. 2012 : Long-term trends of hail-related weather types in an ensemble of regional climate models using a Bayesian approach. In: *Journal of Geophysical Research*. Volume 117, D15107.
- Karremann M.K., Pinto J.G., von Bomhard P.J., Klawns M. 2014 : On the clustering of winter storm loss events over Germany. In: *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14 : pp. 2041 – 2052.
- Kaulfuss S. 2016 : Wie Waldbrände entstehen. Internet: www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/brand/fva_entstehung_waldbrand/index_DE. Consulté le 19.10.2016.
- Kehrli P., Kuske S., Baroffio C., Fischer S., Linder C., Richoz P., Samietz J. 2013 : La Drosophile du cerisier, nouvelle en Suisse. In: *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 4/13. pp. 8 – 12.
- Klein G., Vitasse Y., Rixen C., Marty C., Rebetez M. 2016 : Shorter snow cover duration since 1970 in the Swiss Alps due to earlier snowmelt more than to later snow onset. In: *Climatic Change* 139 : pp. 637 – 649.
- Kovats R.S., Valentini R., Bouwer L.M., Georgopoulou E., Jacob D., Martin E., Rounsevell M., Soussana J.-F. 2014 : Europe. In: *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B : Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Éd. V.R. Barros et al. Cambridge University Press, Cambridge/New York : pp. 1267 – 1326.

- Kovats R. S., Hajat S. 2008 : Heat stress and public health. A critical review. In : *Annual Review of Public Health* 29(1) : pp. 41 – 55.
- Kwiatkowski M., Höchli B. 2016 : Quand l'eau devient le pétrole de demain. Comment la Suisse maîtrise les conflits de l'avenir. Gottlieb Duttweiler Institut (GDI). Sur mandat de l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA), Rüschlikon : 52 p.
- Lawrence M.G., Schmale J., von Schneidmesser E. 2014 : Zwei Seiten einer Medaille. Klimawandel und Luftverschmutzung. In : *Senckenberg – Natur – Forschung – Museum* 144(1/2), Senckenberg : pp. 18 – 25.
- Lévesque M., Rigling A., Brang P. 2015 : Réponse à la sécheresse de conifères indigènes et exotiques : une étude dendroécologique. In : *Journal forestier suisse*, Vol. 166 : pp. 372 – 379.
- LID (Landwirtschaftlicher Informationsdienst) 2014 : Landwirtschaft im Klimawandel – Erkenntnisse und Strategien zum Umgang mit Wasser. LID Dossier n° 467 du 22 octobre 2014, Berne : 13 p.
- Loat R., Meier E. 2003 : Dictionnaire de la protection contre les crues. Éd. Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), Berne : 424 p.
- Lüthi M.P., Bauder A., Funk, M. 2010 : Volume change reconstruction of Swiss glaciers from length change data. In : *J. Geophys. Res.*, 115 : F04022.
- Martin S. 2012 : Examples of 'no -regret', 'low -regret' and 'win-win' adaptation actions. RBGE on behalf of ClimateXChange, Edinburgh : 11 p.
- Marty C., Schlögl S., Bavay M., Lehning M. 2017 : How much can we save? Impact of different emission scenarios on future snow cover in the Alps. In : *The Cryosphere*. 11 : pp. 517 – 529.
- Marty C. 2008 : Regime shift of snow days in Switzerland. In : *Geophysical Research Letters* 35 : L12501.
- MétéoSuisse (Office fédéral de météorologie et climatologie) 2017 : *Klimareport 2016*, Zurich : 80 p.
- MétéoSuisse (Office fédéral de météorologie et climatologie) 2016a : *Der Hitzesommer 2015 in der Schweiz. Rapport technique n° 260*, Zurich : 68 p.
- MétéoSuisse (Office fédéral de météorologie et climatologie) 2016b : *Rapport climatologique 2015*, Zurich : 84 p.
- MétéoSuisse (Office fédéral de météorologie et climatologie) 2016c : *Indicateurs de climat. Chaud – Nuits tropicales* Internet : www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/actuel/indicateurs-de-climat.html?filters=TN_1961-to-day_YEAR®ion=Tableau. Consulté le 08.08.2016.
- MétéoSuisse (Office fédéral de météorologie et climatologie) 2015 : *Auftausalzverbrauch im Klimawandel. Rapport technique n° 253*, Zurich : 36 p.
- MétéoSuisse (Office fédéral de météorologie et climatologie) 2014a : *Scénarios climatiques Suisse. Un aperçu régional. Rapport technique n° 243* MétéoSuisse. Sur mandat de l'office fédéral de l'environnement (OFEV) : 36 p.
- MétéoSuisse (Office fédéral de météorologie et climatologie) 2014b : *Canicule*. Internet : www.meteosuisse.admin.ch/home/meteo/dangers/explications-aux-degres-de-danger/canicule.html. Consulté le 27.04.2017.
- Michelozzi P., Accetta G., De Sario M., D'Ippoliti D., Marino C., Baccini M., Biggeri A., Ross Anderson H., Katsouyanni K., Ballester F., Bisanti L., Cadum E., Forsberg., Forastiere F., Goodman P.G., Hojs A., Kirchmayer U., Medina S., Paldy A., Schindler C., Sunyer J., Perucci C.A. 2009 : High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. In : *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, volume 179 : pp. 383 – 389.
- Millard B. 2016 : *Extreme Heat. Hot Cities Adapting to a Hotter World. Symposium Summary Report*, New York : 24 p.

