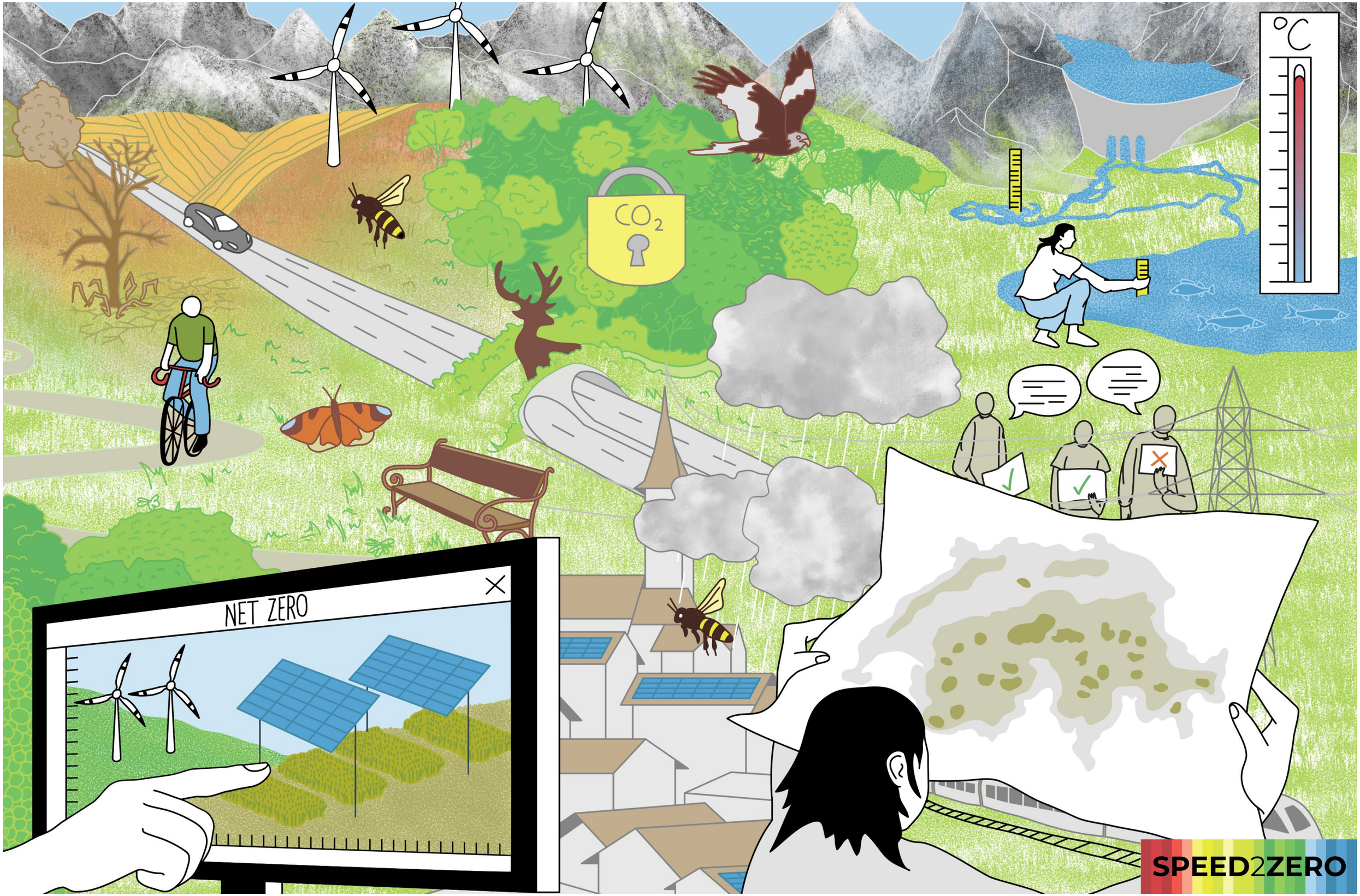
Résumé SPEED2ZERO

À la croisée du climat, de l'énergie et de la biodiversité



Introduction

Les défis actuels liés au changement climatique, à la perte de biodiversité et à la sécurité énergétique sont étroitement liés. Des connaissances interdisciplinaires sont essentielles pour élaborer des solutions solides et réalisables en réponse à ces défis systémiques.

Les travaux de SPEED2ZERO se sont donc concentrés sur les interactions entre le climat, la biodiversité et l'énergie : comment le changement climatique affecte-t-il la biodiversité et le système énergétique ? Comment concilier la préservation de la biodiversité et le développement des énergies renouvelables ? Et comment des politiques efficaces et socialement acceptées peuvent-elles soutenir la transition vers la neutralité climatique ?

Le présent résumé vient clore les trois années de recherche interdisciplinaire menées dans le cadre de SPEED2ZERO. S'appuyant sur de nombreux résultats scientifiques obtenus dans le cadre du programme, ce rapport synthétise les principaux enseignements et formule des recommandations fondées sur des données probantes afin de contribuer à une prise de décision éclairée en faveur d'une Suisse à zéro émission nette de gaz à effet de serre (GES) et respectueuse de la biodiversité.

Nos principaux résultats sont organisés autour de cinq questions directrices, qui permettent de s'orienter parmi les différents axes de recherche. Les thèmes abordés figurent parmi les plus complexes et les plus urgents de notre époque. Les enseignements présentés ne doivent donc pas être considérés comme des réponses définitives, mais comme une sélection d'éléments constitutifs s'inscrivant dans un ensemble plus large de mesures nécessaires pour induire un changement en profondeur[1].

1 Cette publication n'étant pas un article scientifique mais un résumé sélectif des résultats pertinents pour les acteurs sociétaux au-delà du monde universitaire, nous présentons ici une sélection d'enseignements et renvoyons aux travaux de recherche spécifiques de SPEED2ZERO qui les ont étayés. Cette liste n'est pas exhaustive. Les références détaillées et les résultats préliminaires de recherche sont documentés dans les publications scientifiques correspondantes.

Suisse : situation actuelle et objectifs

Le **changement climatique** est à l'œuvre et ses effets s'intensifient. La Suisse s'est déjà réchauffée de 2,9 °C et est touchée de manière disproportionnée par le réchauffement mondial (moyenne mondiale : 1,4 °C) (1). La poursuite du changement climatique ou sa limitation dépendent de nos futures émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES). La stratégie climatique de la Suisse comporte deux étapes clés : une réduction de 50 % des émissions de GES d'ici 2030 et la neutralité climatique d'ici 2050. L'objectif fixé pour 2030 constitue une contribution essentielle à la stabilisation du réchauffement climatique à un niveau proche de 1,5 °C (2). La Suisse dispose des ressources technologiques et financières nécessaires pour atteindre ses objectifs. Cependant, comme de nombreux autres pays, elle n'est actuellement pas sur la bonne voie pour y parvenir (3).

La Suisse est en pleine **transition énergétique**. La production nationale d'électricité est presque entièrement décarbonée depuis plusieurs décennies. Toutefois, le reste du système énergétique, notamment le chauffage et les transports, sont encore fortement tributaires des combustibles fossiles (4). Le remplacement des combustibles fossiles par de l'électricité bas carbone, conjugué à la croissance démographique, entraînera une augmentation considérable de la demande en électricité en Suisse d'ici 2050 (5, 6). La Stratégie énergétique 2050 de la Suisse prévoit de répondre à cette hausse de la demande grâce à des sources d'énergie renouvelables, telles que le photovoltaïque, la force hydraulique, l'énergie éolienne, ainsi qu'à d'autres sources d'énergie pouvant être mobilisées en fonction de la demande (7).

La **biodiversité** est soumise à de fortes pressions en Suisse. À l'échelle mondiale, la biodiversité a diminué de 73 % entre 1970 et 2020 (8). Les principaux facteurs de la perte de biodiversité sont la déforestation et les changements d'affectation des terres, l'exploitation directe des ressources naturelles, la pollution, le changement climatique ainsi que la propagation d'espèces envahissantes (9). En outre, près de la moitié des habitats sont menacés en Suisse, en particulier les écosystèmes ouverts et aquatiques du Plateau suisse. Un tiers de l'ensemble des espèces sont menacées d'extinction, en danger critique ou vulnérables, et nombre d'entre elles dépendent d'habitats spécifiques. Ce déclin résulte principalement de l'exploitation intensive des terres, des apports d'azote et de pesticides, de la conversion des terres (p. ex. drainage des zones humides), de l'imperméabilisation des sols, de la fragmentation des habitats, ainsi que du changement climatique, dont l'influence ne cesse de croître. Des mesures urgentes sont nécessaires pour préserver la biodiversité et les services écosystémiques qu'elle fournit, les écosystèmes résilients jouant également un rôle essentiel dans l'atténuation du changement climatique et de ses impacts. À l'heure actuelle, seuls 13,4 % du territoire suisse bénéficient d'un statut de protection (10, 11). La Suisse s'est fixé pour objectif de protéger 17 % de son territoire au titre de la conservation de la biodiversité (12), un objectif bien inférieur à la cible internationale de 30 % définie par l'ONU (13).

