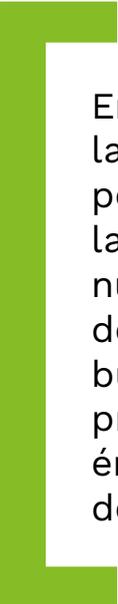


Sécurité d'approvisionnement et protection du climat

Comment la Suisse peut garantir un approvisionnement énergétique sûr et sans énergies fossiles grâce à un développement rapide du photovoltaïque





En 2013, Greenpeace Suisse a présenté pour la première fois un scénario énergétique global pour la Suisse. Ce scénario montrait comment la Suisse pouvait à la fois se passer de l'énergie nucléaire et réduire ses émissions de gaz à effet de serre à zéro net d'ici 2050, sans dépasser le budget carbone encore disponible à l'époque. Le présent rapport est une mise à jour du scénario énergétique global de 2013, qui tient compte des connaissances les plus récentes.



Une publication de Greenpeace Suisse, janvier 2022

Les résultats présentés dans ce rapport se basent sur l'étude originale «Energy [R]evolution: 100% Renewable Energy for Switzerland» élaborée sur mandat de Greenpeace Suisse par Dr. Sven Teske, Dr. Jihane Assaf et Yohan Kim de l'Institute for Sustainable Futures de l'University of Technology à Sydney.

Le rapport en anglais se trouve sur le site internet de Greenpeace Suisse : www.greenpeace.ch/scenario-energetique

Expertise scientifique :

Dr. Sven Teske est professeur agrégé et directeur du secteur de l'énergie à l'Institute for Sustainable Futures (UTS-ISF) à l'Université de technologie de Sydney. L'équipe de modélisation de l'ISF, dirigée par le Dr Sven Teske, est le leader mondial de la modélisation de scénarios énergétiques

utilisant 100 % d'énergies renouvelables. Le Dr Sven Teske a plus de 20 ans d'expérience dans l'analyse technique des systèmes d'énergie renouvelable, les études de marché sur les énergies renouvelables et les concepts d'intégration pour des parts élevées d'électricité renouvelable variable dans les réseaux électriques. www.uts.edu.au/isf

Le Dr Sven Teske et son équipe ont également développé, en collaboration avec d'autres instituts de recherche, le **One Earth Climate Model**, qui montre comment la limite de l'augmentation de la température mondiale à 1,5 degré Celsius, convenue dans l'accord de Paris, peut être respectée au niveau mondial.

Le concept a été publié par Springer Publishing en 2019 : <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-05843-2>

Sommaire

Résumé	6
Introduction	11
Conditions-cadres et hypothèses : méthode de calcul	12
Résultats : C'est ainsi que les sources d'énergie fossiles deviennent obsolètes en Suisse	16
Évolution des émissions de CO ₂ : 1.5°C est encore possible !	16
Le budget d'émission global	16
Le budget carbone de la Suisse	18
Protection du climat dans le secteur des transports	21
Mesures pour la transformation du secteur des transports	23
Protection du climat et sortie du nucléaire dans la production d'électricité	24
Réseaux électriques	25
Sécurité de l'approvisionnement	26
Mesures pour la transformation de la production d'électricité avec la garantie de la sécurité de l'approvisionnement	33
Protection du climat dans la production de chaleur	34
Mesures pour la transformation de la production de chaleur	35
Développement du besoin en énergie primaire et finale	36
Investissements et emplois	38
Les autres émissions de gaz à effet de serre (GES)	40
Emissions d'autres gaz à effet de serre en Suisse	40
Emissions du trafic aérien	41
Emissions de la consommation	42
Autres émissions dont la Suisse est responsable	43
Changement social au lieu de solutions technologiques ?	44
Annexe	46
Glossaire	46
Bilan mensuel de l'approvisionnement électrique dans le scénario ADV	56
Hypothèses de croissance de l'économie et de la population	58
Hypothèses sur les coûts de l'énergie et des technologies	59
D'autres hypothèses sont documentées dans le rapport principal en anglais	60

Résumé

En 2013, Greenpeace Suisse a présenté un scénario énergétique global pour la Suisse. Ce scénario montrait comment la Suisse pourrait sortir du nucléaire et d'ici 2050, réduire à zéro ses émissions de gaz à effet de serre (GES), sans dépasser le budget CO₂ encore disponible à ce moment-là. Nous avons aussi montré quels sont les investissements nécessaires pour créer des emplois autochtones et garantir la sécurité de l'approvisionnement.