Mohr S., Kunz M., Geyer B. 2015 : Hail potential in Europe based on a regional climate model hindcast. In: *Geophysical Research Letters*. Vol. 42 : pp. 10904 – 10912.

Mosimann E. 2016 : Conséquences du changement climatique pour la production fourragère. In: *Montagna* 3/2016 : pp. 12 – 13.

Nauser M. 2016 : Le Valais face aux changements climatiques. Effets et options d'adaptation dans les domaines de la gestion des eaux et des dangers naturels. Éd. État du Valais, Sion : 19 p.

Nauser M., Graf O., Wälty A. 2015 : Systemische Risiken und Umweltgouvernanz. Schlussbericht. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne : 63 p.

NELAK 2013 : Formation des nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques. Forschungsbericht NFP 61. Éd. Haeberli W., Bütler M., Huggel C., Müller H., Schleiss A., Zurich : 300 p.

Nisi L., Martius O., Hering A., Kunz M., Germann U. 2016 : Spatial and temporal distribution of hailstorms in the Alpine region. A long-term, high resolution, radar-based analysis. In: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. Vol. 142 : pp. 1590 – 1604.

OcCC/ProClim 2007 : Les changements climatiques et la Suisse en 2050. Conséquences pour l'environnement, la société et l'économie, Berne : 167 p.

OcCC/SCNAT 2005 : Canicule de l'été 2003. Rapport de synthèse. Éd. ProClim, Berne : 31 p.

OECD 2014 : Boosting Resilience through Innovative Risk Governance, OECD Publishing : 144 p.

OFAE (Office fédéral de l'approvisionnement économique du pays) 2016 : Rapport sur l'approvisionnement économique du pays de 2013 à 2016, Berne : 44 p.

OFAG (Office fédéral de l'agriculture) 2011 : Stratégie Climat pour l'agriculture. Protection du climat et adaptation au changement climatique pour une agriculture et une économie alimentaire suisses durables, Berne : 46 p.

OFAT, OFEE, OFEFP (Office fédéral de l'aménagement du territoire, Office fédéral de l'économie des eaux, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage) : Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Série Dangers naturels, Berne : 42 p.

OFEF, OFAT, OFEFP (Office fédéral de l'économie des eaux, Office fédéral de l'aménagement du territoire, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage) 1997 : Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Série Dangers naturels, Berne : 32 p.

OFEFP, OFEG, MétéoSuisse (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Office fédéral des eaux et de la géologie, Office fédéral de météorologie et climatologie) 2004 : Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Cahier de l'environnement n° 369, Berne : 174 p.

OFEG (Office fédéral des eaux et de la géologie) 2004 : Gefahreneinstufung Rutschungen i. w. S. Permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren. Entwurf, Zollikofen : 44 p.

OFEG (Office fédéral des eaux et de la géologie) 2001 : Protection contre les crues des cours d'eau. Directives de l'OFEG, Bienne : 72 p.

OFEN (Office fédéral de l'énergie) 2015a : Statistique globale suisse de l'énergie 2015, Berne : 62 p.

OFEN (Office fédéral de l'énergie) 2015b : Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2014 nach Verwendungszwecken, Berne : 73 p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2017a : Dangers naturels. Mesures techniques. Internet : www.bafu.admin.ch/mesures-techniques. Consulté le 30.05.2017.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2017b : Émissions de gaz à effet de serre visées par la loi sur le CO₂ révisée et par le Protocole de Kyoto, 2^e période d'engagement (2013–2020). Berne : 21 p.

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

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2016a : Protection contre les dangers dus aux mouvements de terrain. Aide à l'exécution concernant la gestion des dangers dus aux glissements de terrain, aux chutes de pierres et aux coulées de boue. L'environnement pratique n° 1608, Berne : 98 p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2016b : La canicule et la sécheresse de l'été 2015. Impacts sur l'homme et l'environnement. État de l'environnement n° 1629, Berne : 110 p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2016c : Organismes nuisibles dangereux pour les forêts.
Internet : www.bafu.admin.ch/organismes-nuisibles-forets. Consulté le 29.08.2016.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2016d : Espèces exotiques envahissantes. Éviter les mauvaises surprises.
Internet : www.bafu.admin.ch/magazine2016-4-08. Consulté le 26.06.2017.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2016e : Cartes des dangers relatifs aux tempêtes.
Internet : www.bafu.admin.ch/cartes-des-danger-relatifs-aux-tempetes. Consulté le 19.10.2016.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2015a : Crues et laves torrentielles. Fiches Processus des dangers naturels : 2 p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2015b : Sources de polluants atmosphériques.
Internet : www.bafu.admin.ch/sources-de-polluants-atmospheriques. Consulté le 21.11.2016.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2015c : Forêts et bois. En bref.
Internet : www.bafu.admin.ch/forets-enbref. Consulté le 16.11.2016.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2015d : Sites Émeraude.
Internet : www.bafu.admin.ch/emeraude. Consulté le 12.07.2016.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2015e : État des milieux naturels en Suisse.
Internet : www.bafu.admin.ch/habitats. Consulté le 12.07.2016.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2015f : Indicateur. Surface forestière.
Internet : www.bafu.admin.ch/indicateurs-forets. Consulté le 16.11.2016.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2014a : Adaptation aux changements climatiques en Suisse. Plan d'action 2014–2019. Deuxième volet de la stratégie du Conseil fédéral du 9 avril 2014, Berne : 100 p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2014b : Pollution de l'air et santé. Aperçu des effets de la pollution atmosphérique sur la santé. Connaissances de l'environnement n° 1425, Berne : 15 p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2014c : Forêt et changements climatiques. Un subtil équilibre à trouver.
Internet : www.bafu.admin.ch/forets-changements-climatiques. Consulté le 16.06.2016.

