

La forêt suisse face aux changements climatiques: quelles évolutions attendre?

Barbara Allgaier Leuch, Kathrin Streit et Peter Brang

En Suisse, les températures augmenteront et les étés deviendront plus secs. La raison? Les changements climatiques d'origine anthropique. La sécheresse estivale devrait s'accroître le plus dans les stations forestières déjà relativement sèches aujourd'hui. Or, du fait des changements climatiques, les conditions de croissance et les rapports de concurrence entre les arbres forestiers évoluent, ce qui induit à long terme une composition modifiée des essences. Aussi est-il important que les responsables forestiers soutiennent l'adaptation de la forêt. En effet, l'ampleur et la vitesse des changements climatiques devraient être telles que sans mesures ciblées d'adaptation, la forêt ne sera plus en mesure de fournir des prestations précieuses au niveau requis.



Fig. 1. Une pente escarpée des Préalpes illustre le réchauffement climatique attendu. Si l'on descend cette pente de 600 mètres d'altitude, on est confronté à une augmentation des températures de 3,6 degrés, et l'on passe alors des forêts de résineux de l'étage montagnard supérieur à celles de feuillus de l'étage submontagnard.

Au cours des dernières années et des dernières décennies, les températures n'ont cessé d'augmenter en Suisse (fig. 1). C'est ce que montrent les enregistrements de MétéoSuisse (fig. 2), selon lesquels, depuis 1986, les températures moyennes annuelles dépassent toujours la moyenne des années 1961–1990. Dans l'ensemble, depuis le début des relevés en 1864, les températures moyennes annuelles ont progressé d'environ 1,8 degré dans le pays. C'est approximativement deux fois plus que la moyenne mondiale, avec l'enregistrement d'une hausse de 0,85 degré (GIEC 2014). Différents facteurs expliquent ce réchauffement nettement supérieur en Suisse. Jouent notamment un rôle la distance par rapport à la mer, la capacité des montagnes à absorber davantage de chaleur que les plaines du fait de leur masse et la réflexion décroissante du rayonnement solaire en raison de la disparition de surfaces glaciaires et enneigées (effets de l'albédo).

Il a été entre-temps clairement démontré que le climat de la Terre se réchauffe, et ce à un rythme accéléré depuis la moitié du XX^e siècle (GIEC 2014). Il a été également prouvé que l'être humain en est le principal responsable (voir l'encadré «Groupe d'experts de l'ONU sur l'évolution du climat GIEC»). L'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère se traduit par une émission moindre d'énergie dans l'espace et par le réchauffement de la Terre à l'image d'une serre. Le gaz à effet de serre de loin le plus important est le dioxyde de carbone (CO₂). Il est libéré lors de la combustion de charbon, de pétrole et de gaz naturel, ainsi que lors du déboisement dans les régions

tropicales notamment. Le caractère exceptionnel de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre ressort entre autres de l'exemple suivant: les 800 000 dernières années, la concentration atmosphérique de CO₂ n'a quasiment jamais excédé 280 parties par million (ppm); en revanche, lors de l'augmentation actuelle d'avril 2014, elle a dépassé pour la première fois la marque des 400 ppm, étant ainsi de 40 % supérieure à la valeur des millénaires passés (SCNAT 2016).

Le rapport entre cette concentration atmosphérique de gaz à effet de serre et la température sert à estimer l'évolution future du réchauffement mondial et les autres modifications climatiques qui y sont liées. Prévoir l'évolution des émissions de gaz à effet de serre s'accompagne toutefois de grandes incertitudes car celle-ci dépend des évolutions sociétales, technologiques, économiques et politiques du monde entier. Pour pouvoir néanmoins émettre des énoncés sur l'évolution climatique, on a recours à des modélisations qui reposent sur des scénarios d'émissions. Un scénario d'émissions décrit une projection déterminée pour les émissions de gaz à effet de serre. La modélisation effective s'appuie alors sur des modèles climatiques complexes qui reproduisent les processus physiques pertinents pour le climat sur Terre.

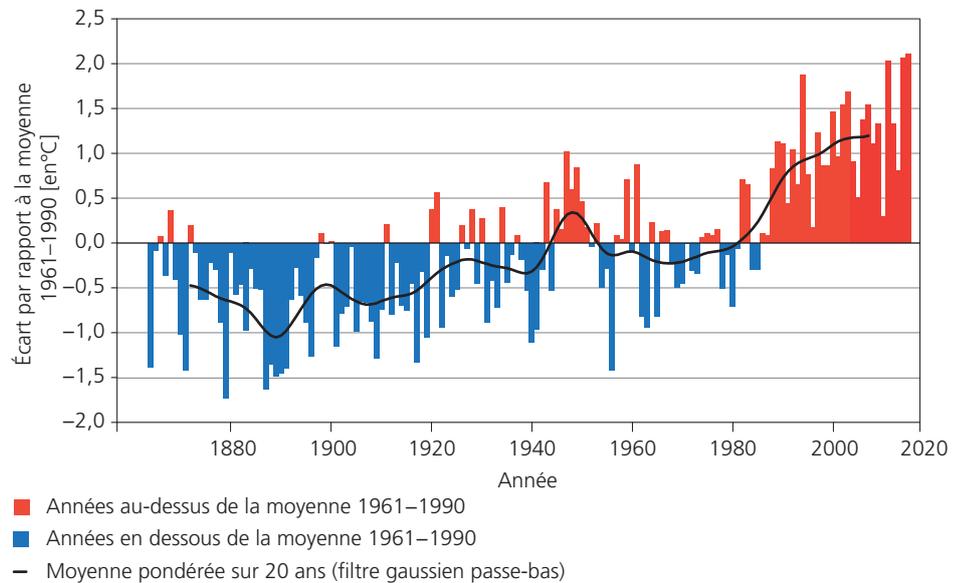


Fig. 2. Écart entre les températures moyennes annuelles de 1864 à 2015 et la moyenne pluriannuelle (1961–1990). Source: MétéoSuisse (2016).

L'objectif des 2 degrés

La communauté internationale s'efforce depuis longtemps de limiter le réchauffement climatique. 1992 a déjà vu l'adoption à Rio de Janeiro de la Convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques. Son objectif: «empêcher

toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique». Lors de la Conférence de Cancún en 2010, «l'objectif des 2 degrés» a été décidé. Cela veut dire que le réchauffement mondial moyen par rapport à l'ère préindustrielle ne doit pas excéder 2 degrés. Depuis la Conférence de Paris de 2015 sur les changements climatiques, le réchauffement doit être contenu bien en dessous des 2 degrés et si possible limité à 1,5 degré. Pour y parvenir, il est nécessaire de réduire rapidement et considérablement les émissions de gaz à effet de serre. «Rapidement et considérablement» signifie que d'ici 2050, et en comparaison avec l'année 1990, il faudrait réduire les émissions de gaz à effet de serre d'au moins la moitié au niveau mondial, et de 80 à 95 % dans les pays industrialisés (MANSER *et al.* 2015). Cette évolution correspond à celle esquissée par le scénario d'émissions RCP3PD, le «scénario de réduction» (Fig. 3, à gauche). Même si nous parvenons à atteindre ces objectifs, le réchauffement dépassera toutefois 2 degrés en Suisse en comparaison avec l'ère préindustrielle (Fig. 3, à droite, échelle de droite). Malgré tous les efforts entrepris pour protéger le climat, nous sommes actuellement encore très loin d'une stabilisation, et encore plus d'une réduction des émissions de gaz à effet de serre – ces dernières continuent d'augmenter et sont même supérieures aujourd'hui aux projections du scénario

Le Groupe d'experts de l'ONU sur l'évolution du climat GIEC

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est un organe international créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations-Unies pour l'environnement (PNUE) en vue d'évaluer et de dresser l'état de la recherche sur les changements climatiques à l'attention des décideurs politiques. À intervalles réguliers, le GIEC publie des rapports d'évaluation. Des centaines de scientifiques participent à leur rédaction dont des chercheurs originaires de Suisse, à l'image du climatologue Thomas Stocker de l'Université de Berne; Reto Knutti de l'EPF de Zurich et Konrad Steffen de l'Institut fédéral de recherches WSL. Les gouvernements des pays membres de l'ONU adoptent les rapports d'évaluation (Summary for Policymakers). Par cet acte, les gouvernements reconnaissent «la légalité des contenus scientifiques». Voici un extrait du résumé du 5^e Rapport d'évaluation de novembre 2014 (GIEC 2014):

1. Le réchauffement du climat est évident.
2. L'influence de l'homme sur le climat est manifeste.
3. La limitation des changements climatiques nécessite de fortes réductions à long terme des émissions de gaz à effet de serre.