A l'époque, c'était encore impensable pour beaucoup de gens de devoir éliminer toutes les émissions de CO₂. Entre-temps, l'objectif zéro net est devenu incontournable. L'Accord de Paris le mentionne explicitement et en 2019, le Conseil fédéral a officiellement annoncé vouloir une Suisse « climatiquement neutre » d'ici 2050. En 2020, il y eut ensuite les Perspectives énergétiques 2050+ de la Confédération qui montrent comment la Suisse peut atteindre cet objectif. Le Conseil fédéral a adopté en janvier 2021 la stratégie climatique à long terme de la Suisse qui se base sur ces perspectives.

La principale faiblesse de la stratégie du Conseil fédéral se trouve dans la quantité de gaz à effet de serre (GES) beaucoup trop élevée qui peuvent encore être émis en Suisse dans le cadre de la mise en œuvre de cette stratégie d'ici 2050.

Il n'est donc pas possible de respecter la limite d'un réchauffement de 1.5°C fixée dans l'Accord de Paris sur le climat pour assurer la pérennité de nos conditions de vie. Si tous les pays avaient les mêmes ambitions climatiques que la Suisse, nous risquerions jusqu'à 3°C de réchauffement, comme le montre l'analyse de Climate Action Tracker, un think tank spécialisé dans le climat.¹ Sur une planète plus chaude de 3°C, nous risquons une mortalité massive et la fin de la civilisation telle que nous la connaissons.

C'est pour cela que Greenpeace Suisse a mandaté des spécialistes indépendants de l'Institute for Sustainable Future (ISF) de l'Université de Sydney (University of Technology Sydney,

UTS) pour faire une mise à jour de l'Energy [R]evolution. Deux nouveaux scénarios, Energy [R]evolution (ER) et ADVANCED Energy [R]evolution (ADV) montrent les possibilités de décarbonisation accélérée et d'une sortie plus rapide de l'utilisation de l'énergie nucléaire. Ils tiennent compte des dernières connaissances du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et du budget CO₂ dont la Suisse dispose encore pour limiter le réchauffement de l'atmosphère planétaire à 1.5°C au maximum.

Les scénarios Greenpeace montrent qu'un approvisionnement en énergie sans électricité d'origine nucléaire et sans émissions de CO₂ est possible en Suisse et économiquement réaliste. Les éléments décisifs en sont :

- une extension fortement accélérée du photovoltaïque et
- une augmentation de l'efficacité énergétique y compris des économies liées à des changements de comportements.

Le photovoltaïque devient l'énergie clé pour la décarbonisation des transports, des bâtiments et de l'industrie. **Afin de respecter le budget carbone restant pour 1,5°C et de garantir la sécurité d'approvisionnement, le développement du photovoltaïque doit être massivement accéléré à plus de 12 TWh/a d'ici 2025 (!). D'ici 2035, la contribution des nouvelles énergies renouvelables (sans l'hydraulique) doit être portée à plus de 38 TWh/a, dont 30 TWh/a proviendront du photovoltaïque.** Ainsi, les émissions de CO₂ liées à l'énergie en Suisse peuvent être réduites de 60% d'ici 2030 et de