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

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2012a : 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 : 76 p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2012b : Adaptation aux changements climatiques en Suisse. Objectifs, défis et champs d'action. Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012, Berne : 64 p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2012c : Bref portrait de la Stratégie Biodiversité Suisse. Agir en commun pour préserver la diversité de la vie et bénéficier durablement de ses prestations, Berne : 2p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2012d : Gérer les pénuries locales d'eau en Suisse. Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat «Eau et agriculture. Les défis de demain», Berne : 88 p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2011 : Indikatoren für Ökosystemleistungen. Systematik, Methodik und Umsetzungsempfehlungen für eine wohlfahrtsbezogene Umweltberichterstattung, Berne : 108 p.

OFEV (Office fédéral de l'environnement) 2006 : Espèces exotiques en Suisse. Inventaire des espèces exotiques et des menaces qu'elles représentent pour la diversité biologique et l'économie en Suisse, Berne. Connaissance de l'environnement n° 0629 : 154 p.

OFEV, WSL (Office fédéral de l'environnement, Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage) 2007 : Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung, Berne/Birmensdorf. Connaissance de l'environnement n° 0707 : 215 p.

OFPP (Office fédéral de la protection de la population) 2015a : Analyse nationale des dangers – Dossiers des mises en danger. Sécheresse, Berne : 12 p.

OFS (Office fédéral de la statistique) 2016 : Agriculture et alimentation. Statistique de poche 2016. Statistique de la Suisse – 07 agriculture et sylviculture. Neuchâtel : 35 p.

OFS (Office fédéral de la statistique) 2006 : L'agriculture dans les cantons. Résultats des comptes régionaux 2005. Neuchâtel : 40 p.

OFSP (Office fédéral de la santé publique) 2012 : Foyers de toxi-infection alimentaire en Suisse. Statistiques actuelles, tendances futures, directives pratiques pour l'analyse des flambées et rappel historique, Berne : 83 p.

OFSP, OFEV (Office fédéral de la santé publique, Office fédéral de l'environnement) 2007 : Que faire en cas de

canicule. Le changement climatique : conséquences sur la santé : 2 p.

Internet : <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/nat-gesundheitspolitik/klimawandel/hitzewelle/hintergrundinfos/info-klimaaenderung/klimawandel-auswirkungen-gesundheit.pdf.download.pdf/changement-climatique-consequences-sur-sante.pdf>. Consulté le 30.05.2017.

OFSP, OFEV (Office fédéral de la santé publique, Office fédéral de l'environnement) 2016 : Protection contre la canicule. Recommandations et informations au personnel soignant, Berne : 2 p.

OSAV (Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires) 2016 : Maladie rénale proliférative des poissons.

Internet : <https://www.blv.admin.ch/blv/fr/home/tiere/tierseuchen/uebersicht-seuchen/alle-tierseuchen/proliferative-nierenkrankheit-der-fische.html>. Consulté le 12.07.2016.

OSAV (Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires) 2013 : Maladie de la langue bleue (bluetongue, BT) : 3 p.

Patz J.A., Campbell-Lendrum D., Holloway T., Foley, J.A. 2005 : Impact of regional climate change on human health. In : Nature Reviews, vol. 438/17 : pp. 310 – 317.

Pauli H., Gottfried M., Grabherr G. 2001 : High summits of the Alps in a changing climate. In : «Fingerprints» of Climate Change. Éd. Walther et al. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York : pp. 139 – 149.

Pfister C. 2009 : Die «Katastrophenlücke» des 20. Jahrhunderts und der Verlust traditionellen Risikobewusstseins. In : Gaia 18(3) : pp. 239 – 246.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2017a : Crue.

Internet : www.planat.ch/fr/bon-a-savoir/crue/. Consulté le 08.06.2017.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2017b : Incendie de forêt à Loèche (2003).

Internet : www.planat.ch/fr/images-details/datum/2011/01/14/waldbrand-leuk-2003/. Consulté le 08.06.2017.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2016a : Sécheresse.

Internet : www.planat.ch/fr/bon-a-savoir/secheresse/. Consulté le 31.10.2016.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2016b : Inondation.

Internet : www.planat.ch/fr/bon-a-savoir/crue/inondation/. Consulté le 19.10.2016.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2016c : Chronique 1900 – 1999.