Le Programme de recherche de l'OFEV et du WSL «Forêt et changements climatiques»

Le Programme de recherche «Forêt et changements climatiques» (2009–2017) a été lancé par l'Office fédéral de l'environnement et l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, en collaboration avec les cantons. Son objectif: élaborer des connaissances fondamentales sur les répercussions des changements climatiques sur la forêt, afin que les acteurs puissent évaluer les risques, estimer la capacité d'adaptation de la forêt, et prendre ainsi les mesures adaptatives nécessaires. Les résultats des 42 projets de recherche ont été compilés dans le cadre de la synthèse scientifique du Programme de recherche et mis en regard avec la recherche internationale. Ils ont été publiés fin 2016 sous forme de livre: «Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation» (PLUESS *et al.* 2016).

Série de Notices pour le praticien

La présente Notice marque le coup d'envoi d'une série de Notices intitulée «La Forêt suisse face aux changements climatiques». Elle s'adresse spécialement aux responsables forestiers, les aide à évaluer les risques liés aux changements climatiques et à adapter l'exploitation forestière en conséquence.

A2, scénario d'émissions qui ne comporte aucune mesure explicite de protection du climat (SCNAT 2016). Dans le scénario A1B également représenté à la figure 3, les émissions de gaz à effet de serre reculent certes, mais par rapport au «scénario de réduction» RCP3PD, cette diminution survient plus tard, et elle est de moins grande ampleur. Ce scénario préfigure aussi un réchauffement au-delà de l'année 2100. Les paragraphes suivants de cette Notice reposent sur le scénario A1B, scénario «moyen», même si l'on sait qu'en fonction des évolutions au niveau mondial, d'autres «avenirs climatiques» – sur fond de réchauffement moins marqué ou au contraire plus extrême – sont aussi possibles.

Scénarios climatiques pour la Suisse

Selon le scénario «moyen» A1B, un réchauffement de 3,3 degrés est projeté en Suisse d'ici la fin du siècle, en comparaison avec la période de référence 1980–2009, contre un réchauffement de 4,8 degrés par rapport à l'ère préindustrielle (fig. 3, à droite). Cette hausse des températures sera alors plus forte en été que pendant les autres saisons (fig. 4). Les différences régionales devraient en revanche rester marginales. Les modèles indiquent toutefois un réchauffement légèrement supérieur tant à haute altitude que dans le sud

de la Suisse (SCNAT 2016). Dans la région des Alpes occidentales, on table ainsi, d'ici la fin du siècle, sur une hausse des températures estivales d'environ 4,5 degrés par rapport à la période de référence de 1980–2009.

Comme les précipitations ont une variabilité nettement supérieure à celle des

températures atmosphériques, il est plus difficile de prédire leur évolution. Le réchauffement planétaire entraîne une accélération du cycle hydrologique, d'où l'augmentation au niveau mondial des précipitations. En Suisse, la quantité moyenne annuelle ne devrait évoluer que légèrement tandis que la saisonnalité des précipitations serait modifiée. L'été, la Suisse se retrouverait ainsi de plus en plus dans la sphère d'influence de la zone climatique méditerranéenne très sèche, ce qui laisse augurer une réduction des précipitations estivales d'ici la fin du siècle. La baisse la plus notable devrait avoir lieu dans le nord-ouest et dans le sud du pays, avec des reculs de 24 et 23 % selon le scénario «moyen» A1B (fig. 5). Cette diminution estivale est essentiellement due à la réduction du nombre de jours de pluie en Suisse, les longues périodes de sécheresse devenant ainsi plus fréquentes. Pendant les autres saisons, il faut s'attendre à une quantité supérieure de précipitations pour certaines parties du pays, le sud en particulier (SCNAT 2016).

Les températures et précipitations moyennes ne seront pas les seules à évoluer. Des changements sont aussi projetés au niveau des événements climatiques extrêmes. Les phénomènes climatiques à l'image de l'été caniculaire de 2003 ou des précipitations du siècle en août 2005,

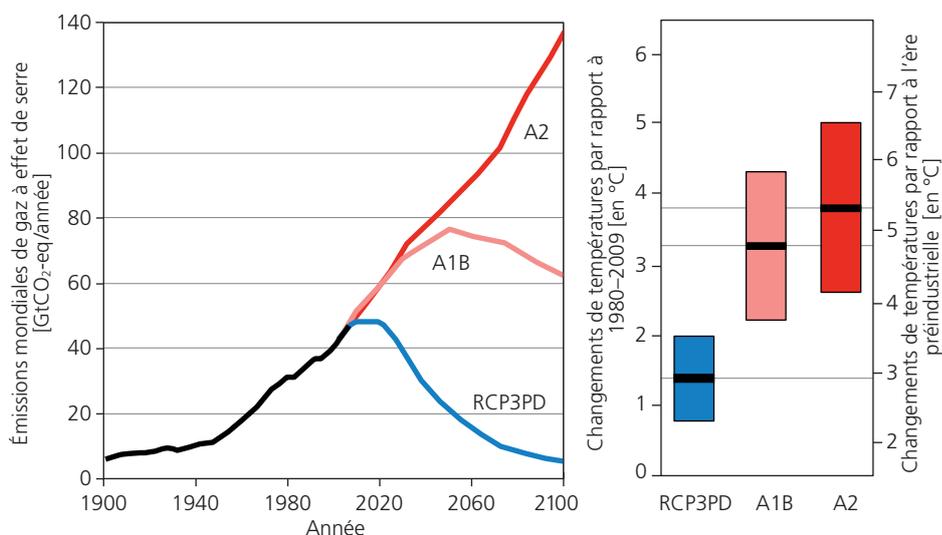


Fig. 3. À gauche: émissions mondiales de gaz à effet de serre jusqu'à ce jour (en noir), ainsi que modélisation de l'évolution future selon les scénarios d'émissions RCP3PD (scénario de réduction), A1B (scénario «moyen») et A2 (scénario sans mesure explicite de protection du climat). À droite: sur la base de ces scénarios, déduction de l'augmentation des températures moyennes annuelles en Suisse d'ici la fin du XXI^e siècle (période allant de 2070 à 2099) en comparaison avec celle de 1980–2009 (axe de gauche) et celle de l'ère préindustrielle (axe de droite). La médiane (trait noir), ainsi que la zone comprise entre 2,5 et 97,5 centiles (barre), sont alors représentées. Source: C2SM (2011), modifié.

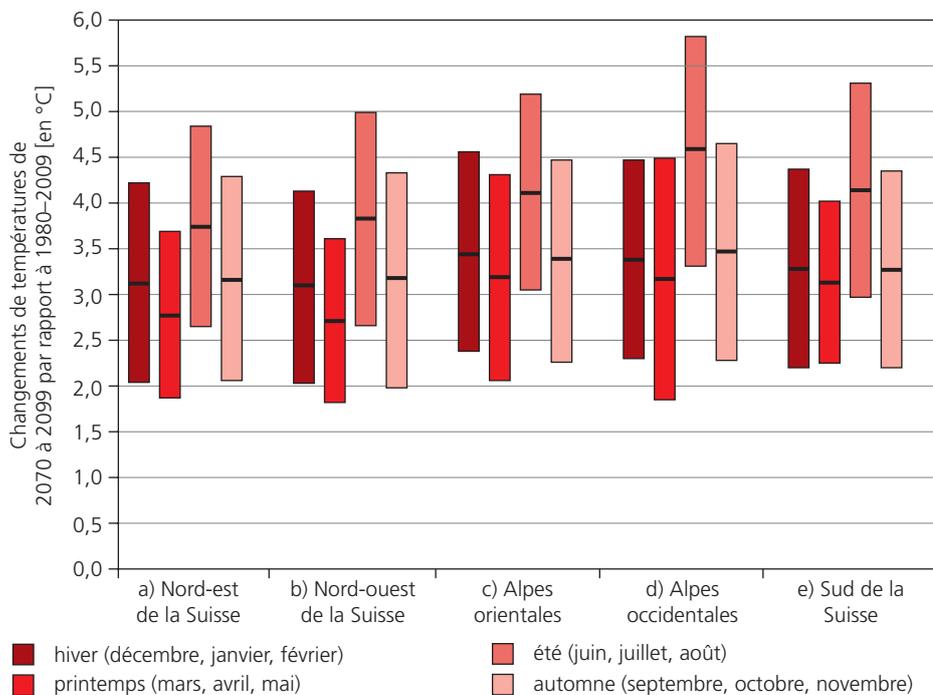


Fig. 4. Changements de températures en Suisse en fonction de la région et de la saison, jusqu'à la fin du XXI^e siècle (2070–2099) en comparaison avec la période 1980–2009, selon le scénario d'émissions «moyen» A1B. Sont représentées la médiane (trait noir) ainsi que la zone comprise entre 2,5 et 97,5 centiles (barre). Sources: C2SM (2011; graphiques a, b, e) et FISCHER *et al.* (2015; graphiques c und d), modifiés.