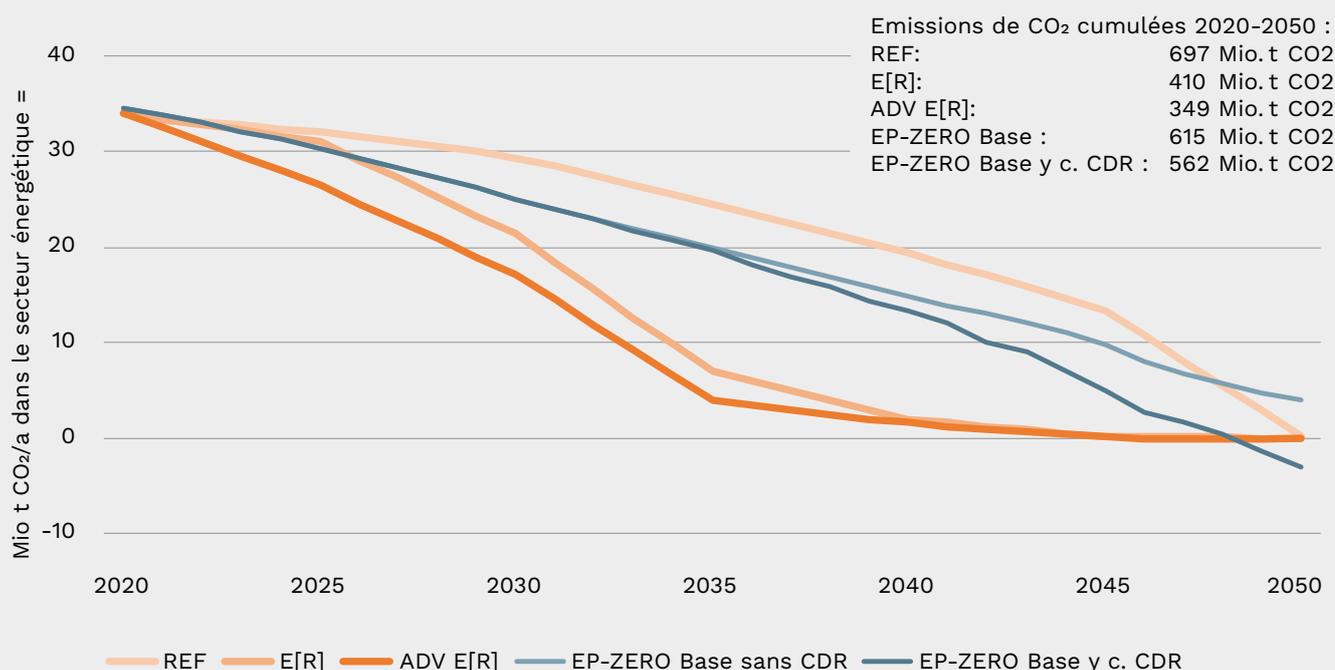
¹ Voir l'analyse sur <https://climateactiontracker.org/countries/switzerland/> (état 03.01.2022).

90% d'ici 2035 par rapport à 1990. **Les émissions de CO₂ restantes peuvent être compensées par des émissions négatives, c'est-à-dire par l'élimination du carbone de l'atmosphère, de sorte qu'en 2035, les émissions nettes de CO₂ pourront être nulles.** Pour cela, la Suisse doit prendre des dispositions dès aujourd'hui.

La transformation accélérée du système énergétique rend la Suisse plus indépendante, plus sûre et plus favorable au climat. La Suisse n'a besoin ni de centrales nucléaires ni de nouvelles centrales à gaz.

Illustration Z1 : Evolution des émissions de CO₂ et des émissions cumulées d'ici 2050 pour les scénarios Energy [R]evolution REF, ER et ADV, ainsi que le scénario EP-ZERO Base des Perspectives énergétiques 2050+ avec et sans Capture du carbone (Carbon Dioxide Removal (CDR)).

Source : Calculs Greenpeace et Perspectives énergétiques 2050+ (variante EP-ZERO Base, variante stratégique « bilan annuel équilibré 2050 », durée de fonctionnement centrales nucléaires 50 ans).