Internet : www.planat.ch/fr/bon-a-savoir/chronique/1900-1999/. Consulté le 19.10.2016.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2016d : Glissement.

Internet : www.planat.ch/fr/bon-a-savoir/glisement-et-chute-de-pierres/glisement-de-terrain/. Consulté le 19.10.2016.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2016e : Hagelschäden.

Internet : www.planat.ch/de/bilder-detailansicht/datum/2011/07/18/hagelschaeden/. Consulté le 19.10.2016.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2016f : Tempête.

Internet : www.planat.ch/fr/bon-a-savoir/tempete/. Consulté le 30.05.2017.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2016g : Chute de pierres, de blocs et éboulements.

Internet : www.planat.ch/fr/bon-a-savoir/glisement-et-chute-de-pierres/chute-de-pierres-et-de-bloc/. Consulté le 19.10.2016.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2015 : Niveau de sécurité face aux dangers naturels – Documentation, Berne : 68 p.

PLANAT (Plate-forme nationale «Dangers naturels») 2013 : Niveau de sécurité face aux dangers naturels, Berne : 15 p.

Pluess A., Augustin S., Brang P. 2016 : Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Éd. Office fédéral de l'environnement (OFEV) & Institut fédéral de recherche WSL. Haupt Verlag : 455 p.

PNUD (Programme des Nations unies pour le développement) 2016 : Climate Change and Labour. Impacts of Heat in the Workplace. 33 p.

Portail du Gouvernement suisse 2016 : Le NABO, trois décennies d'observation nationale des sols. La qualité en point de mire.

Internet : <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-64573.html>.

Consulté le 21.11.2016.

Pro Natura 2013 : Néobiotes. Les espèces envahissantes menacent la biodiversité. In : Pro Natura Magazine 02 2013 : 13 p.

ProClim 2015 : Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Screening der Forschungs- und Umsetzungsaktivitäten sowie bestehender Monitoringsysteme. Schlussbericht. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne : 93 p.

PwC (PricewaterhouseCoopers) 2013 : International threats and opportunities of climate change for the UK. Final report : 149 p.

Raetzo H. 1997 : Massenbewegungen im Gurnigelflysch und Einfluss der Klimaänderung. Vdf-Verlag ETHZ : 256 p.

Rajczak J., Pall P., Schär C. 2013 : Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the alpine region. In : Journal of Geophysical Research - Atmospheres 118 (9) : pp. 3610 – 3626.

Convention de Ramsar 2011 : Services écosystémiques des zones humides – introduction.

Internet : www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/services_00_f.pdf. Consulté le 17.11.2016.

Regionalkonferenz Oberland-Ost 2016: Klimaadap-
tionsstrategie Grimselgebiet. Strategie zur Anpassung
an die Auswirkungen des Klimawandels im Grimselge-
biet. Oberingenieurkreis I und Regionalkonferenz Ober-
land-Ost, Interlaken : 50 p.

Reinhard M., Rebetez M., Schlaepfer R. 2005 : Recent cli-
mate change. Rethinking drought in the context of Forest
Fire Research in Ticino, South of Switzerland. In : Theore-
tical and Applied Climatology. Vol. 82 : pp. 17 – 25.

Renn O. 2015 : Interview du 04.08.2015. In : Nauser et
al. 2015 : Systemische Risiken und Umweltgouvernanz.
Schlussbericht. Sur mandat de l'Office fédéral de l'envi-
ronnement (OFEV), Berne : 63 p.

Renn O. 2014 : Das Risikoparadox. Warum wir uns vor dem
Falschen fürchten, Francfort-sur-le-Main : 608 p.

République et canton de Genève 2016 : Bilan de la qualité
de l'eau de l'année 2015 : un optimisme mesuré.
Internet : [http://ge.ch/air/actualites/bilan-de-la-qualite-
de-lair-de-lannee-2015-un-optimisme-mesure](http://ge.ch/air/actualites/bilan-de-la-qualite-de-lair-de-lannee-2015-un-optimisme-mesure). Consulté
le 13.12.2016.

République et canton de Genève 2015 : Pic d'ozone en
Suisse romande : demain, et pour la première fois, les
transports publics de la région genevoise à tarif réduit.
Internet : [http://ge.ch/air/actualites/pic-dozone-en-
suisse-romande-demain-et-pour-la-premiere-fois-les-
transports-publics-de-la-region](http://ge.ch/air/actualites/pic-dozone-en-suisse-romande-demain-et-pour-la-premiere-fois-les-transports-publics-de-la-region). Consulté le 13.12.2016.

Reynard E. 2008 : Transporter l'eau. Regards croisés sur
les réseaux urbains et ruraux de l'eau en Suisse. In : Flux
n° 72/73 : pp. 27 – 38

Rigling D., Hilfiker S., Schöbel C., Meier F., Engesser R.,
Schiedegger C., Stofer S., Senn-Irlet B., Queloz V. 2016 :
Le dépérissement des pousses du frêne. Biologie, symp-
tômes et recommandations pour la gestion. Notice pour
le praticien n° 57 : 8 p.