La Suisse s'emploie à relever ces défis. Elle dispose de stratégies et a réalisé des progrès en ce sens, mais elle n'est, à ce jour, pas sur la bonne voie pour atteindre les objectifs fixés. SPEED2ZERO vise à contribuer à combler cet écart de mise en œuvre en tenant compte des interactions étroites entre les différents enjeux.

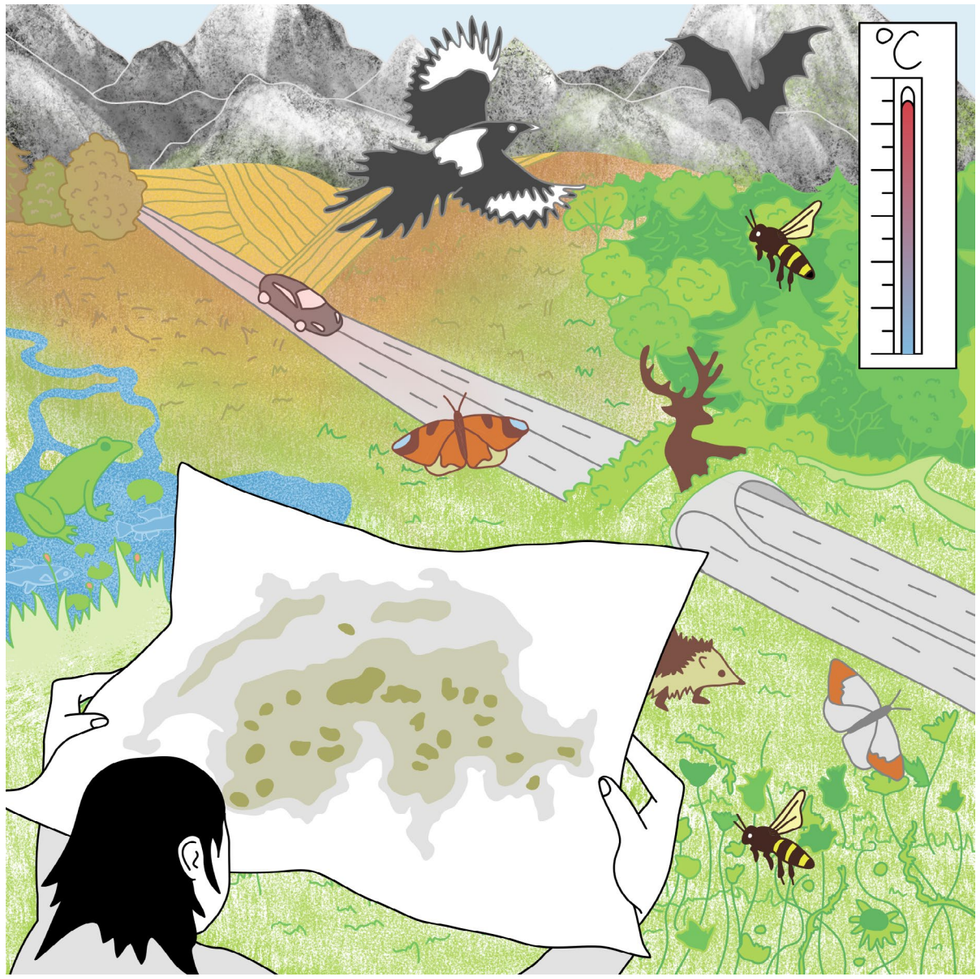
SPEED2ZERO

À propos de SPEED2ZERO
SPEED2ZERO est une initiative conjointe des principales institutions suisses actives dans la recherche et les applications environnementales. Le consortium réunit l'ETH Zürich, le WSL, l'EPFL, l'Eawag, le PSI et l'Empa, et bénéficie du soutien du Conseil des EPF. Il a été créé afin de fournir des enseignements scientifiques, des scénarios et des outils pour accompagner la Suisse dans sa transition vers la neutralité climatique, tout en favorisant une infrastructure énergétique résiliente et en permettant à la biodiversité du pays de retrouver une partie de sa richesse. Pour ce faire, il s'appuie sur un dialogue continu avec les parties prenantes, en établissant des liens entre la recherche, les décideurs politiques et la pratique, afin de fournir des résultats fondés sur des données probantes, qui aideront à gérer certains des compromis liés à cette transition.

Références :

1 MeteoSwiss, & ETH Zürich, Klima CH2025 – Klimazukunft Schweiz. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich, 24 S. (2025). https://doi.org/10.18751/climate/scenarios/ch2025/brochure/1.0/de
2 Federal Office of the Environment FOEN, Long-term climate strategy to 2050 (2021).
3 Climate Action Tracker. https://climateactiontracker.org/countries/switzerland/ (last accessed 3 September 2026)
4 Swiss Federal Office of Energy, Overall energy statistics (2024).
5 Swiss Federal Office of Energy, Energy Strategy 2050 - Monitoring Report 2025 (2025).
6 Marcucci, A. et al., CROSS Scenarios and Drivers Definition. Scenario version: CROSS-v2022-09. (2022).
7 Swiss Federal Office of Energy, Energy Perspectives 2050+ (2020).
8 WWF & ZSL. The Living Planet Index database. Living Planet Index (2024). https://www.livingplanetindex.org/ (last accessed 3 September 2026)
9 Keck, F. et al., The global human impact on biodiversity. Nature 641: 395–400 (2025).
10 Federal Office for the Environment, Zustand der Biodiversität in der Schweiz UZ-2306-D (2023).
11 Forum Biodiversität. Biodiversität in der Schweiz verstehen und gestalten. SCNAT/Swiss Academies Reports: 21 (2026). http://biodiversitaet2026.ch/
12 Fedlex, Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) (2022); https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/70478.pdf.
13 Convention on Biological Diversity (CBD). Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. Decision 15/4, adopted at the fifteenth meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity (COP15), Montreal, 18 December 2022.

❶ Quelles zones faudrait-il prioriser pour la préservation de la biodiversité dans un contexte de réchauffement climatique ?



La perte de biodiversité nuit à la santé humaine et à l'utilisation durable des ressources naturelles. Les pressions existantes sur la biodiversité sont accentuées par le changement climatique et les changements d'affectation des terres. Cela menace des fonctions essentielles des écosystèmes, telles que l'atténuation du changement climatique. Les écosystèmes riches en biodiversité absorbent chaque année 31 % des émissions mondiales de CO_2 générées par l'homme. En protégeant la biodiversité, nous protégeons également notre climat, et inversement.

La Suisse est fortement touchée par le changement climatique, et sa biodiversité est soumise à de fortes pressions : près de 50 % des types d'habitats et un tiers de l'ensemble des espèces sont considérés comme menacés. Il est donc essentiel de comprendre quelles zones de Suisse revêtent une importance particulière pour renforcer la résilience des écosystèmes et permettre la migration des espèces, un processus naturel faisant partie de leur cycle de vie et constituant une réponse au changement climatique. SPEED2ZERO s'est concentré sur l'évaluation des risques pesant sur la biodiversité, la résilience face au changement climatique ainsi que les pressions combinées, et a développé un système de hiérarchisation éclairée pour la conservation de la biodiversité.

Identifier les aspects qui permettront à la biodiversité de devenir plus résiliente

Enseignements et résultats sélectionnés :
La biodiversité n'est pas répartie de manière homogène dans le paysage. Par conséquent, une approche solide visant à éviter les impacts négatifs les plus importants sur la biodiversité ne consiste pas simplement à protéger les sites les plus riches en biodiversité. Elle nécessite des procédures d'optimisation rigoureuses fondées sur quelques principes :

- **Superficie suffisante :** la biodiversité nécessite des réseaux de milieux naturels intacts, composés de zones d'habitat similaires suffisamment vastes. Certaines de ces zones devraient être protégées exclusivement à des fins de conservation de la biodiversité, tandis que d'autres peuvent continuer à être utilisées pour d'autres activités, sous réserve de certaines contraintes.
- **Connectivité :** plus les habitats sont connectés et la biodiversité préservée à tous les niveaux (des gènes aux espèces, en passant par les populations et les habitats), plus les écosystèmes seront résilients face à la chaleur, à la sécheresse et aux maladies (1).
- **Complémentarité :** les zones protégées devraient couvrir l'ensemble des espèces et être complémentaires entre elles, en incluant notamment les rivières, les zones riveraines, les zones humides, les zones alpines, ainsi que les espaces exploités de manière intensive dans les zones urbaines et agricoles (1, 2, 3).
- **Anticiper le changement :** la conservation de la biodiversité doit tenir compte des changements prévus dans la répartition des espèces et de l'adéquation des habitats dans le contexte du changement climatique (4).