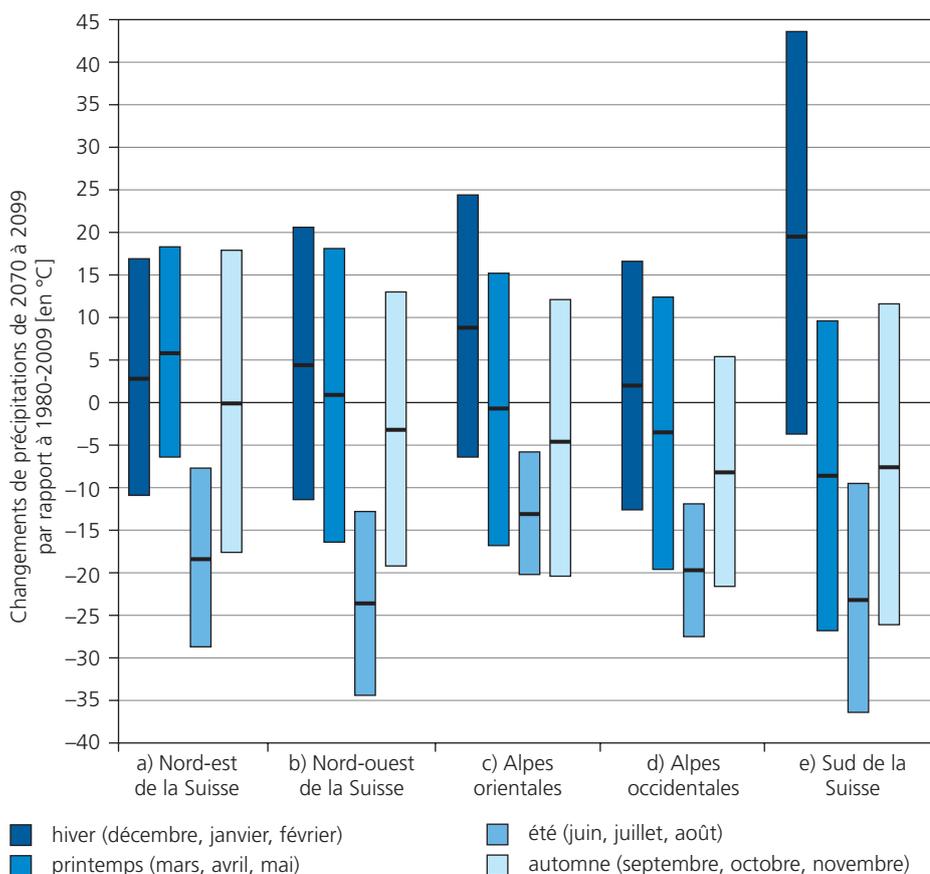


Fig. 5. Changements de précipitations en Suisse en fonction de la région et de la saison, jusqu'à la fin du XXI^e siècle (2070–2099) en comparaison avec la période 1980–2009, selon le scénario d'émissions «moyen» A1B. Sont représentées la médiane (trait noir) ainsi que la zone comprise entre 2,5 et 97,5 centiles (barre). Sources: C2SM (2011; graphiques a, b, e) et FISCHER *et al.* (2015; graphiques c und d), modifiés.

devraient être plus fréquents à l'avenir. Aujourd'hui en Suisse, on observe déjà une tendance vers un nombre croissant de jours de canicule plus intenses, et un nombre décroissant de jours de froid, tendance qui devrait se renforcer. Les vagues de chaleur estivales, étroitement liées à la sécheresse, devraient survenir bien plus souvent à la fin du siècle qu'à ce jour. La fréquence et l'intensité des fortes précipitations devraient aussi s'accroître. Pour les tempêtes hivernales, l'évolution ultérieure est au contraire incertaine. Seuls quelques modèles indiquent un changement par rapport à la situation actuelle, et par le passé, aucune tendance nette ne pouvait être identifiée (SCNAT 2016).

Répercussions sur les stations forestières

Les facteurs de la station – climat, sol et topographie – déterminent largement les essences et associations forestières qui seront présentes à un endroit donné. Avec le changement climatique, un des facteurs déterminant pour la station se modifie fortement. Trois caractéristiques se rapportant à la forêt nous permettent ensuite de représenter l'ampleur potentielle des modifications de la station:

1. la disponibilité en eau,
2. les étages de végétation et
3. la qualité d'habitat pour des essences sélectionnées.

Moins d'eau disponible en période de végétation

Avec le changement climatique, les arbres auront probablement, d'ici la fin du siècle, moins d'eau à disposition pendant la période de végétation, c'est-à-dire lorsqu'ils en auront le plus besoin. En sont responsables la baisse des précipitations estivales ainsi que l'évaporation croissante due au réchauffement.

La relation entre l'évapotranspiration réelle et potentielle (relation E_{Tr}/E_{Tp}) permet de mesurer la disponibilité en eau. L'évapotranspiration est la somme de l'évaporation (évaporation d'eau directe à partir des surfaces d'eau libre et des sols nus) et de la transpiration végétale (évaporation de l'eau par les feuilles des plantes). La relation E_{Tr}/E_{Tp} prend non seulement en compte dans le calcul l'eau du sol, mais aussi la température et le rayonnement. Elle indique si les arbres

peuvent effectivement puiser dans le sol l'eau nécessaire à leur transpiration. Si tel n'est pas le cas, ils économisent de l'eau en fermant les stomates de leurs feuilles. Ils ne sont toutefois alors plus en mesure d'effectuer la photosynthèse. Lorsque la relation E_{Tr}/E_{Tp} passe sous la barre de 0,8, on peut s'attendre à des perturbations croissantes dues à la sécheresse.

Deux modèles climatiques régionaux différents ont permis de montrer les évolutions potentielles, jusqu'à la fin du siècle, de la relation E_{Tr}/E_{Tp} pendant la période de végétation. Ces modèles prennent en considération l'éventail des évolutions climatiques possibles dans le cadre du scénario «moyen» A1B (REMUND *et al.* 2016). Le modèle RegCM3 correspond aux prévisions les plus mesurées: en moyenne 2 % de précipitations en moins pendant le semestre d'été (d'avril à septembre) au niveau suisse et un réchauffement de 3,1 degrés d'ici la fin du siècle. Le modèle CLM est celui des projections les plus extrêmes, avec une baisse de 19 % des précipitations et une hausse de 4,3 degrés des températures.

Dans la plupart des régions suisses, la relation E_{Tr}/E_{Tp} dépasse aujourd'hui la barre des 0,8 en moyenne dans la période de végétation. La tendance est toutefois à la baisse et, d'ici la fin du siècle, la situation se détériorera probablement nettement en fonction de la région et de l'«avenir climatique» (RegCM3 ou CLM) pris en considération (fig. 6). À l'avenir, les zones du Valais ou de l'Arc lémanique, déjà connues aujourd'hui pour leur sécheresse, ne seront vraisemblablement pas les seules à être concernées par la pénurie d'eau. Une forte diminution de la disponibilité en eau, notamment sur le Plateau et au Tessin, est projetée dans le modèle CLM «plus sec». À la fin du siècle, si cet «avenir climatique» se concrétise, la disponibilité en eau dans la plupart des stations actuelles de forêts mélangées de hêtres (étage submontagnard) et de stations actuelles de hêtraies (étage montagnard inférieur), correspondra à celle des stations actuelles de pinèdes, voire de chênaies (SCHERLER *et al.* 2016). Dans le modèle «moins sec» RegCM3, seule une réduction moindre, dans quelques parties de Suisse, de la disponibilité en eau est alors escomptée.