Rixen C., Teich M., Lardelli C., Gallati D., Pohl M., Pütz
M., Bebi P. 2011 : Winter tourism and climate change in
the Alps. An assessment of resource consumption, snow

reliability, and future snowmaking potential. In : Mountain
Research and Development 31 (3) : pp. 229 – 236.

RMS (Remontées Mécaniques Suisses) 2015a : Faits &
chiffres de la branche des remontées mécaniques suisses.
Édition 2015, Berne : 34 p.

RMS (Remontées Mécaniques Suisses) 2015b : Bilan de
la saison 2014/15. Développements, conclusions et pré-
visions, Berne : 31 p.

RMS (Remontées Mécaniques Suisses) 2012 : Faits &
chiffres de la branche des remontées mécaniques suisses.
Édition 2012, Berne : 36 p.

Robine J.M., Cheung S.L., Le Roy S., van Oyen H., Her-
rmann F.R. 2007 : Report on excess mortality in Europe
during summer 2003. EU Community Action Programme
for Public Health, Grant Agreement 2005114 : 15 p.

Röthlisberger G. 1991 : Chronik der Unwetterschäden in
der Schweiz. Rapports de l'Institut fédéral de recherche
WSL, Birmensdorf : 122 p.

Rubin A., Rubin J.-F., Wahli T. 2015 : Suivi des piscicul-
tures productrices de truites. Projet MRP – Vaud 2013. Éd.
Fondation de la Maison de la Rivière, Tolochenaz : 56 p.

Rüttinger L., Pohl B. 2016 : Klimawandel und Sicherheit
in der Schweizer Aussen- und Sicherheitspolitik. Grun-
dlagenstudie. Sur mandat du département fédéral des
affaires étrangères (DFAE), Berlin : 35 p.

SAB (Groupement suisse pour les régions de mon-
tagne) 2010 : Tourismus im Klimawandel. Strategien
zur Saisonverlängerung. Étude du SAB réalisée pour la
Conférence des présidents des communes touristiques
11.10.2010, Berne : 31 p.

Schafellner C., Schopf A. 2014 : Massenaufreten der
Fichtengebirgsblattwespe in Tieflagen als Folge des Kli-
mawandels? In : Forstschutz Aktuell 60/61 : p. 12 – 19.

Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger
M.A., Appenzeller C. 2004 : The role of increasing tem-

perature variability in European summer heatwaves. In: *Nature* 427 : pp. 332 – 336.

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. In: *Journal of Geophysical Research - Atmosphere* : 12 p.

Scherrer S.C., Wüthrich C., Croci-Maspoli M., Weingartner R., Appenzeller C. 2013 : Snow variability in the Swiss Alps 1864–2009. In: *International Journal of Climatology*. Volume 33. Issue 15 : pp. 3162 – 3173.

Scherrer S.C., Appenzeller C. 2004 : Trends in Swiss Alpine snow days. The role of local- and large-scale climate variability. In: *Geophysical research letters* 31 : 4 p.

Schmocker-Fackel P., Naef F. 2010 : Changes in flood frequencies in Switzerland since 1500. In: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14 : pp. 1581 – 1594.

Schwank O., Peter M., North N., Lückge H., Kraemer R.A., Görlach B., Lange S., Nathani C. 2007 : Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (Internationale Einflüsse). Schlussbericht. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Zurich/Berlin/Rüschlikon : 167 p.

SCNAT (Académie suisse des sciences naturelles) 2016a : Les Alpes.
Internet : https://www.sciencesnaturelles.ch/topics/biodiversity/about_biodiversity/zustand_und_entwicklung/gebirge. Consulté le 12.07.2016.

SCNAT (Académie suisse des sciences naturelles) 2016b : Agriculture.
Internet : https://sciencesnaturelles.ch/topics/green_genetic_engineering/agriculture. Consulté le 24.08.2016.

SECO (Secrétariat d'État à l'économie) 2011 : Der Schweizer Tourismus im Klimawandel. Auswirkungen und Anpassungsoptionen, Berne : 64 p.

SECO (Secrétariat d'État à l'économie) 2007a : Travailler à la chaleur à l'extérieur ... Attention ! Information à l'intention des employeurs et des travailleurs : 2 p.

SECO (Secrétariat d'État à l'économie) 2007b : Travailler à l'intérieur en période de forte chaleur ... Attention ! Information à l'intention des employeurs et des travailleurs : 2 p.

Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique 2014 : 4^e édition des Perspectives mondiales de la diversité biologique, Montréal : 155 p.

Seneviratne S. 2012 : Climate science. Historical drought trends revisited. In: *Nature* 491 : pp. 338 – 339.

Serquet G., Rebetez M. 2013 : Changements climatiques. Quel avenir pour les destinations touristiques des Alpes et du Jura vaudois ? 135 p.

Serquet G., Rebetez M. 2011 : Relationship between tourism demand in the Swiss Alps and hot summer air temperatures associated with climate change. In: *Climatic Change* 108 : pp. 291 – 300.

Serquet G., Marty C., Dulex J.-P., Rebetez M. 2011 : Seasonal trends and temperature dependence of the snow-fall/precipitation-day ratio in Switzerland. In: *Geophys Res Lett* 38(7) : L07703. 5 p.