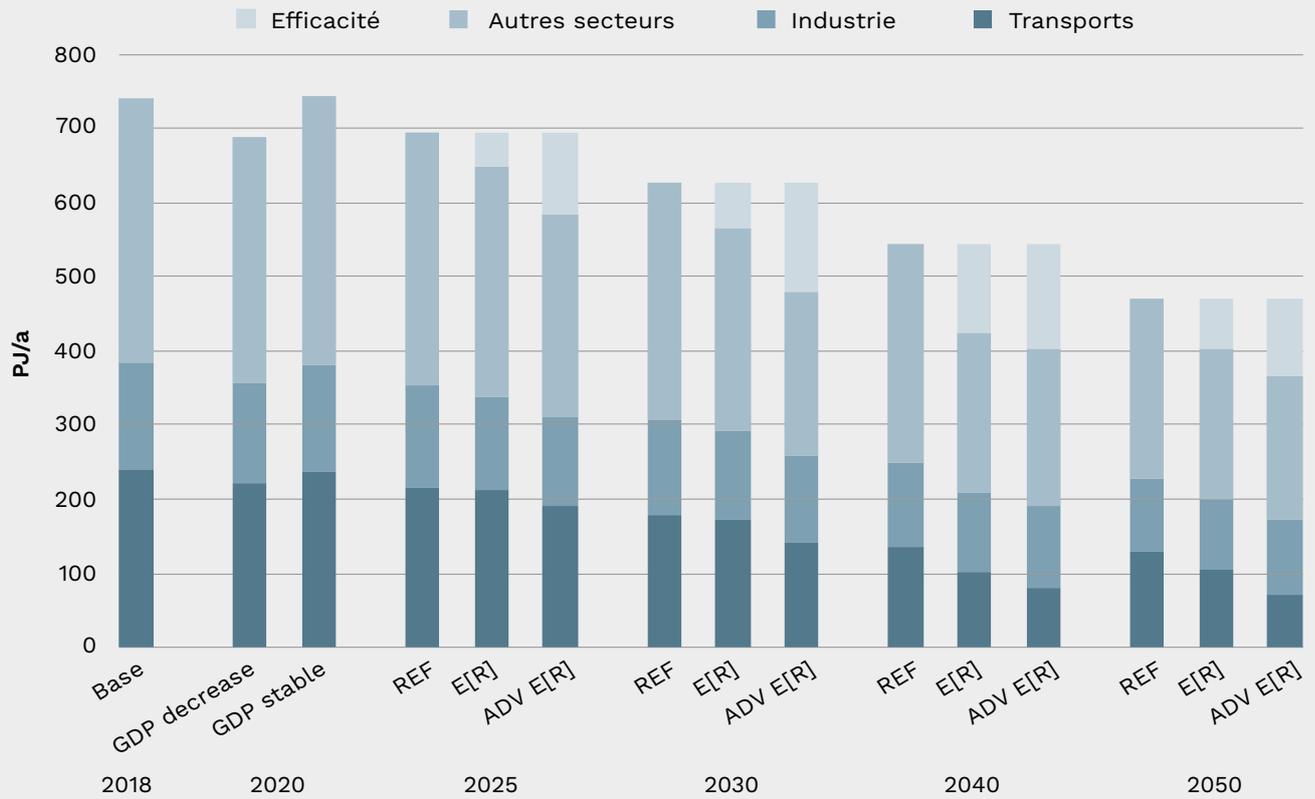


La consommation d'énergie finale diminue, la production autochtone d'électricité augmente fortement

Les deux scénarios d'Energy [R]evolution montrent un recul plus rapide et plus fort de la consommation d'énergie finale que le scénario de référence REF qui reflète le projet de protection du climat de la Confédération, même si la

Suisse est actuellement sur une trajectoire de statu quo. Les scénarios Greenpeace se basent entre autres sur l'épuisement du potentiel d'utilisation plus efficace de l'énergie (p. ex. l'évitement des consommations en stand-by, le remplacement des anciens éclairages et des anciens moteurs électriques, l'électrification de tous les transports).