De façon générale, on s'attend à ce que la sécheresse s'aggrave le plus dans les stations forestières déjà relativement sèches aujourd'hui. Cette pénurie d'eau devrait en revanche quasiment épargner

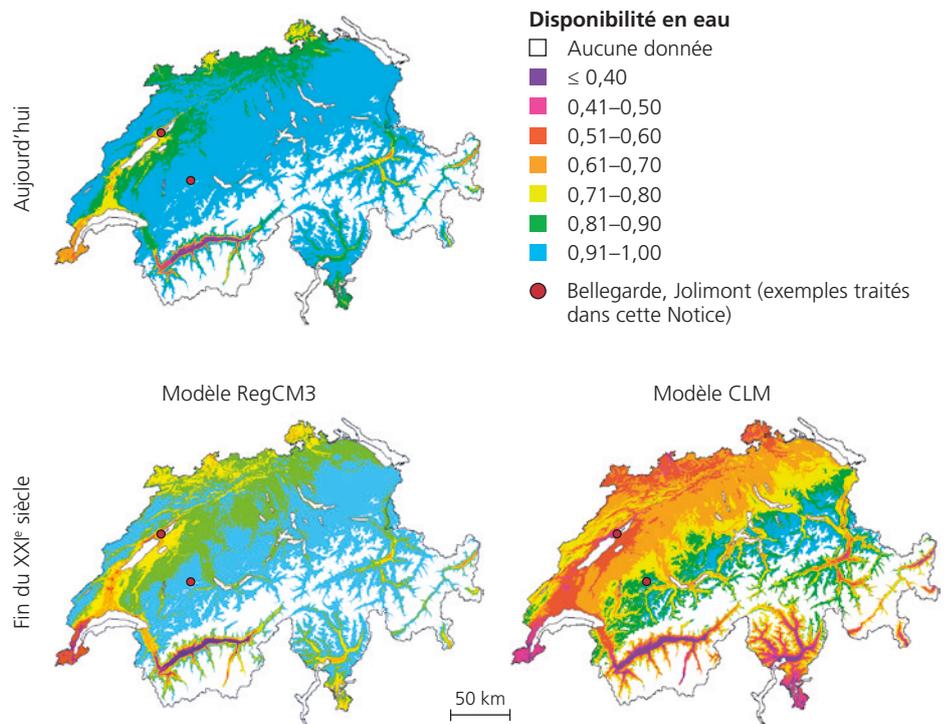


Fig. 6. Disponibilité en eau, exprimée par la relation moyenne E_{Tr}/E_{Tp} pendant la période de végétation (avril – août): aujourd'hui (en haut; moyenne des années 1981–2010) et à la fin du siècle (en bas; 2070–2099). Modélisation effectuée grâce au modèle «moins sec» RegCM3 (à gauche) et au modèle «plus sec» CLM (à droite) d'après le scénario d'émissions «moyen» A1B. Source: REMUND *et al.* (2016), modifié.

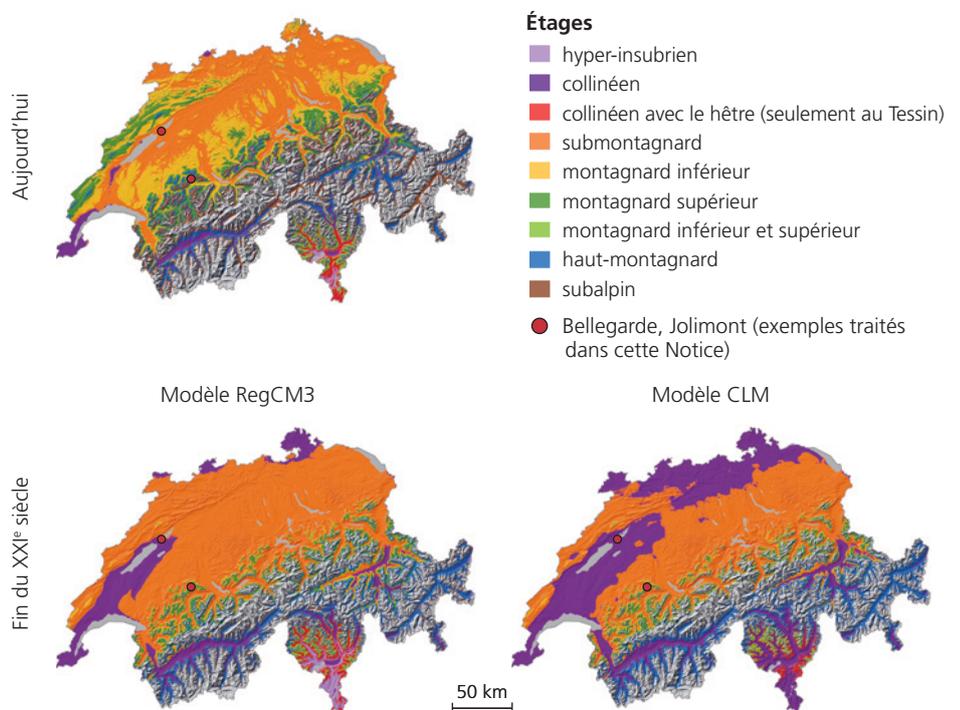
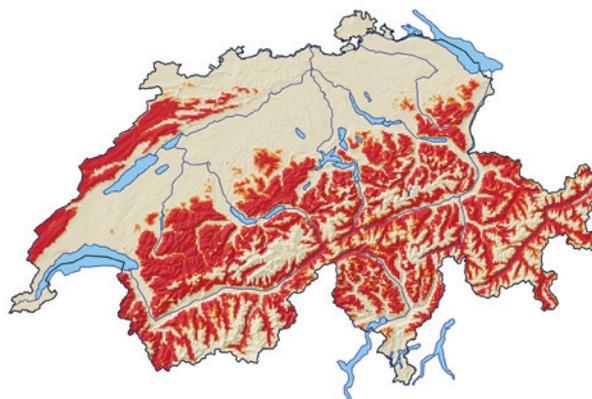
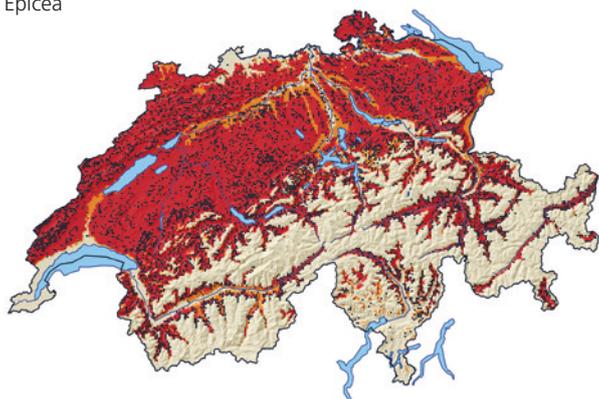


Fig. 7. Répartition des étages de végétation aujourd'hui en Suisse (en haut) et modélisation pour la fin du XXI^e siècle (2070–2099; en bas) avec le modèle «moins sec» RegCM3 (à gauche) et le modèle «plus sec» CLM (à droite) selon le scénario d'émissions «moyen» A1B, à l'intérieur de l'aire forestière actuelle. L'étage subalpin supérieur n'a pas été modélisé. Source: Frehner *et al.* (en cours de rédaction; état: janvier 2017). Cartes: Abenis AG.

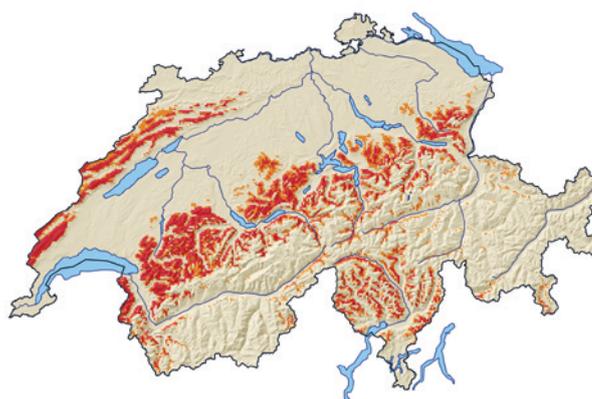
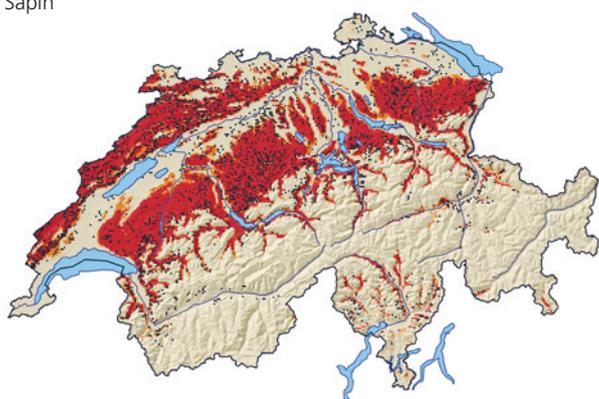
Climat actuel