Shine C., Kettunen M., ten Brink P., Genovesi P., Gollasch S. 2009 : Technical support to EU strategy on invasive alien species (IAS). Recommendations on policy options to control the negative impacts of IAS on biodiversity in Europe and the EU. Final report for the European Commission. Éd. Institute for European Environmental Policy (IEEP), Bruxelles : 35 p.

SLF (Institut pour l'étude de la neige et des avalanches) 2017 : Impact de l'été caniculaire de 2015 sur les écroulements rocheux.
Internet : <https://www.slf.ch/fr/projets/felsstuerze-2015.html>. Consulté le 30.05.2017.

SLF (Institut pour l'étude de la neige et des avalanches) 2016 : Avalanche de neige mouillée.

Internet : <https://www.slf.ch/fr/avalanches/connaissances-sur-le-theme-des-avalanches-et-prevention/types-d-avalanches.html>. Consulté le 02.10.2016.

Smith K.R., Woodward A., Campbell-Lendrum D., Chadee D.D., Honda Y., Liu Q., Olwoch J.M., Revich B., Sauerborn R. 2014 : Human health - Impacts, adaptation, and co-benefits. In : *Climate Change 2014 - Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Ed. C.B. Field et al. Cambridge University Press, Cambridge/New York : p. 709 – 754.

SPF, OFAG, OFEV (Service phytosanitaire fédéral, Office fédéral de l'agriculture, Office fédéral de l'environnement) 2015 : Fiche d'information Chancre de l'écorce du châtaignier : 2 p.

SSHL, CHy (Société suisse d'hydrologie et de limnologie, Commission suisse d'hydrologie) 2011 : Les effets du changement climatique sur l'utilisation de la force hydraulique. Rapport de synthèse. In : *Matériaux pour l'Hydrologie de la Suisse n° 38*, Berne : 28 p.

Steger C., Kotlarski S., Jonas T., Schär C. 2013 : Alpine Snow Cover in a Changing Climate. A Regional Climate Model Perspective. In : *Climate Dynamics* 41(3–4) : pp. 735 – 754.

Steinmüller K. 2007 : Wilde Zukünfte. In : *Swissfuture – das Magazin für Zukunftsmonitoring*, 02/07 : pp. 4 – 10.
Internet : https://www.swissfuture.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2013/08/02_07_Wildcards.pdf. Consulté le 30.05.2017.

Steinmüller A., Steinmüller K. 2004 : Wild Cards. Wenn das Unwahrscheinliche eintritt. Murmann Verlag GmbH, Hambourg : 200 p.

Stucki P., Brönnimann S., Martius O., Philipp N. 2014 : A catalog of high-impact windstorms in Switzerland since 1859. In : *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14(11) : pp. 2867 – 2882.

Swiss Re 2012 : Les inondations en Suisse – un risque sous-estimé : 12 p.

TECFA (Université de Genève) 2016 : Tableau de classification des avalanches.

Internet : <http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/UVLibre/9899/jeu09/schema.htm>. Consulté le 02.10.2016.

Thommen O., Braun-Fahrlander C. 2004 : Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP), Bâle : 85 p.

Tratschin R., Dübendorfer C., Fu R. 2016 : Hitze und Trockenheit im Sommer und Herbst 2015. Auswirkungen und deren Bewältigung in der Schweizer Wasserwirtschaft. Bericht vom 28. September 2016. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Zollikon : 33 p.

Truites & Rivières 2016 : Comment agit la température de l'eau sur le milieu.

Internet : www.truitesetriveres.com/action-de-la-temperature-sur-leau.html. Consulté le 21.11.2016.

UKCIP (UK Climate Impacts Programme) 2007 : Identifying adaptation options, Oxford : 34 p.

Union Suisse des Paysans 2016 : Schädlinge.

Internet : www.landwirtschaft.ch/wissen/pflanzen/allgemeines/pflanzenschutz/schaedlinge/. Consulté le 24.08.2016.

Usbeck T., Wohlgemuth T., Pfister C., Volz R., Beniston M., Dobbertin M. 2010 : Wind speed measurements and forest damage in Canton Zurich (Central Europe) from 1891 to winter 2007. In : *Int. J. Climatol.* 30 : pp. 347 – 358.

Valese E., Conedera M., Vacik H., Japelj A., Beck A., Coccia G., Cvenkel H., Di Narda N., Ghiringhelli A., Lernessi A., Mangiavillano A., Pelfini F., Pelosini R., Ryser D., Wastl C. 2011 : Wildfires in the Alpine region. First results from the ALP FFIRS project. 5th International Wildland Fire Conference : 15 p.

Vicedo-Cabrera A.M., Ragettli M.S., Schindler C., Rösli M. 2016 : Excess mortality during the warm summer 2015 in Switzerland. In *Swiss Medical Weekly*. 146 : 12 p.