Mesures recommandées :

- Protéger et connecter les habitats intacts afin de renforcer la résilience des écosystèmes, de préserver la biodiversité et de garantir le maintien des services écosystémiques essentiels, notamment leur contribution à l'atténuation naturelle du changement climatique.
- Renforcer la sensibilisation du public et des décideurs politiques à la valeur écologique et sociétale de la biodiversité, ainsi qu'à ses liens avec le changement climatique, afin de permettre une action coordonnée face à ces deux crises.
- Prendre en compte les évolutions futures de la biodiversité parallèlement aux dynamiques actuelles peut contribuer à mettre en place des réseaux de conservation plus résilients.

Études :

1 Adde, A. et al., Projecting untruncated climate change effects on species' climate suitability: insights from an alpine country. Global Change Biology 30: e17557 (2024).
2 Brunner, C. et al., Gekoppelte Herausforderungen für die Schweiz: Schnittstellen im Klimaschutz, Biodiversitätsschutz, Energiesicherheit und Landschaftsschutz, ETH Zürich, white paper (2024); doi: 10.3929/ethz-b-000673411.
3 Cadelli, E. et al., Warum Biodiversität wichtig ist und welche Rolle sie bei der Klimaregulierung spielt, ETH Zürich, white paper (2024); doi: 10.3929/ethz-b-000692462.
4 Adde, A. et al., Spatial biodiversity indicators and a composite index for conservation prioritization in Switzerland (2025). bioRxiv: 2025.06.10.657334.

Hiérarchisation et cartographie comme fondement d'une conservation efficace de la biodiversité dans un contexte de réchauffement climatique

Enseignements et résultats sélectionnés :
La biodiversité est multidimensionnelle. La comprendre et la préserver nécessite plusieurs indicateurs se renforçant mutuellement et permettant d'orienter les choix en matière de conservation.

Dans le cadre de SPEED2ZERO, nous avons cartographié 7500 espèces afin d'évaluer la capacité actuelle et future des paysages à accueillir la biodiversité terrestre et aquatique (5). Nous avons ensuite développé des indicateurs de risque d'extinction, de connectivité et de complémentarité, puis les avons combinés en un indice composite unique qui représente la capacité des paysages à accueillir la biodiversité dans toute la Suisse (SDMapCH ; 6).

L'utilisation de tels indicateurs spatiaux dans la planification des infrastructures énergétiques peut contribuer à atténuer les impacts sur la biodiversité et à soutenir des décisions favorisant la protection des écosystèmes soumis à des pressions croissantes.

Mesures recommandées :

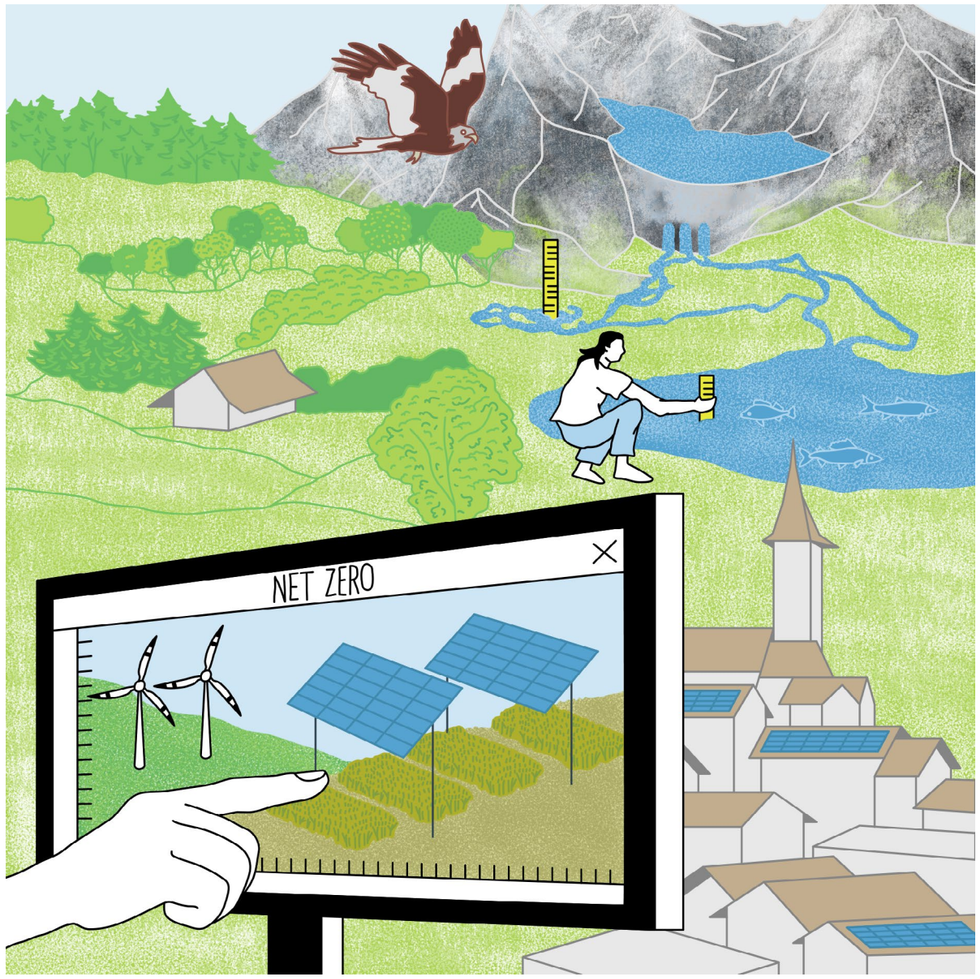
- Intégrer systématiquement les données sur la biodiversité et les indices écologiques multidimensionnels dans l'aménagement du territoire et des infrastructures afin de garantir que les priorités de conservation soient alignées avec les développements énergétiques et l'évolution de l'affectation des terres.

Outils :
La base de données SDMapCH a été intégrée à l'outil en ligne Swiss SolarWind Explorer afin de soutenir une planification des énergies renouvelables tenant compte de la biodiversité.

Études :

5 Adde, A. et al., SDMapCH: a comprehensive database of >7,500 modelled species habitat suitability maps for Switzerland, Sci Data 12, 1752 (2025); doi: 10.1038/s41597-025-06037-x.
6 Adde, A. et al., Spatial biodiversity indicators and a composite index for conservation prioritization in Switzerland (2025). doi: 10.1101/2025.06.10.657334.

❷ Comment développer les énergies renouvelables tout en protégeant le paysage et en préservant la biodiversité ?



La transition vers la neutralité climatique nécessite une augmentation de la production d'électricité bas carbone, qui affecte indéniablement le paysage et la biodiversité. A contrario, en l'absence d'actions, le changement climatique deviendra lui-même un facteur majeur de perte de biodiversité et de transformation du paysage.

La forte densité de population de la Suisse, la disponibilité limitée de surfaces favorables à la biodiversité et son système de démocratie directe impliquent que la mise en place de nouvelles infrastructures énergétiques nécessite une évaluation minutieuse des différents intérêts en jeu, afin de garantir une transition rapide et largement soutenue.

SPEED2ZERO s'est attaché à concilier les différentes exigences en matière d'affectation des sols liées à la production d'électricité, à la protection du paysage et à la préservation de la biodiversité, afin d'offrir une vision globale et de permettre des décisions et des compromis reposant sur des informations solides.

Planification des nouvelles infrastructures solaires et éoliennes en minimisant les conflits

Enseignements et résultats sélectionnés :
Alors que la politique climatique et énergétique suisse prévoit le développement des énergies solaire et éolienne, il n'existe pas encore de cartographie nationale des zones appropriées et des contraintes.