Climat dans la 2^e moitié du siècle

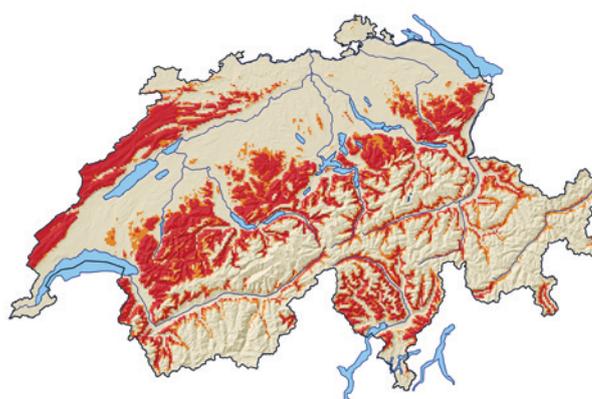
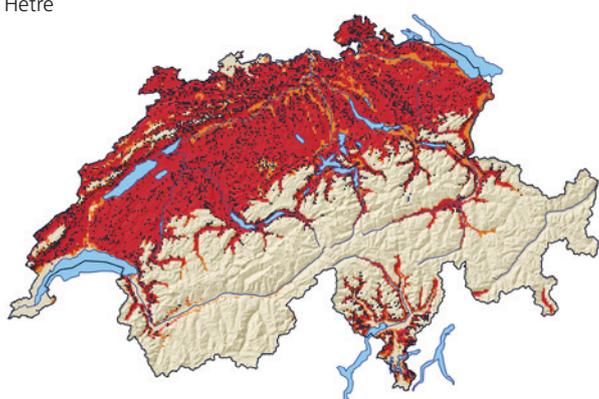
Épicéa



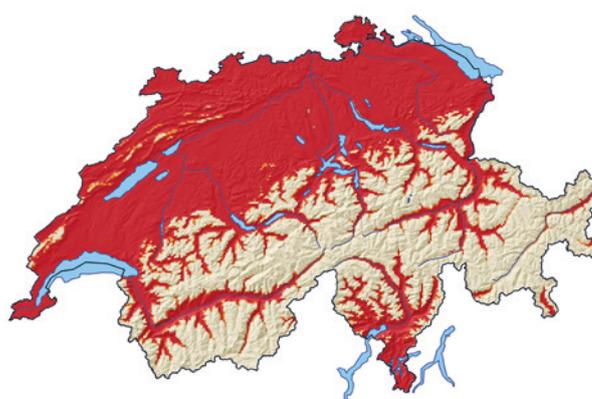
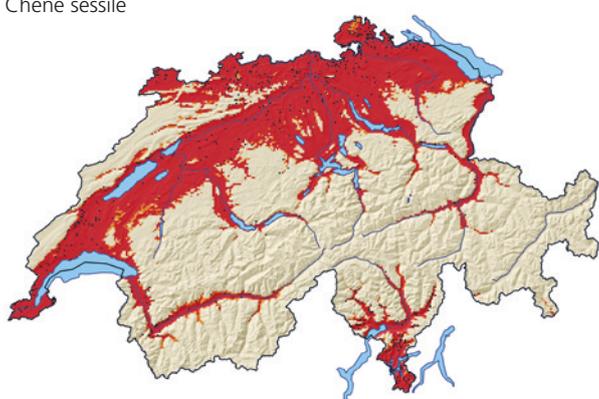
Sapin



Hêtre



Chêne sessile



50 km

■ Qualité d'habitat probablement élevée ■ Qualité d'habitat probablement faible ■ Situation peu claire

Fig. 8. Qualité d'habitat pour l'épicéa, le sapin, le hêtre et le chêne sessile aujourd'hui (1981–2010) et demain (2051–2080) selon le scénario d'émissions «moyen» A1B. Dans les graphiques à gauche est représentée, avec les points noirs, la présence actuelle effective de l'espèce en question selon l'Inventaire forestier national. Source et détails sur le mode de calcul: ZIMMERMANN *et al.* (2016). Illustrations modifiées.

les stations forestières des zones fraîches et très riches en précipitations sur des sols profonds ou impactés par les eaux souterraines, sols à gley par exemple, tels qu'on les retrouve souvent le long du versant nord des Alpes (SCHERLER *et al.* 2016).

Les étages collinéen et submontagnard gagnent du terrain

Du fait des températures, nos essences et associations forestières présentent une succession typique le long du gradient altitudinal. On a recours à celle-ci pour délimiter les étages de végétation (p. ex. FREHNER *et al.* 2005/09). Lors de la modélisation des limites supérieures de distribution de ces étages, pour les conditions climatiques actuelles et celles de la fin du siècle selon le scénario «moyen» A1B, des changements majeurs apparaissent (fig. 7). L'étage collinéen, presque limité aujourd'hui à la région de Genève-Lausanne et aux zones à basse altitude de la vallée du Rhône et dans lequel dominent les essences qui supportent bien la sécheresse, gagne tout d'abord du terrain sur le Plateau. C'est très net avec le modèle «plus sec» CLM, moins avec le modèle «moins sec» RegCM3. Mais c'est surtout l'étage submontagnard qui devrait fortement progresser. D'ici la fin du siècle, il aura vraisemblablement gagné en grande partie la région préalpine et pourrait alors couvrir la quasi-intégralité des chaînes de montagnes du Jura. Des reculs de l'aire de distribution des étages montagnard inférieur, montagnard supérieur, haut montagnard et subalpin sont en revanche anticipés.

La qualité d'habitat pour l'épicéa et le hêtre diminue

De fortes modifications concernant la qualité d'habitat («aires de répartition potentielles»; ZIMMERMANN *et al.* 2016) sont aussi attendues. Contrairement aux étages de végétation modélisés sur la base de la végétation naturelle potentielle, on a recours à la présence actuelle effective pour évaluer la qualité d'habitat. Trente essences ont été étudiées en tout: concrètement, pour une espèce donnée, on a à chaque fois recherché les endroits où, selon le scénario d'émissions «moyen» A1B, se retrouveraient à l'avenir les conditions actuelles de sa présence. Dans ce chapitre figurent les résultats pour l'épicéa, le hêtre et le sapin – les trois espèces

les plus fréquentes de Suisse – ainsi que pour le chêne sessile. Ceux portant sur les autres essences sont disponibles sur Internet (www.wsl.ch/lud/portree/download.ehtml; date de la recherche: 7.7.2017).

Tandis qu'aujourd'hui, presque toute la Suisse (apte au boisement) convient comme habitat à l'épicéa, seules les hautes altitudes des Alpes et des Préalpes, du Jura et du Tessin lui présenteront encore des conditions climatiques favorables pendant la seconde moitié du siècle, d'après le scénario d'émissions «moyen» A1B (fig. 8). La qualité d'habitat pour le hêtre connaîtra vraisemblablement aussi des changements majeurs. Sur le Plateau en particulier est prévu un climat où l'on ne trouve aujourd'hui ni hêtre ni épicéa en Suisse ou dans les pays voisins. Le chêne sessile devrait au contraire bénéficier du changement climatique (informations supplémentaires dans BONFILS *et al.* 2015). Comme pour le hêtre, on table pour le sapin sur une qualité d'habitat moindre sur le Plateau. Il se peut cependant que la modélisation sur le sapin soit trop pessimiste – quelques millénaires auparavant, il croissait en effet dans des conditions bien plus chaudes et plus sèches. Dans nos contrées, il a probablement disparu de nombreuses forêts, ne serait-ce qu'à la suite de feux anthropiques (CONEDERA et TINNER 2010).

La modélisation de la qualité d'habitat – de même que celle des étages de

végétation et de la disponibilité en eau – n'est pas capable de représenter les différences de stations observées à petite échelle dans de très nombreux endroits de Suisse. Dans le cadre du scénario d'émissions «moyen» A1B, l'épicéa et le hêtre devraient ainsi encore trouver des stations favorables sur le Plateau suisse à la fin du siècle, mais surtout dans des zones ombragées et bien approvisionnées en eau. Le changement d'essences n'aura pas non plus lieu aussi rapidement que le suggèrent les modélisations de la qualité d'habitat et des étages de végétation. Ces modélisations indiquent simplement dans quelle mesure le climat évolue pour une espèce ou un étage donné, et montrent ainsi les régions affectées par des risques élevés ou faibles pour diverses essences.