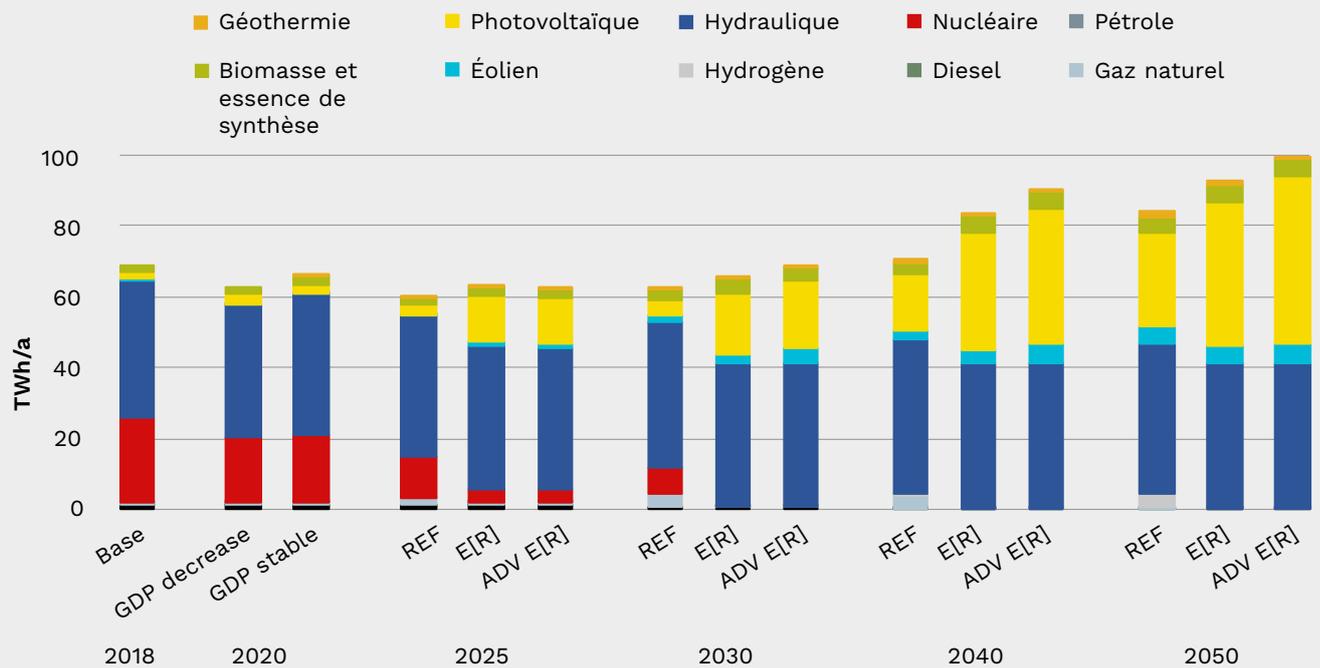
Illustration Z2 : Évolution du besoin en énergie finale (sans les applications non énergétiques).



Dans les deux scénarios ER, la production d'électricité augmente en Suisse d'environ 25 TWh/ à 30 TWh/a d'ici 2050, du fait de l'électrification conséquente d'applications qui utilisent encore des sources d'énergie fossiles et du besoin en électricité renouvelable pour produire des car-

burants et des combustibles pour la décarbonation d'engins lourds et de processus à haute température. **Au final, le photovoltaïque contribuera plus à l'approvisionnement énergétique que l'hydraulique.**

Illustration Z3 : Évolution de la production d'électricité pour les différentes technologies.



Dans les deux scénarios d'Energy [R]evolution, Greenpeace Suisse montre que la transformation du secteur énergétique peut réussir avec une durée de fonctionnement des centrales nucléaires de 45 ans² au lieu des 50 ans prévus par les Perspectives énergétiques de la Confédération (voir même de 60 ans selon certaines variantes). Ces scénarios prévoient aussi une extension de l'énergie éolienne et de la biomasse, mais pas de l'hydraulique, car il est supposé que le respect des lois en vigueur sur la protection des eaux, l'optimisation du système et les centrales en cours de réalisation permettent de garantir la production actuelle.