L'outil en ligne Swiss SolarWind Explorer fournit des cartes harmonisées présentant des critères clés, tels que le potentiel énergétique, le raccordement au réseau, l'accessibilité, l'importance pour la biodiversité, la qualité des paysages, les conflits d'affectation des sols et les restrictions légales. La cartographie, ainsi que l'analyse approfondie réalisée à l'aide de la plateforme de modélisation des systèmes énergétiques Nexus-e, ont montré que même en assurant une protection exhaustive de la biodiversité et du paysage (30 % des zones les plus précieuses), il existe encore suffisamment de sites appropriés pour atteindre les capacités envisagées en matière d'énergies renouvelables en Suisse. Par conséquent, il est possible de développer les énergies renouvelables tout en préservant la biodiversité et le paysage, à condition de planifier ce développement de manière systématique et dans une approche interdisciplinaire (1).

En ce qui concerne le rôle de l'acceptation du public dans le développement des énergies renouvelables, d'autres résultats de recherche ont permis d'identifier des facteurs susceptibles de renforcer le soutien aux nouveaux projets :

- Le développement de la capacité photovoltaïque sur les infrastructures existantes offre encore un potentiel considérable, tout en présentant un faible risque d'investissement, des effets négatifs minimes, voire inexistants, sur la biodiversité et un niveau élevé d'acceptation par le public (2).
- De manière générale, les grands projets d'énergie renouvelable en plein champ risquent moins de susciter une opposition locale lorsqu'ils sont situés à l'écart des paysages naturels, uniques ou intactes, revêtant une grande importance pour les activités récréatives (3).
- L'agri-photovoltaïsme (agri-PV) est une technologie à double usage des sols, associant la production d'énergie solaire à la production agricole et présentant le potentiel de réduire l'opposition locale aux projets solaires au sol. Les projets agri-PV bénéficient d'un large soutien bipartisan lorsqu'ils sont bien intégrés aux paysages agricoles, n'entravent pas les rendements des cultures et reposent sur une propriété locale ainsi qu'un partage transparent des bénéfices (4).

Mesures recommandées :

- Recourir à l'aménagement intégré du territoire et à des outils tels que Swiss SolarWind Explorer afin d'identifier les zones optimales pour la production d'énergie solaire et éolienne, tout en tenant compte du potentiel énergétique ainsi que des considérations environnementales et sociales.
- Envisager des projets bien intégrés et participatifs comme voie socialement acceptée pour développer l'énergie solaire et éolienne.

Outils :
https://swiss-solarwind-explorer.ethz.ch | Les premières utilisations de cet outil par les autorités en charge de l'aménagement du territoire dans certains cantons ont démontré son utilité pour réaliser une évaluation et un recensement complets des zones disponibles. L'outil ainsi que le dialogue interdisciplinaire avec les parties prenantes seront développés et maintenus par le Planning of Landscape and Urban Systems (PLUS) de l'ETH Zurich.

Études :

1 Reusser, M. et al., Swiss SolarWind Explorer (2.0) (2025). Zenodo; doi: 10.5281/zenodo.17962422.
2 Brunner, C. et al., Gekoppelte Herausforderungen für die Schweiz: Schnittstellen im Klimaschutz, Biodiversitätsschutz, Energiesicherheit und Landschaftsschutz (ETH Zurich, white paper, 2024); doi: 10.3929/ethz-b-000673411.
3 Früh, J. et al., RE-Acceptance map (in review).
4 Fesenfeld, L. et al., Agrivoltaics can reduce political polarization and local opposition to solar energy on land (2026). Zenodo; doi: 10.5281/zenodo.18166238.

Adaptation de la production hydroélectrique respectueuse de la biodiversité

Enseignements et résultats sélectionnés :
La force hydraulique est une source d'énergie à faible émission de carbone. De toutes les sources d'énergie renouvelable, elle est néanmoins celle qui exerce les effets négatifs les plus importants sur la biodiversité, car son exploitation ne laisse souvent qu'une faible quantité d'eau dans les cours d'eau, appelée débit résiduel. L'impact des exigences en matière de débit résiduel sur la diminution de la production hydroélectrique a été maintes fois surestimé. Dans le même temps, les débits résiduels constituent un seuil minimal indispensable à la survie des écosystèmes fluviaux – une norme qui n'est toujours pas respectée dans de nombreux tronçons fluviaux (4).

Le manque de données accessibles au public a entravé une prise de décision fondée sur des données probantes concernant l'équilibre entre la production d'énergie, la qualité de l'eau et la conservation de la biodiversité. La nouvelle base de données sur les débits résiduels (« Restwasser-Datenbank ») contribue à combler cette lacune en mettant à disposition des données en libre accès. Elle apporte ainsi une contribution importante dans un contexte où le changement climatique modifie la disponibilité des ressources en eau et où de nombreuses concessions d'utilisation de l'eau arrivent prochainement à échéance. Des modélisations récentes indiquent que la production hydroélectrique et la protection de l'environnement, grâce aux exigences en matière de débits résiduels, sont plus compatibles qu'on ne l'avait précédemment estimé (5).

Mesures recommandées :

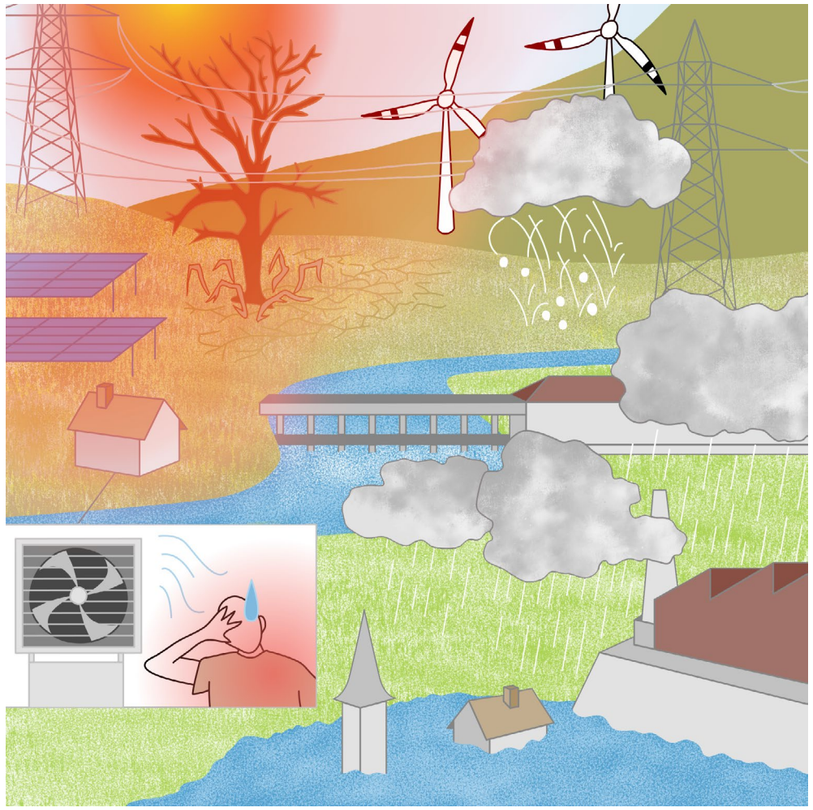
- Concevoir les droits d'utilisation de l'eau de manière à permettre une gestion plus durable des ressources en eau dans des conditions changeantes, en accordant une plus grande importance à la protection de la biodiversité et à l'application de la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux), tout en garantissant aux exploitants hydroélectriques une sécurité suffisante en matière de planification financière.

Outils :
Base de données sur les débits résiduels (« Restwasser-Datenbank ») https://www.envidat.ch/#/metadata/restwasser-datenbank
Le WSL assurera la poursuite du développement et de la maintenance de l'outil.

Études :

5 Wechsler, T. et al., Restwasser. Die Suche nach der angemessenen Menge - Festlegung, Wirkung und Anforderungen, Aqua Gas (2025).
6 Wechsler, T. et al., Restwasser-Datenbank: eine schweizweite Datengrundlage zu festgelegten Dotierwassermengen bei Ausleitkraftwerken (≥ 3 MW).WSL. 25 S (2025). https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A42014/datastream/PDF/Wechsler-2025-Restwasser-Datenbank-%28published_version%29.pdf.

❸ Quels risques le changement climatique et les phénomènes météorologiques extrêmes font-ils peser sur le système énergétique et l'économie ?



La fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes et la variabilité climatique augmentent, et leurs impacts sur les systèmes énergétiques et l'économie sont déjà évidents. La hausse des températures et l'évolution des régimes de précipitations influencent la disponibilité des ressources en eau, ce qui affecte directement la production d'énergie. Par ailleurs, les perturbations des chaînes d'approvisionnement et des activités économiques devraient s'intensifier à mesure que le changement climatique progresse.