Les perturbations accélèrent les changements

Le changement climatique a aussi un impact sur les perturbations, incendies de forêt (fig. 9) ou épidémies de scolytes (fig. 10) par exemple. Chaque année en Suisse, on dénombre environ cent incendies de forêt, principalement dans les Alpes. À l'avenir, on table en été sur une augmentation du danger d'incendie de forêt dans toutes les parties du pays, les Alpes méridionales et centrales étant les plus concernées, les Alpes septentrionales



Fig. 9. Sur fond de changement climatique, le danger d'incendie de forêt augmentera dans toutes les parties du pays. En photo: incendie de forêt de Viège, avril 2011.

les moins. Si l'avenir climatique du modèle «plus sec» CLM se concrétise, le nombre de jours moyen avec un «danger d'incendie de forêt extrême» sera le plus souvent, à la fin du siècle, probablement supérieur à celui de l'été caniculaire de 2003 (PEZZATTI *et al.* 2016).

Le développement du typographe, principal ravageur forestier actuel, est aussi favorisé par le changement climatique. En raison des températures croissantes, on pourra souvent s'attendre, à la fin du siècle, à trois générations de scolytes par an sur le Plateau, et à deux dans les Préalpes et le Jura, phénomène qui n'a été observé que lors des conditions extrêmes de l'été caniculaire de 2003 (JAKOBY *et al.* 2016). Des périodes de sécheresse, et notamment des chablis dans des peuplements d'épicéas, vont stimuler davantage la pullulation du typographe et renforcer la pression sur les épicéas survivants. Une incertitude demeure toutefois quant à la modification de la fréquence des tempêtes à l'avenir (SCNAT 2016).

De façon générale, les influences climatiques et les perturbations à l'image des incendies de forêt et des épidémies de ravageurs ont un effet combiné, et ces perturbations accélèrent fortement les modifications causées par le changement climatique en forêt.

Répercussions sur les peuplements forestiers

Le changement climatique influe sur la croissance et sur la mortalité des arbres ...

Les arbres croissent en principe plus vite quand il fait plus chaud – tant que l'humidité est suffisante. La diminution de la disponibilité en eau (voir la fig. 6) limite de plus en plus la croissance des arbres à basse altitude en Suisse. Cela signifie une réduction probable à long terme des accroissements et des volumes de bois. À haute altitude au contraire, on peut escompter une plus forte croissance des arbres, car la disponibilité en eau devrait rester bonne la plupart du temps. L'«été du siècle» en 2003, on constatait déjà un tel comportement diamétralement opposé (DOBBERTIN 2005). Une sécheresse marquée peut aussi entraîner la mort de l'arbre. À ce jour, une faible mortalité due à la sécheresse a été observée pour la plupart des essences – le châtaignier au Tessin et le pin sylvestre des forêts sèches du Valais et des Grisons constituent des exceptions (ETZOLD *et al.* 2016). À l'avenir, on peut s'attendre à une mortalité croissante car les longues périodes de sécheresse devraient survenir nettement plus souvent (SCNAT 2016) et de nombreux organismes nuisibles à l'image du typographe, devraient profiter de la hausse des températures.

... et de ce fait sur la composition des essences

La réaction des arbres à l'augmentation des températures et à l'accentuation de la sécheresse estivale est spécifique à chaque espèce. Les «perdants» parmi les essences poussent plus lentement voire dépérissent, les «gagnants» tirent parti de la situation. Les rapports de concurrence interspécifique évoluent et la composition des essences change ainsi à long terme.

L'épicéa et le hêtre, les deux essences les plus fréquentes de la forêt suisse, connaissent aujourd'hui déjà un recul de la croissance à basse altitude (BIRCHER *et al.* 2016). L'évolution ultérieure de la relation ETr/ETp y laisse également présager un recul à l'avenir. L'été caniculaire de 2003 donna déjà lieu à des observations semblables (BRAUN *et al.* 2015). Sans oublier les problèmes de rajeunissement à basse altitude (WOHLGEMUTH *et al.* 2016). D'autres espèces tolérantes à la sécheresse, à l'image du chêne, gagneront en revanche du terrain (ZIMMERMANN *et al.* 2016). Les essences limitées par le froid – chêne ou merisier notamment – sont aussi susceptibles de s'étendre dans des zones de plus haute altitude lors de l'augmentation des températures. La modélisation des étages de végétation ainsi que celle de la qualité d'habitat (voir les fig. 7 et 8) projettent ainsi, sur fond de changement climatique, une réduction de l'aire de répartition des espèces montagnardes (hêtre et sapin par exemple) et subalpines (l'épicéa par exemple), et une augmentation en revanche de celle des espèces collinéennes (à l'image du chêne ou de l'érable à feuilles d'obier *Acer opalus* présent dans l'Arc jurassien).

Que signifient, pour une station forestière donnée, tous ces changements survenant en parallèle dans le contexte du changement climatique? Deux exemples nous donnent des indications à ce propos:

1^{er} exemple: pessière-sapinière humide près de Bellegarde (FR)

Cette station se situe au nord des Alpes, en amont de Bellegarde (FR). Elle se trouve actuellement à l'étage haut-montagnard (fig. 11, à gauche). Il s'agit d'une «pessière-sapinière à aconit tue-loup» (50f; FREHNER *et al.* 2005/09). Le peuplement forestier se compose d'épicéas (75 %), de sapins (25 %) et de quelques feuillus (fig. 12, à gauche). Vers la fin du siècle est projeté pour cette station, selon le scénar-

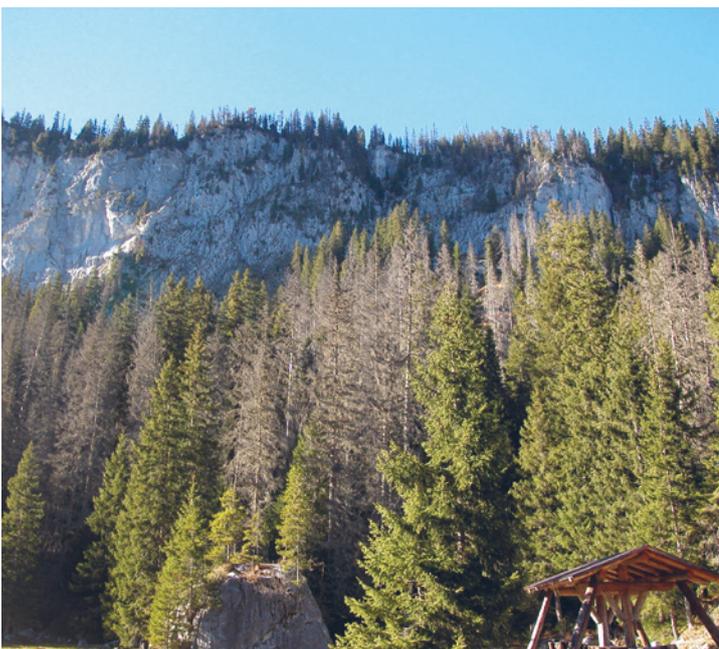


Fig. 10. Le changement climatique favorise le développement du typographe. En photo: foyer d'infestation dans le Diemtigtal en octobre 2005.

rio d'émissions «moyen» A1B, un climat tel qu'on le rencontre aujourd'hui à l'étage montagnard inférieur (fig. 11, au milieu et à droite). Dans des conditions pédologiques comparables y prévaut une «hêtraie à millet humide» (fig. 12, à droite). Cela

signifie que sur fond de changement climatique, le hêtre devrait gagner en compétitivité dans cette station de l'étage haut-montagnard à Bellegarde. Grâce aux températures élevées et à la disponibilité en eau qui restera bonne dans cette ré-

gion (voir la fig. 6), on peut même envisager une augmentation de la croissance de l'épicéa et du sapin. Le risque d'infestation de scolytes s'accroîtra toutefois également. À long terme, il est ainsi conseillé de miser sur une composition des