- Ville de Sion 2017 : Aménagement des villes et adaptation au changement climatique. Sélection d'expériences et de bonnes pratiques de la Ville de Sion, Sion : 68 p.
- Vittoz P., Cherix D., Gonseth Y., Lubini V., Maggini R., Zbinden N., Zumbach S. 2013 : Climate change impacts on biodiversity in Switzerland. A review. In : *Journal for Nature Conservation*. Volume 21. Issue 3 : pp. 154 – 162.
- Walter C., Bispo A., Chenu C., Langlais-Hesse A., Schwartz C. 2015 : Les services écosystémiques des sols – du concept à sa valorisation. In : *Cahier Demeter* : pp. 73 – 90.
- Wastl C., Schunk C., Lüpke M., Cocca G., Conedera M., Valse E., Menzel A. 2013 : Large-scale weather types, forest fire danger, and wildlife occurrence in the Alps. In : *Agricultural and Forest Meteorology* 168 : pp. 15 – 25.
- Weber M., Schild A. 2007 : Stand der Bewässerung in der Schweiz. Bericht zur Umfrage 2006. Éd. Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Berne : 17 p.
- 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 (OFEV), Berne : 88 p.
- Weidmann M. 2010 : Sicherheit von Dächern und Fassaden bezüglich schadenverursachendem Wind. Synthesebericht für Architekten, Bauherren und Gebäudeeigentümer. Éd. Fondation de prévention des établissements cantonaux d'assurance, Berne : 68 p.
- Wermelinger B., Forster B., Hölling D., Plüss T., Raemy O., Kay A. 2015 : Espèces invasives de capricornes provenant d'Asie. Écologie et gestion. 2^e édition révisée. Notice pour le praticien n° 50 : 16 p.
- Wetter O., Pfister C., Weingartner R., Trösch J. 2011 : The largest floods in the High Rhine basin since 1268 assessed from documentary and instrumental evidence. In : *Hydrological Sciences Journal* 56(5) : pp. 733 – 758.
- Wilhelmi O.V., Hayden M.H. 2010 : Connecting people and place. A new framework for reducing urban vulnerability to extreme heat. In : *Environmental Research Letters* 5(1), Boulder : 7 p.
- Wohlgemuth T., Brigger A., Gerold P., Laranjeiro L., Moretti M., Moser B., Rebetez M., Schmatz D., Schneiter G., Sciacca S., Sierro A., Weibel P., Zumbunnen T., Conedera M. 2010 : Vivre avec les incendies de forêt. Notice pour le praticien n° 46 : 16 p.
- WSL, OFEFP (Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage) 2001 : Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse, Birmensdorf/Berne : 376 p.
- Yu Y., Feng K., Hubacek K. 2013 : Tele-connecting local consumption to global land use. In : *Global Environmental Change* 23 (2013) : pp. 1178 – 1186.
- Zecken.ch 2017 : Krankheiten.
Internet : www.zecken.ch/Krankheiten/krankheiten.html. Consulté le 27.02.2017.
- Zuber R. 2015 : Les effets du sel et comment y remédier. In : *La forêt* 2/15 : pp. 9 – 11.

A3.3 Illustrations

Fig. 1 Changements climatiques : risques et opportunités prioritaires pour la Suisse	13	Fig. 13 Accroissement de la sécheresse : vue d'ensemble des risques, qu'ils soient ou non prioritaires	36
Fig. 2 Analyse des risques et opportunités liés aux changements climatiques : régions faisant l'objet des études de cas et grandes régions	18	Fig. 14 Évolution de la baisse des rendements agricoles dans les différentes grandes régions	38
Fig. 3 Graphique d'ensemble illustrant les risques et opportunités se rapportant au défi «Élévation de la limite des chutes de neige» (exemple)	19	Fig. 15 Grandes régions dans lesquelles le risque «Baisse des rendements agricoles» est prioritaire	39
Fig. 4 Carte décrivant l'évolution du risque prioritaire «Baisse des revenus du tourisme hivernal» dans les différentes grandes régions (exemple)	20	Fig. 16 Évolution du risque d'incendies de forêt dans les différentes grandes régions	41
Fig. 5 Pictogrammes désignant les grandes régions dans lesquelles un risque (ou une opportunité) est prioritaire	20	Fig. 17 Grandes régions dans lesquelles le risque «Augmentation du risque d'incendies de forêt» est prioritaire	42
Fig. 6 Accentuation des fortes chaleurs : vue d'ensemble des risques, qu'ils soient ou non prioritaires	26	Fig. 18 Évolution des pénuries d'eau dans les différentes grandes régions	44
Fig. 7 Dégradation de la santé humaine : évolution du risque dans les différentes grandes régions	28	Fig. 19 Grandes régions dans lesquelles le risque «Augmentation des pénuries d'eau» est prioritaire	44
Fig. 8 Grandes régions dans lesquelles le risque «Dégradation de la santé humaine» est prioritaire	29	Fig. 20 Évolution de la production hydroélectrique estivale dans les différentes grandes régions	45
Fig. 9 Évolution de la baisse de la productivité au travail dans les différentes grandes régions	31	Fig. 21 Grandes régions dans lesquelles le risque «Diminution de la production hydroélectrique estivale» est prioritaire.	45
Fig. 10 Grandes régions dans lesquelles le risque «Baisse de la productivité au travail» est prioritaire	32	Fig. 22 Élévation de la limite des chutes de neige : vue d'ensemble des risques et opportunités, qu'ils soient ou non prioritaires	48
Fig. 11 Évolution du besoin en énergie de refroidissement dans les différentes grandes régions	33	Fig. 23 Évolution de la baisse des revenus du tourisme hivernal dans les différentes grandes régions	50
Fig. 12 Grandes régions dans lesquelles le risque «Augmentation du besoin en énergie de refroidissement» est prioritaire	34	Fig. 24 Grandes régions dans lesquelles le risque «Baisse des revenus du tourisme hivernal» est prioritaire	50
		Fig. 25 Évolution de la production énergétique hivernale dans les différentes grandes régions	51