En Suisse, la force hydraulique – actuellement notre principale source d'énergie domestique – est fortement tributaire des conditions climatiques. Il est donc essentiel d'anticiper l'évolution de ces conditions et d'adapter le système énergétique en conséquence afin d'assurer sa résilience à long terme.

Dans ce contexte, SPEED2ZERO s'est concentré sur la modélisation des impacts climatiques futurs et sur l'identification des risques associés, tant pour le système énergétique que pour l'économie.

Comment maintenir la fiabilité du système énergétique face aux impacts climatiques croissants ?

Enseignements et résultats sélectionnés :

Le développement des sources d'énergie renouvelables et durables, telles que le photovoltaïque et l'éolien, accroît la sensibilité du système énergétique aux conditions météorologiques et climatiques, tandis que l'électrification du chauffage et des transports accentue encore les fluctuations de la demande (1, 2).

Le changement climatique et la variabilité climatique modifient la production d'électricité, notamment en raison des changements dans la disponibilité des ressources en eau. De manière générale, des débits plus élevés en hiver et plus faibles en été sont attendus, ce qui pourrait entraîner une augmentation de la production hydroélectrique globale dans un avenir proche. À long terme, la production devrait toutefois diminuer sous l'effet de la stagnation de la production hivernale et de la poursuite de la baisse estivale. Par ailleurs, l'évolution des régimes de précipitations et la fonte précoce des neiges entraîneront un déplacement du pic de disponibilité des ressources en eau vers le début de l'année. Les tendances observées dans les mesures confirment déjà cette évolution (1, 3).

Le changement climatique affecte également la demande énergétique. Il devrait entraîner une baisse de 10 à 50 % de la demande globale de chauffage, tandis que la demande de refroidissement augmentera, démontrant ainsi que les systèmes énergétiques sont très sensibles aux conditions climatiques, en particulier du côté de la demande. Ces effets peuvent compromettre la fiabilité du système. La vulnérabilité ou la résilience d'un système énergétique face au changement climatique dépend dans une large mesure de sa conception (3, 4).

Afin de maintenir un système électrique résilient, abordable et sûr, les risques climatiques doivent être systématiquement intégrés aux stratégies de planification, aux projets d'infrastructure et au déploiement des technologies. Parmi les risques à prendre en compte figurent les chutes de neige extrêmes en altitude, les glissements de terrain liés au dégel du pergélisol ou aux précipitations extrêmes, ainsi que le stress thermique auquel sont exposés les lignes de transport d'électricité et les transformateurs (4).

Mesures recommandées :

- Intégrer systématiquement les risques et la variabilité climatiques dans la conception du système énergétique et élaborer des stratégies solides à long terme afin de renforcer sa flexibilité et sa résilience.

Études :

1 Haddad Y. Y. et al., Aerosols-aware regional projections of climate-impacted renewable energy generation and energy demand in Europe (in preparation).
2 Bloin-Wibe, L. et al., Climate change impacts on net load under technological uncertainty in European power systems, Environ. Res. Lett. 21 084004 (2026); doi: 10.1088/1748-9326/ae5727.
3 Haddad Y. Y. et al., Recent climate impacts on run-of-river hydropower and electricity systems planning in Switzerland, Environ. Res. Lett. 20 084020 (2025); doi: 10.3929/ethz-b-000744273.
4 De Marco F. et al., Climate-resilient energy systems planning via system-informed identification of stressful events, Adv. Appl. Energy, vol. 19, p. 100235 (2025); doi: 10.1016/j.adapen.2025.100235.

Améliorer la fiabilité des prévisions climatiques à l'échelle locale face aux phénomènes météorologiques extrêmes

Enseignements et résultats sélectionnés :

À quelle fréquence des vagues de chaleur ou de fortes précipitations susceptibles de provoquer des inondations toucheront-elles Zurich en 2050 ? Pour répondre à ce type de questions, il est nécessaire de disposer de prévisions climatiques à l'échelle locale, que les modèles climatiques mondiaux ne peuvent fournir qu'au prix d'un coût de calcul élevé. La combinaison d'approches fondées sur les données et de simulations basées sur la physique constitue une alternative efficace (5, 6, 7, 8).

Mesures recommandées :

- Investir dans des approches hybrides de modélisation climatique combinant des simulations basées sur la physique et des méthodes fondées sur les données afin d'établir des scénarios futurs pour la Suisse.
- Intégrer l'évaluation des risques à l'échelle locale comme base pour définir les mesures d'adaptation.

Études :

5 Zilker, F. & Karger, D. N., CHELSAch-highres-climatologies at high resolution. EnviDat (2025); doi: 10.16904/envidat.689.
6 Effenberger, N. & Knutti, R., Uncertainty in wind and solar projections depends on global and regional climate models, arXiv: 2603.20052v1 [physics.ao-ph] (preprint); doi: 10.48550/arXiv.2603.20052.
7 Schillinger, M. et al., En-Scale: Temporally-consistent multivariate generative downscaling via proper scoring rules (in press).
8 Effenberger, N. et al., Bridging CORDEX and CMIP6: Machine learning downscaling for wind and solar energy droughts in Central Europe (in review).

Comment la société suisse peut-elle renforcer sa résilience face aux risques climatiques ?

Enseignements et résultats sélectionnés :

Même si des efforts sont déployés pour réduire les émissions, certains changements sont inévitables. L'adaptation permet donc de réduire la vulnérabilité et de renforcer la résilience pour protéger les populations, les infrastructures et les écosystèmes. Une adaptation anticipée permet de réduire les coûts en évitant des dommages plus importants à l'avenir et contribue à garantir un développement durable dans un climat en évolution (9). Toutefois, l'adaptation ne peut en aucun cas se substituer à la réduction des émissions, qui permet également de réduire les coûts globaux.

Les impacts climatiques à l'étranger constituent une menace économique importante pour la Suisse, notamment en raison des perturbations des chaînes d'approvisionnement. Les secteurs tels que l'industrie manufacturière, l'industrie pharmaceutique et la finance font face aux pertes absolues les plus élevées, l'Allemagne, la France et la Chine constituant des sources de risque importantes en raison de leurs liens économiques et de leur vulnérabilité face au changement climatique (p. ex. crues et clones tropicaux).

La sécurité d'approvisionnement de certains secteurs, tels que les denrées alimentaires, les produits pharmaceutiques et les matières premières critiques (MPC), est menacée par les aléas climatiques à l'échelle internationale. La forte dépendance de la Suisse aux importations et la concentration de la production mondiale (p. ex. en Asie pour les produits pharmaceutiques et les MPC) la rendent vulnérable aux pénuries et à la volatilité des prix liées au changement climatique.

Les impacts indirects du changement climatique à l'étranger risquent d'accentuer les inégalités sociales en Suisse. La hausse des coûts des produits de première nécessité et le risque de précarité de l'emploi liés aux perturbations des chaînes d'approvisionnement pourraient affecter de manière disproportionnée les ménages à faibles revenus, qui sont en outre souvent davantage exposés aux risques climatiques nationaux (10).