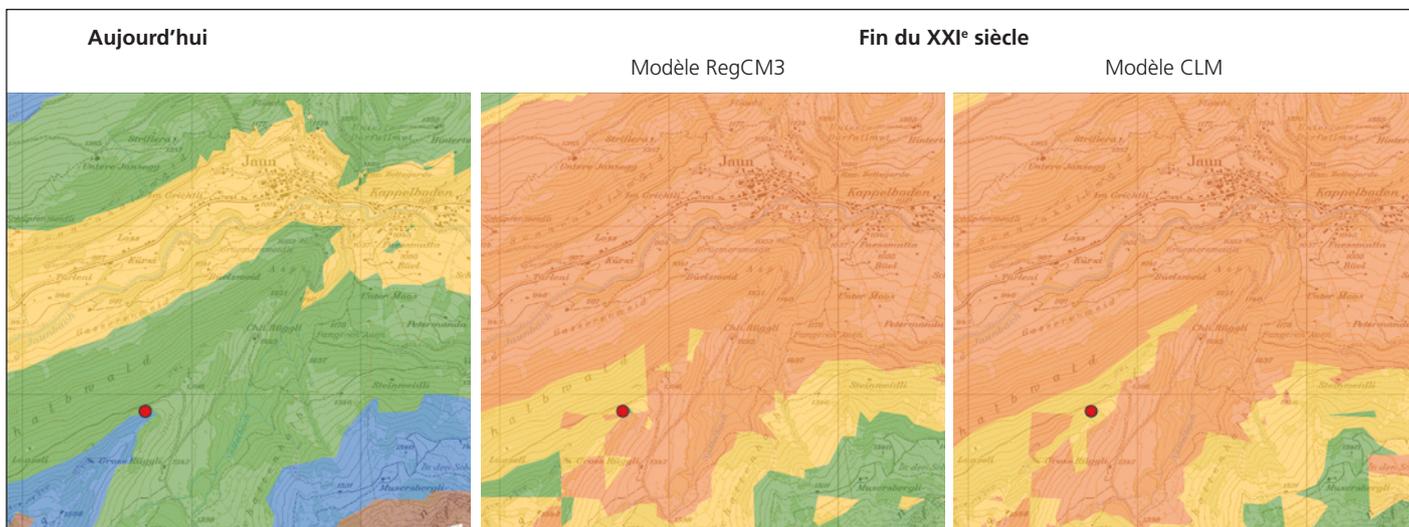


Fig. 11. Répartition des étages de végétation aujourd'hui dans la région de Bellegarde (FR; à gauche) et modélisation pour la fin du XXI^e siècle (2070–2099) avec le modèle «moins sec» RegCM3 (au milieu) et le modèle «plus sec» CLM (à droite) selon le scénario d'émissions «moyen» A1B. Le point rouge indique la position du site évoqué dans le texte. Source: FREHNER *et al.* (en cours de rédaction; état: janvier 2017). Cartes: Abenis AG.



Fig. 12. Morphologie pour le type actuel de station forestière (50f; à gauche) et pour celui du futur modélisé d'après le scénario d'émissions «moyen» A1B (8S; à droite) dans le cadre du 1^{er} exemple (Bellegarde, FR).

essences à faible risque – les recommandations cantonales actuelles stipulent une proportion de feuillus de 50 % minimum pour le type de station 8S (moyenne obtenue sur la base de neuf recommandations cantonales).

2^e exemple: hêtraie sèche sur le Jollimont (BE)

Les répercussions du changement climatique devraient être bien plus marquées dans la station de l'étage submontagnard sur le Jollimont, dans le canton de Berne. Aujourd'hui, la «hêtraie à laïche avec laïche

de montagne» (n° 15) est boisée de hêtres (60 %), de pins sylvestres (25 %) et de chênes sessiles (15 %) (fig. 14, à gauche). À l'avenir est projeté un climat collinéen d'après le scénario d'émissions «moyen» A1B (fig. 13, du milieu et à droite). À l'étage collinéen prévaut une «chênaie à gesse

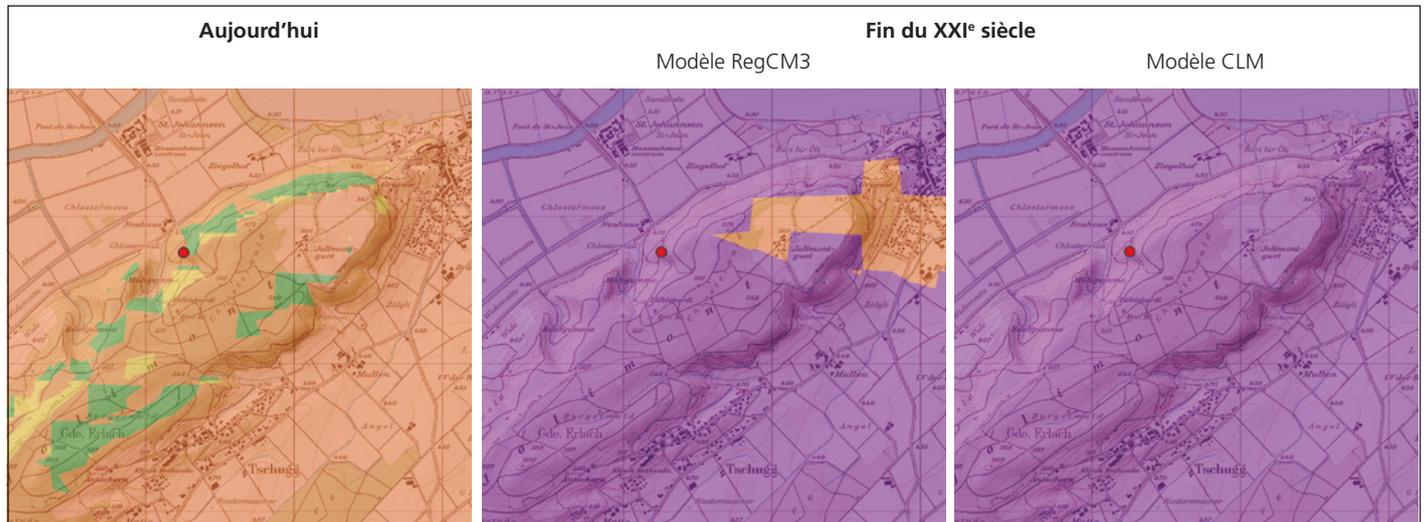


Fig. 13. Répartition des étages de végétation aujourd'hui sur le Jollimont (BE; à gauche) et modélisation pour la fin du XXI^e siècle (2070–2099) avec le modèle «moins sec» RegCM3 (au milieu) et le modèle «plus sec» CLM (à droite) selon le scénario d'émissions «moyen» A1B. Le point rouge indique la position du site évoqué dans le texte. Source: FREHNER *et al.* (en cours de rédaction; état: janvier 2017). Cartes: Abenis AG.



Fig. 14. Morphologie pour le type actuel de station forestière (n° 15) et pour celui du futur modélisé d'après le scénario d'émissions «moyen» A1B (n° 41) dans le cadre du 2^e exemple (Jollimont, BE).

noire» (n° 41; fig. 14, à droite) sur sol comparable. Les essences présentes devraient aussi prospérer à l'avenir dans cette station. En conséquence d'une disponibilité en eau réduite, il faut toutefois s'attendre à une nette perte de compétitivité du hêtre et à un recul de la croissance du peuplement. Ce dernier serait alors plus clairsemé et les arbres n'atteindraient plus qu'une hauteur de 10 à 15 m environ (contre 15 à 25 m actuellement).

Conclusion

L'ampleur des répercussions du changement climatique sur la forêt suisse dépendra en premier lieu de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre. Comme l'illustrent les représentations précédentes, l'évolution climatique, telle qu'elle ressort du scénario d'émissions «moyen» A1B, a des conséquences notables sur la forêt suisse et sur sa fourniture de prestations. Ce scénario d'émissions deviendra-t-il réalité, ou s'agira-t-il d'un scénario avec des émissions inférieures ou supérieures de gaz à effet de serre? L'avenir nous le dira. Dans tous les cas, les émissions actuelles auront encore des répercussions très longtemps.

Les impacts du changement climatique dépendent néanmoins aussi de la station forestière et du boisement actuel. Les plus grandes modifications sont ainsi attendues dans les endroits déjà secs aujourd'hui et dans ceux où, lors des étés secs, les essences présentent déjà des signes de faiblesse. La migration des essences sera décalée par rapport au changement climatique. En effet, les arbres peuvent encore perdurer dans des stations où ils ne peuvent plus se régénérer, et la colonisation spontanée de nouveaux terrains nécessite du temps. Les perturbations accéléreront le changement, et les événements extrêmes, à l'image des vagues de chaleur estivale, devraient alors peser de tout leur poids.