Fig. 26 Grande région dans laquelle l'opportunité « Augmentation de la production énergétique hivernale » est prioritaire	52	Fig. 37 Dommages potentiels dus aux tempêtes dans les différentes grandes régions	72
Fig. 27 Évolution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige dans les différentes grandes régions	53	Fig. 38 Grandes régions dans lesquelles les dommages matériels dus à l'évolution de l'activité des tempêtes ont une importance prioritaire	72
Fig. 28 Grandes régions dans lesquelles l'opportunité « Diminution des dommages et des frais d'entretien liés à la neige » est prioritaire	54	Fig. 39 Potentiel de dommages matériels dus à la grêle dans les différentes grandes régions	73
Fig. 29 Aggravation du risque de crues : vue d'ensemble des risques et opportunités, qu'ils soient ou non prioritaires	57	Fig. 40 Grandes régions dans lesquelles les dommages matériels dus à l'évolution de l'activité gréleuse ont une importance prioritaire	74
Fig. 30 Grandes régions dans lesquelles le risque « Augmentation des dommages aux personnes dus aux crues, aux mouvements de terrain, aux tempêtes et à la foudre » est prioritaire	59	Fig. 41 Dégradation de la qualité de l'eau, des sols et de l'air : vue d'ensemble des risques, qu'ils soient prioritaires ou non	76
Fig. 31 Évolution des dommages matériels dus aux crues dans les différentes grandes régions	60	Fig. 42 Processus agissant sur les écosystèmes et impacts sur la composition des espèces et les services écosystémiques	82
Fig. 32 Grandes régions dans lesquelles le risque « Augmentation des dommages matériels dus aux crues » est prioritaire	61	Fig. 43 Grandes régions dans lesquelles le risque « Dégradation de la biodiversité » et l'opportunité « Modification de la composition des espèces et des milieux naturels » sont prioritaires	87
Fig. 33 : Fragilisation des pentes et recrudescence des mouvements de terrain : vue d'ensemble des risques, qu'ils soient ou non prioritaires	64	Fig. 44 Propagation d'organismes nuisibles, de maladies et d'espèces exotiques : vue d'ensemble des risques prioritaires	91
Fig. 34 Évolution des dommages matériels dus à la fragilisation des pentes et à la recrudescence des mouvements de terrain dans les différentes grandes régions	66	Fig. 45 Évolution du risque « Dégradation de la santé humaine » dans les différentes grandes régions	93
Fig. 35 Grandes régions dans lesquelles le risque « Augmentation des dommages matériels dus à la fragilisation des pentes et à la recrudescence des mouvements de terrain » est considéré comme prioritaire	67	Fig. 46 Grandes régions dans lesquelles le risque « Dégradation de la santé humaine » est prioritaire	94
Fig. 36 Modification de l'activité des tempêtes et de la grêle : vue d'ensemble des risques et opportunités potentiels prioritaires	69	Fig. 47 Grande région dans laquelle le risque « Dégradation de la santé des animaux de rente et des animaux de compagnie » est prioritaire	95
		Fig. 48 Évolution du risque « Baisse des rendements agricoles » dans les différentes grandes régions	96

Fig. 49 Grande région dans laquelle le risque «Baisse des rendements agricoles» est prioritaire	97
Fig. 50 Évolution du risque «Dégradation des services écosystémiques forestiers» dans les différentes grandes régions	98
Fig. 51 Grandes régions dans lesquelles le risque «Dégradation des services écosystémiques forestiers» est prioritaire	99
Fig. 52 Amélioration des conditions locales : vue d'ensemble des opportunités, qu'elles soient prioritaires ou non	101
Fig. 53 Évolution de l'opportunité «Diminution du besoin en énergie de chauffage» dans les différentes grandes régions	102
Fig. 54 Grandes régions dans lesquelles l'opportunité «Diminution du besoin en énergie de chauffage» est prioritaire	103
Fig. 55 Évolution de l'opportunité «Augmentation des revenus du tourisme estival» dans les différentes grandes régions	104
Fig. 56 Grandes régions dans lesquelles l'opportunité «Augmentation des revenus du tourisme estival» est prioritaire.	105
Fig. 57 Évolution de l'opportunité «Hausse des rendements agricoles» dans les différentes grandes régions	107
Fig. 58 Grandes régions dans lesquelles l'opportunité «Hausse des rendements agricoles» est prioritaire	107
Fig. 59 Grandes régions de Suisse et études de cas	125
Fig. 60 Matrice de pertinence : aléas et effets par domaine d'impact	126