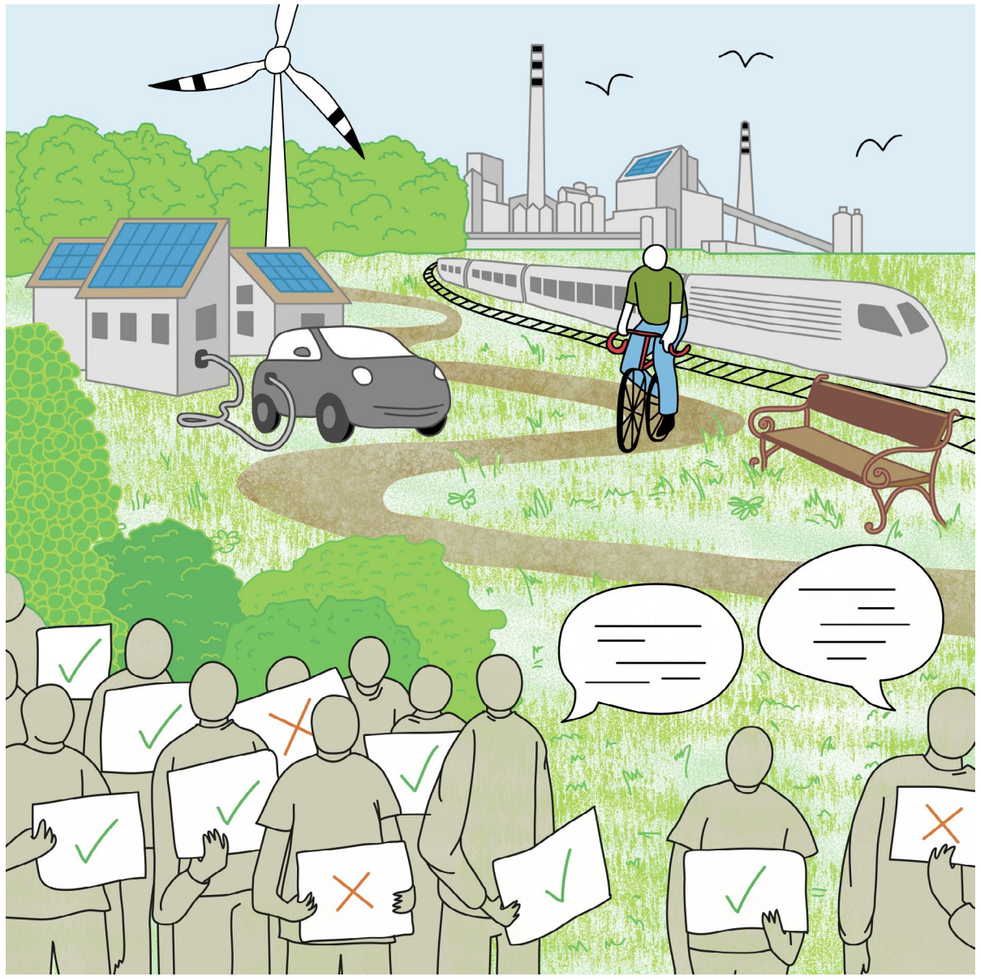
Mesures recommandées :

- Élaborer et mettre en œuvre des stratégies nationales et entrepreneuriales visant à diversifier les chaînes d'approvisionnement, à renforcer l'évaluation des risques climatiques et à intégrer les considérations climatiques dans les politiques de sécurité et sociales.

Études :

9 MeteoSwiss & ETH Zurich. Climate CH2025 - Scientific Report. Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, Zurich (2025); doi: 10.18751/climate/scenarios/ch2025/sr/1.0/.
10 Juhel, S., NCCS Global impacts of climate change on Switzerland Data Collection (2025); doi: 10.3929/ethz-c-000785985.

❹ Quels facteurs favorisent l'acceptation publique des politiques de zéro émission nette ?



Dans les sociétés démocratiques, l'acceptation publique constitue l'un des principaux défis à relever pour définir et mettre en œuvre des réglementations efficaces d'atténuation du changement climatique. Les politiques mal conçues ou perçues comme injustes ont peu de chances d'obtenir un soutien majoritaire, quels que soient leurs bénéfices à long terme.

Il est donc essentiel de comprendre les facteurs influençant les attitudes du public, ainsi que les avantages sociétaux associés à la neutralité climatique susceptibles de renforcer l'adhésion, afin de concevoir des politiques à la fois efficaces et socialement légitimes.

Compte tenu de l'étendue de cette thématique, SPEED2ZERO a concentré ses recherches sur certains domaines politiques afin d'identifier les principaux facteurs favorisant l'acceptation, ainsi que les opportunités économiques, considérées comme un bénéfice majeur susceptible de recueillir un large soutien, indépendamment des positions politiques et sociales.

Le rôle de l'équité dans le soutien aux politiques de neutralité climatique

Enseignements et résultats sélectionnés :

L'équité sociale n'est pas un concept uniforme. La notion de répartition équitable des coûts et des bénéfices fait l'objet de perceptions très variées. Il est essentiel de comprendre cette diversité de perceptions pour concevoir des politiques climatiques susceptibles de recueillir un véritable soutien du public.

Une enquête représentative menée auprès de la population suisse a révélé les préférences suivantes (1) :

- Neuf personnes sur dix sont sensibles à une conception de la justice attentive à la répartition des coûts et des bénéfices. Par conséquent, les politiques reposant uniquement sur les mécanismes de marché, sans tenir compte des inégalités, sont systématiquement rejetées.
- Un faible niveau de rigueur ne se traduit pas par un soutien accru aux politiques publiques. Lorsqu'elle est confrontée à différents niveaux de rigueur, la majorité de la population suisse accepte un certain niveau de rigueur dans les politiques climatiques réglementaires, mais uniquement lorsque les ensembles de mesures sont perçus comme équitables.
- Les exemptions en faveur des ménages à faibles revenus constituent un outil efficace. Elles peuvent accroître considérablement le soutien public à des mesures controversées, telles que l'interdiction des combustibles fossiles ou les taxes sur le carbone, sans pour autant réduire la rigueur de ces mesures.

Mesures recommandées :

- Privilégier des politiques climatiques réglementaires et redistributives, associant des normes strictes à des mécanismes visant à protéger les groupes particulièrement vulnérables, afin de garantir un large soutien public.

Études :

1 Joon, K. et al., Climate justice orientation is linked to preferences for decarbonisation policy design, Communications Earth & Environment (2026); doi: 10.1038/s43247-026-03255-y.

Préférences du public concernant des mesures spécifiques

Enseignements et résultats sélectionnés :

- **Tarifs d'électricité dynamiques :** pour permettre une mise en œuvre à grande échelle des tarifs d'électricité dynamiques, les entreprises de production d'électricité ont besoin d'un cadre juridique plus clair et d'une plus grande flexibilité réglementaire, tandis que les ménages doivent disposer d'options à faible risque et à forte rentabilité (2, 3).
- **Politique en matière d'aviation :** la population suisse préfère payer davantage plutôt que de réduire ses déplacements en avion. Une taxe générale ou une contribution appliquée aux grands voyageurs est perçue comme un moyen acceptable de couvrir les surcoûts liés à l'utilisation de carburants d'aviation durables afin de réduire les émissions du secteur aérien (4).
- **Taxe kilométrique pour les véhicules électriques à batterie (BEV) :** les taxes kilométriques appliquées aux BEV sont mieux acceptées lorsqu'elles tiennent compte du poids et de la puissance du véhicule. Toutefois, à mesure que l'adoption des BEV progresse, une résistance croissante de leurs propriétaires pourrait réduire l'acceptation globale de ces taxes. Le suivi du kilométrage par GPS soulève d'importantes préoccupations en matière de protection de la vie privée (5).
- **Stockage du carbone :** la population suisse préfère stocker le CO_2 produit en Suisse sur le territoire national plutôt que de l'exporter, à condition que l'industrie polluante prenne en charge les coûts associés (6).

Études :

2 Luther, A. et al., Determine realistic hedged dynamic electricity tariffs for utilities (in preparation); preregistration doi: 10.17605/OSF.IO/T2KNB.

3 Luther, A., et al., Determine realistic hedged dynamic electricity tariffs for households (in preparation); preregistration doi: 10.17605/OSF.IO/J2G3R.

4 Joon, K. et al., People would rather pay more than fly less: implications for aviation decarbonisation (in review); doi: 10.21203/rs.3.rs-10239437/v1.

5 Levis, A. et al., Compensating losses in fossil fuel tax revenues: First evidence of public support for a BEV mileage tax, Transport Policy (2025); doi: 10.1016/j.tranpol.2025.05.007.

6 Joon, K. et al., Where to store CO_2? Perspectives from Switzerland and China on CCS location preferences (in preparation); preregistration doi: 10.17605/OSF.IO/AR85C.

Les opportunités économiques comme argument en faveur de la transition

Enseignements et résultats sélectionnés :

Outre son impact positif sur la santé humaine et celle de la planète ainsi que la réduction des coûts liés au changement climatique, la transition vers la neutralité climatique offre également des opportunités concrètes pour l'économie locale, à condition de disposer de la main-d'œuvre qualifiée nécessaire.

Une participation active aux chaînes d'approvisionnement dans le secteur des énergies propres crée des opportunités d'emploi. Le développement de capacités de production régionales dans les domaines du photovoltaïque, des batteries et des pompes à chaleur peut créer des emplois et renforcer l'autonomie énergétique de la Suisse et de l'Europe.

La coopération internationale permet de maintenir les technologies à des coûts abordables et de favoriser leur déploiement à grande échelle. L'ouverture du commerce et la coopération internationale réduisent les coûts, accélèrent le déploiement et soutiennent le développement de la main-d'œuvre, tandis que des mesures trop restrictives risquent de ralentir la transition (7).