À l'heure actuelle, il faut s'attendre à ce que l'ampleur et la vitesse du changement climatique soient telles que la forêt, sans intervention humaine, ne soit pas en mesure de s'adapter suffisamment vite pour continuer à fournir les prestations requises au même niveau. Il est dès lors important que les responsables forestiers soutiennent l'adaptation de la forêt de façon ciblée, et qu'ils interviennent à temps afin de modifier en douceur et de façon progressive la

composition des essences. D'autres Notices issues du Programme de recherche et les bases de données stationnelles adaptées (FREHNER *et al.*, en cours de rédaction) apporteront notamment leur aide en ce sens.

Bibliographie

- BIRCHER, N.; CAILLERET, M.; ZINGG, A.; BUGMANN, H., 2016: Modifications potentielles de la surface terrière à l'échelle du peuplement dans le contexte des changements climatiques. Dans: PLUETT, A.R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (Réd.), Forêt et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL, Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 157–174.
- BONFILS, P.; RIGLING, A.; BRÄNDLI, U.-B.; BRANG, P.; FORSTER, B.; ENGESSER, R.; GUGERLI, F.; JUNOD, P.; MÜLLER, R.; GÜNTHARDT-GOERG, M.S., 2015: Le chêne face aux changements climatiques. Perspectives d'avenir d'une essence. Not. prat. 55. 12 p.
- BRAUN, S.; REMUND, J.; RIHM, B., 2015: Indikatoren zur Schätzung des Trockenheitsrisikos in Buchen- und Fichtenwäldern. Schweiz. Z. Forstwes. 166: 361–371.
- CONEDERA, M.; TINNER, W., 2010: Langzeit-Feuerökologie der Schweiz. Schweiz. Z. Forstwes. 161: 424–432.
- C2SM 2011. Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Zurich, C2SM. 88 p.
- DOBBERTIN, M., 2005: Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. Eur. J. For. Res. 124: 319–333.
- ETZOLD, S.; WUNDER, J.; BRAUN, S.; ROHNER, B.; BIGLER, C.; ABEGG, M.; RIGLING, A., 2016: Mortalité des arbres forestiers: causes et tendances. Dans: PLUETT, A.R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (Réd.), Forêt et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL, Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 177–196.
- FISCHER, A.M.; LINIGER, M.; APPENZELLER, C., 2015: Climate scenarios of seasonal means: extensions in time and space. Zurich, C2SM, CH2011 Extension Series 2: 18 p.
- FREHNER, M.; WASSER, B.; SCHWITZER, R., 2005/09: Gestion durable des forêts de protection. Soins sylvicoles et contrôle des résultats: instructions pratiques. Berne, Office fédéral de l'environnement. 564 p.
- FREHNER, M.; HUBER, B.; ZGRAGGEN, L.; ZISCHG, A.; VAN WIJNKOOP, P.; BRAUN, S.; SCHERLER, M.; CARRARO, G.; BURNAND, J. (en cours de rédaction): Adaptierte Standortkundliche Grundlagen. Projekt im Rahmen des Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel». Zwischenergebnisse, präsentiert an den Waldtests 2016 in den Kantonen Bern und Freiburg.
- GIEC, 2014: Changements climatiques 2014. Rapport de synthèse. Résumé à l'intention des décideurs. Genève, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 31 p.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Geneva, Intergovernmental Panel on Climate Change. 22 p.
- JAKOBY, O.; STADELMANN, G.; LISCHKE, H.; WERMELINGER, B., 2016: Les scolytes et la sensibilité de l'épicéa aux infestations dans le contexte des changements climatiques. Dans: PLUETT, A.R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (Réd.), Forêt et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL, Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 246–264.
- MANSER, R.; STEFFEN, K.; MEIER, U.; KÜCHLI, C., 2015: Forschung zur richtigen Zeit, umsetzungsorientiert und politisch eingebettet. Schweiz. Z. Forstwes. 166: 348–351.
- MétéoSuisse, 2016: Bulletin climatologique 2015. Zurich, MétéoSuisse. 10 p.
- PEZZATTI, G.B.; DE ANGELIS, A.; CONEDERA, M., 2016: Evolution potentielle du danger d'incendie de forêt dans le contexte des changements climatiques. Dans: PLUETT, A.R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (Réd.), Forêt et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL, Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 223–244.
- PLUETT, A.R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (réd.) 2016: Forêt et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 447 p.
- REMUND, J.; RIHM, B.; HUEUENIN-LANDL, B., 2016: Klimadaten für die Waldmodellierung für das 20. und 21. Jahrhundert. Bern, Meteotest. 39 S.
- SCHERLER, M.; REMUND, J.; WALTHERT, L., 2016: Régime hydrique des forêts et accroissement de la sécheresse. Dans: PLUETT, A.R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (Réd.), Forêt et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL, Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 39–58.
- SCNAT, 2016: Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives. Berne, Sciences naturelles Suisse. 216 p.
- WOHLGEMUTH, T.; GALLIEN, L.; ZIMMERMANN, N.E., 2016: Régénération du hêtre et de l'épicéa dans le contexte des changements climatiques. Dans: PLUETT, A.R.; AUGUSTIN,

S.; BRANG, P. (Réd.), Forêt et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL. Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 115–135.

ZIMMERMANN, N.E.; SCHMATZ, D.R.; GALLIEN, L.; KÖRNER, C.; HUBER, B.; FREHNER, M.; KÜCHLER, M.; PSOMAS, A., 2016: Répartition des essences forestières et adéquation des stations. Dans: PLUETT, A.R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (Réd.), Forêt et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL. Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 198–221.

Personne à contacter

Peter Brang
Institut fédéral de recherches WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
peter.brang@wsl.ch

Pour de plus amples informations

www.wsl.ch/foret_climat

Photos

Peter Brang (fig. 1, fig. 10), Ulrich Wasem (fig. 9), Geri Kaufmann (fig. 12 à gauche et à droite), Barbara Allgaier Leuch (fig. 14 à gauche) und Peter Schmider (fig. 14 à droite)

Référence bibliographique

ALLGAIER LEUCH, B.; STREIT, K.; BRANG, P., 2017: La forêt suisse face aux changements climatiques: quelles évolutions attendre? Not. prat. 59. 12 p.

Notice pour le praticien ISSN 1012-6554

Concept

Les résultats de la recherche sont élaborés pour constituer des pôles de savoir et des guides d'action à l'intention des acteurs de la pratique. Cette série s'adresse aux milieux de la foresterie et de la protection de la nature, aux autorités, aux écoles ainsi qu'aux non-initiés.

Les versions allemandes de cette série sont intitulées

Merkblatt für die Praxis ISSN 1422-2876.

Les éditions italiennes paraissent occasionnellement dans le périodique

Notizie per la pratica (ISSN 1422-2914).

Les dernières parutions (consultez www.wsl.ch/notices)

N° 58: Chalcographe et micrographe. B. FORSTER 2017. 8 p.

N° 57: Le dépérissement des pousses du frêne. Biologie, symptômes et recommandations pour la gestion. D. RIGLING *et al.* 2016. 8 p.

N° 56: Développement urbain et paysager dans les zones proches des agglomérations. Exigences spatiales de l'être humain et de la nature. S. TOBIAS *et al.* 2016. 16 p.

N° 55: Le chêne face aux changements climatiques. Perspectives d'avenir d'une essence. P. BONFILS *et al.* 2015. 12 p.

N° 54: Le chancre de l'écorce du châtaignier. Symptômes, biologie et mesures pour le combattre. D. RIGLING *et al.* 2014. 8 p.

N° 53: Mise en réseau des habitats dans le paysage agricole. Chances et risques. D. CSENSICS *et al.* 2014. 8 p.

N° 52: Bois mort en forêt. Formation, importance et conservation. T. LACHAT *et al.* 2013. 12 p.

N° 51: Relevé dans l'espace des loisirs de proximité. M. BUCHECKER *et al.* 2013. 8 p.

N° 50: Espèces invasives de capricornes provenant d'Asie – Écologie et gestion. B. WERMELINGER *et al.* 2013. 16 p.

Managing Editor

Martin Moritzi
Institut fédéral de recherches WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
martin.moritzi@wsl.ch
www.wsl.ch/notices

Le WSL est un institut de recherche du Domaine des EPF.

Traduction: Jenny Sigot Müller, WSL
Mise en page: Jacqueline Annen, WSL
Impression: Rüeegg Media AG



climatiquement neutre

powered by ClimatePartner°

Impression | ID 11726-1503-1001



Sources mixtes

Groupes de produits provenant de forêts bien gérées et d'autres sources contrôlées

www.fsc.org Cert no. SCS-COC-100271
©1996 Forest Stewardship Council