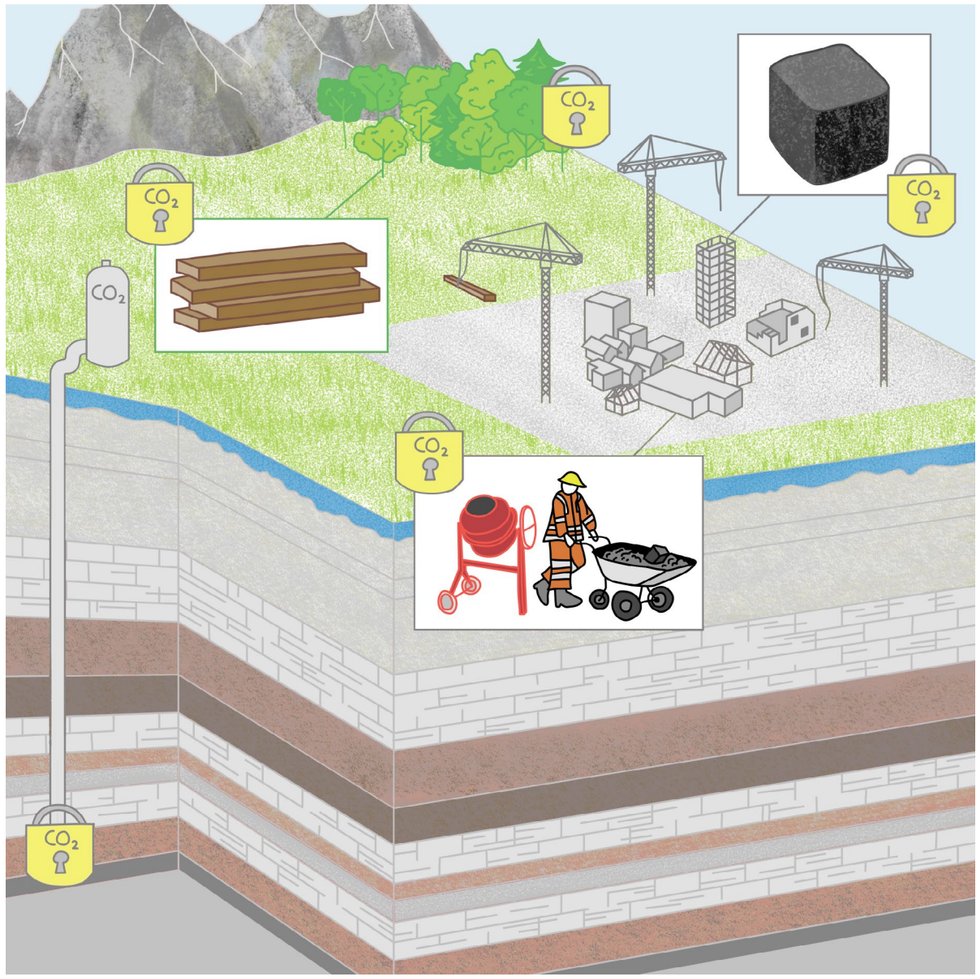
Mesures recommandées :

- Investir dans le secteur des énergies propres à l'échelle régionale et s'impliquer activement dans les chaînes d'approvisionnement internationales afin de créer des emplois, de renforcer l'autonomie énergétique et de promouvoir des technologies abordables.
- En collaboration avec les entreprises, proposer les formations professionnelles et technologiques nécessaires afin de constituer une main-d'œuvre locale suffisante.
- Sensibiliser davantage le public et les décideurs aux bénéfices économiques concrets de la transition vers la neutralité climatique.

Études :

7 Cui, C. et al., Policy-driven transformation of global solar PV supply chains and resulting impacts, Nature Communications (2025); doi: 10.1038/s41467-025-61979-5.

❺ Quel rôle jouent les différentes innovations en matière de stockage du carbone dans l'atteinte de l'objectif de zéro net ?



Transformer le secteur de la construction, comptant parmi les plus grands émetteurs de gaz à effet de serre (GES) et consommateurs d'énergie en Suisse, en un secteur neutre en carbone, voire en un puits de carbone net, nécessite des solutions permettant de remplacer les matériaux de construction à forte intensité de GES par des matériaux qui, idéalement, stockent durablement davantage de CO_2 atmosphérique dans les bâtiments neufs et rénovés que leur production n'en émet. SPEED2ZERO s'est concentré sur l'expérimentation d'innovations dans le domaine des matériaux à base de biomasse et de béton, ainsi que sur leur mise en œuvre dans un bâtiment pilote.

Bien qu'il soit important de remplacer le ciment et l'acier dans la construction tout en optimisant leur utilisation, ces deux matériaux de construction conserveront leur place dans une société à zéro émission nette. Le captage et le stockage du carbone constituent l'une des principales solutions permettant de réduire sensiblement les émissions restantes liées à la production de ciment. À cette fin, le CO_2 capté doit être stocké de manière durable. C'est pourquoi SPEED2ZERO a également intégré un projet consacré au stockage géologique du CO_2 en Suisse.

Quel est le potentiel de stockage du carbone à l'échelle urbaine ?

Enseignements et résultats sélectionnés :
Les bâtiments peuvent contribuer à atténuer le changement climatique. L'assainissement de bâtiments existants ou la construction de nouveaux bâtiments à l'aide de matériaux à bilan carbone négatif offre la possibilité de capter et de stocker le carbone plutôt que d'en émettre. Alors que la production de matériaux conventionnels tels que le béton génère des émissions de carbone, des alternatives comme le charbon végétal ou l'isolant cellulosique permettent de stocker du carbone pendant des durées variables.

Une approche intégrée associant développement urbain et construction est essentielle pour atténuer efficacement le changement climatique (1). Des outils analytiques tels que City Energy Analyst facilitent cette démarche en permettant une planification et une optimisation fondées sur les données à l'échelle de la ville.

Mesures recommandées :
- Promouvoir une construction éco-intelligente en favorisant la réutilisation, la rénovation réfléchie et l'utilisation de matériaux à bilan carbone négatif, tout en alignant le développement urbain sur des pratiques de construction durables.

Solutions matérielles spécifiques qui ont été développées, dont certaines sont également mises en œuvre au NEST (Next Evolution in Sustainable Building Technologies) :
- **Béton** : le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde et peut absorber naturellement le CO_2 de l'air grâce à un processus appelé carbonatation, qui peut être accéléré à l'aide de nouvelles technologies. Le taux d'humidité du béton est le principal facteur déterminant l'influence de la carbonatation sur la durée de vie des structures en béton armé, telles que les bâtiments et les ponts. Un contrôle précis du taux d'humidité peut prolonger la durée de vie du béton tout en renforçant sa capacité à capter le CO_2 présent dans l'air (2).
- **Panneaux isolants en charbon végétal** : les panneaux isolants en charbon végétal permettent de stocker du carbone et sont fabriqués à partir de ressources renouvelables, offrant ainsi une alternative respectueuse du climat aux matériaux isolants conventionnels. Produits à partir de déchets agricoles ou paysagers, ces panneaux valorisent une biomasse qui serait autrement mise au rebut. En plus de servir de puits de carbone, ils améliorent l'efficacité énergétique des bâtiments grâce à leurs propriétés isolantes (3).
- **Structures hybrides bois-minéraux** : en extrayant le calcium du béton recyclé et en le liant au CO_2, il est possible de créer des minéraux riches en carbone. Ces minéraux peuvent être valorisés en étant intégrés au bois afin d'en améliorer la durabilité et la résistance au feu. Les bâtiments construits à partir de composites bois-minéraux permettent de stocker du CO_2 à la fois grâce à la photosynthèse naturelle du bois et grâce à une minéralisation supplémentaire du CO_2 issue de la décarbonation de la production de ciment. Cette innovation en matière de matériaux circulaires peut être utilisée dans des différents éléments de construction, tels que les revêtements, les panneaux de bois et les briques (4).

Études :

1 Meshkinkiya, M. et al., Assessing biogenic carbon storage at urban scale through urban building energy modelling. Sustainable Cities and Society (2025); doi: 10.1016/j.scs.2025.106355.
2 Zhang, Z. et al., RILEM Techn Lett (in review).
3 Kyeremeh, S. K. et al. (in preparation).
4 Ding, Y. et al., Valorization of demolition waste and biomass byproduct into sustainable building materials via carbon mineralization and 3D printing, Chemistry–Methods (2025); doi: 10.1002/cmtd.202500007.

Évaluer la faisabilité du stockage géologique du CO_2 dans le sous-sol suisse

Le stockage géologique du CO_2 permet de remettre le carbone dans le sous-sol, d'où il provient à l'origine. L'injection de CO_2 en profondeur dans des formations rocheuses appropriées est un procédé sûr lorsqu'elle est réalisée et surveillée avec soin.

Le stockage du CO_2 est utilisé en toute sécurité en Europe depuis les années 1990, et plusieurs projets commerciaux sont aujourd'hui en exploitation ou en cours de développement, à terre comme en mer.

Des études montrent que la Suisse dispose de formations géologiques appropriées pour le stockage du CO_2, mais que l'expérience pratique dans ce domaine fait encore défaut. Le projet pilote CITru entend servir de modèle pour de futures initiatives en démontrant les conditions nécessaires à l'injection de CO_2 dans le sous-sol en vue de son stockage permanent : des étapes techniques et opérationnelles aux coûts, en passant par la communication et les autorisations (5, 6).

Mesures recommandées :
- Soutenir les projets pilotes et les travaux de recherche sur le stockage géologique du CO_2 afin d'acquérir des expériences pratiques et d'évaluer le potentiel du sous-sol suisse.

Études :

5 Diamond, L. W. et al., Geochemical – hydrogeological study of a proposed CO_2 injection pilot at Trüllikon, Switzerland. Contributions to the feasibility study for project CITru. – Rep. swiss geol. Surv. 19 (2025).
6 Schultz, R. et al., Pre-screening of induced seismicity risks for CO_2 injection at Trüllikon, Switzerland, International Journal of Greenhouse Gas Control, Volume 138, 104239,ISSN 1750-5836 (2024); doi: 10.1016/j.jggc.2024.104239.

Perspectives

L'initiative conjointe SPEED2ZERO s'achèvera officiellement à la fin de l'année 2026.

Au-delà des résultats et des outils présentés dans la présente publication, dont certains continueront à être développés et utilisés dans d'autres contextes, le réseau établi dans le cadre de SPEED2ZERO perdurera également. Au fil des années de collaboration, des chercheurs issus des domaines du climat, de l'énergie et de la biodiversité ont développé non seulement des projets communs, mais aussi une compréhension mutuelle approfondie entre les différentes disciplines.

Dans le même temps, le programme a permis de tisser des liens durables avec des décideurs issus de la politique, de l'administration publique et du secteur privé. Le dialogue entre la science, les acteurs politiques et la société dans son ensemble se poursuivra à travers différents projets et initiatives, comprenant :

- NCCR CLIM+
- SWEET ACHIEVE
- SWEET RECIPE

Informations sur la publication

Scientifiques ayant contribué au projet :
Antoine Adde, Eawag
Florian Altermatt, Eawag
Ueli Angst, ETH Zürich
Kay Axhausen, ETH Zürich
André Bardow, ETH Zürich
Gino Baudry, EPFL
Christian Bauer, PSI
Viola Becattini, ETH Zürich
Klara Berg, ETH Zürich
Thomas Bernauer, ETH Zürich
Luzi Bernhard, WSL
Luna Bloin-Wibe, ETH Zürich
Konrad Bogner, WSL
Laura Booth, ETH Zürich
Stefanie Börsig, ETH Zürich
Victor Boussange, WSL
David N. Bresch, ETH Zürich
Philipp Brun, WSL
Cyril Brunner, ETH Zürich
Manuela Brunner, ETH Zürich
Nina Buchmann, ETH Zürich
Ingo Burgert, ETH Zürich
Yohann Chauvier, WSL
Can Cui, ETH Zürich
Marie-Ange Dahito, WSL
Francesco De Marco, ETH Zürich
Yong Ding, Empa
Nina Effenberger, ETH Zürich
Roman Elsener, Empa
Ampellio Enrico, ETH Zürich
Rebekka Estermann, WSL/SLF
Lukas Fesenfeld, ETH Zürich
Massimo Filippini, ETH Zürich
Johan Früh, WSL
Paolo Gabrielli, ETH Zürich
Jasmine Garland, ETH Zürich
Franziska Geber, SLF
Mostafa Genena, ETH Zürich
Blazhe Gjorgiev, ETH Zürich
Shirin Goshtasbpour, ETH Zürich
Leonard Göke, ETH Zürich
Catherine Graham, WSL
Adrienne Grêt-Regamey, ETH Zürich
Lukas Gudmundsson, ETH Zürich
Gloria Romera Guereca, ETH Zürich
Thanushika Gunatilake, ETH Zürich
Yasser Haddad, ETH Zürich
Mathias Hauser, ETH Zürich
Martin Hirschi, ETH Zürich
Volker Hoffmann, ETH Zürich
Gabriela Hug, ETH Zürich
Samuel Juhel, ETH Zürich
Kristiina Joon, ETH Zürich
Jonas Junker, ETH Zürich
Dirk Karger, WSL
Valentin Klaus, ETH Zürich
Anna Knör, ETH Zürich
Reto Knutti, ETH Zürich
Fanny Kristianti, WSL/SLF
Ronny Kürsteiner, ETH Zürich
Stephen Kyeremeh, Empa
Michael Lehning, SLF
Alessio Levis, ETH Zürich
Florian Lichtin, ETH Zürich
Michèle Marti, ETH Zürich
Stephanie Isabelle Mayer, WSL
Marco Mazzotti, ETH Zürich
Michael McCarthy, WSL
Nicolai Meinshausen, ETH Zürich
Maryam MeshkinKiya, ETH Zürich
Stefano Moret, ETH Zürich
Christian Moretti, PSI
Pauline Oeuvray, ETH Zürich
Guido Panzarasa, ETH Zürich
Paola Paruta, EPFL
Anthony Patt, ETH Zürich
Francesca Pellicciotti, WSL
Loïc Pellissier, ETH Zürich
Fernando Perez Cruz, ETH Zürich
Antonio Pio Rinaldi, ETH Zürich
Gian-Kasper Plattner, WSL
Benedict Probst, ETH Zürich
Elena Raycheva, ETH Zürich
Marc Reusser, ETH Zürich
Franziska Richter, ETH Zürich
Nadine Salzmann, SLF
Maxim Samarin, ETH Zürich
Giovanni Sansavini, ETH Zürich
Jonas Savelsberg, ETH Zürich
Christian Schaffner, ETH Zürich
Maybritt Schillinger, ETH Zürich
Michael Schirmer, WSL
Arno Schlüter, ETH Zürich
Tobias Schmidt, ETH Zürich
Christina Schnadt, ETH Zürich
Thomas Schnider, ETH Zürich
Mark Schubert, Empa
Dominik Schumacher, ETH Zürich
Jonas Schwaab, ETH Zürich
Jürg Schweizer, SLF
Sonia Seneviratne, ETH Zürich
Petra Sieber, ETH Zürich
Keith Smith, ETH Zürich
Jara Späte, ETH Zürich
Lea Stapper, ETH Zürich
Michael Stauffacher, ETH Zürich
Bjarne Steffen, ETH Zürich
Niklas Stolz, ETH Zürich
Tom Terlouw, ETH Zürich
Philippe Thalmann, EPFL
Tim Tröndle, ETH Zürich
Evren Turan, ETH Zürich
Gustavo Valverde, ETH Zürich
Michele Volpi, ETH Zürich
Tobias Wechsler, WSL
Jannis Wernery, Empa
Stefan Wiemer, ETH Zürich
Gabriel Wiest, ETH Zürich
Jan Wohland, ETH Zürich
Massimiliano Zappa, WSL
Alba Zappone, ETH Zürich
Zhidong Zhang, ETH Zürich
Franziska Zilker, ETH Zürich
Niklaus Zimmermann, WSL

Responsables des lots de travail et comité de direction de SPEED2ZERO :
Florian Altermatt (WP2 Lead)
Christian Bauer
Gabriela Hug (WP3 Lead)
Reto Knutti (Main PI and WP3 Lead)
Gian-Kasper Plattner
Sonia Seneviratne (WP4 Lead)
Philippe Thalmann (WP4 Lead)
Jannis Wernery (WP1 Lead)
Niklaus Zimmermann (WP2 Lead)
Christian Moretti
Christian Schaffner
Christina Schnadt
Cyril Brunner (Project Lead)

Synthèse et rédaction :
Danila Helfenstein & Cyril Brunner, SPEED2ZERO / ETH Zürich

Il s'agit d'une traduction de la version anglaise. En cas d'interprétations différentes dans les différents rapports linguistiques, c'est le texte de la version anglaise qui s'applique.

Éditeur : SPEED2ZERO
Visualisations : Début Début
Zurich, septembre 2026