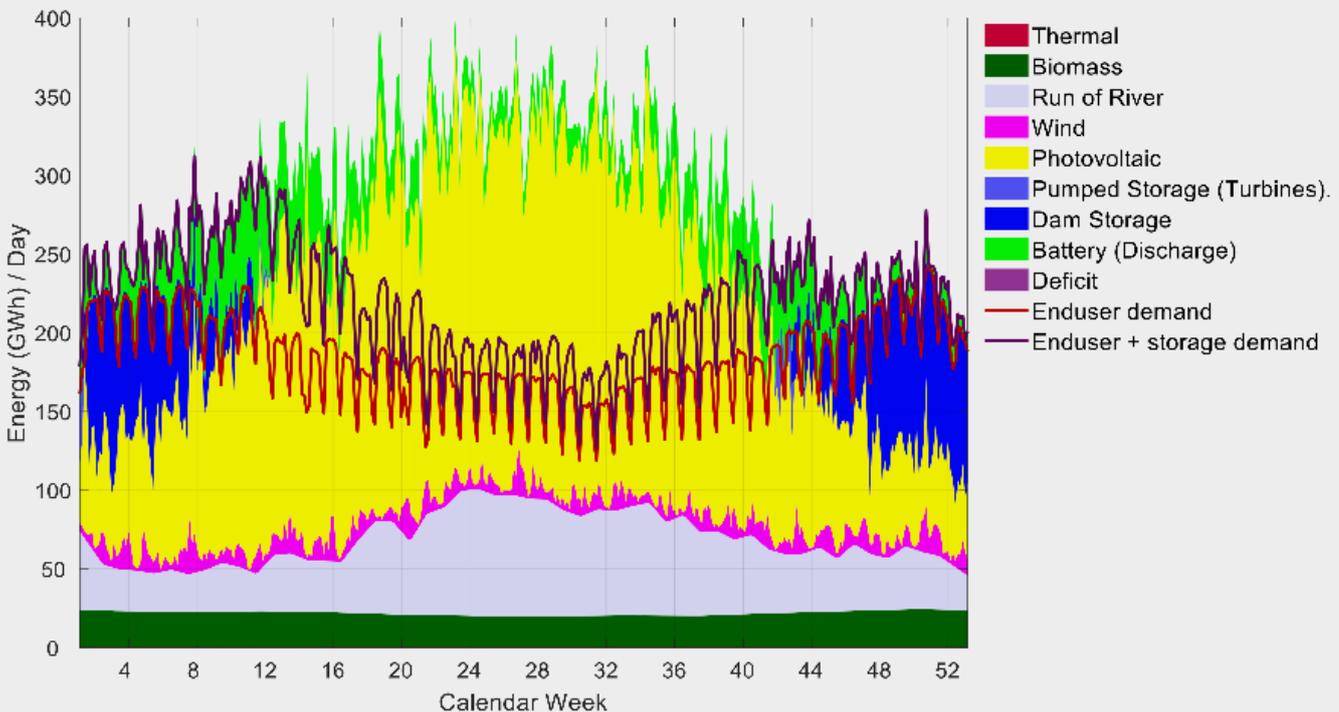
La sécurité de l'approvisionnement est assurée

Le mix électrique visé par les scénarios de l'Energy [R]evolution permet d'assurer la sécurité de l'approvisionnement de la Suisse. C'est ce

que soulignent les analyses de la stabilité du réseau électrique et la modélisation fidèle à la réalité de l'approvisionnement électrique en 2025, 2030, 2040 et 2050. **On voit clairement que plus l'extension du photovoltaïque sera rapide, moins les déficits hivernaux seront importants.**

Le rythme d'extension prévu dans les scénarios de l'Energy [R]evolution permet que le déficit autochtone d'approvisionnement électrique ne soit jamais plus élevé qu'actuellement. Les 5 TWh/a qui ont en moyenne été importés ces 5 dernières années en hiver ne seront pas dépassés, même dans le scénario du pire cas météorologique. Avec une **extension maximale du photovoltaïque en 2050, il n'y aura plus de déficit hivernal. Notre approvisionnement sera plus sûr et plus indépendant qu'actuellement.**

Illustration Z4 : Modélisation de l'approvisionnement électrique autochtone en 2050 pour le scénario ADV. A aucun moment de l'année n'apparaît un déficit d'approvisionnement. (Source : modèle énergétique SCS, résolution précise par jour, calculs Greenpeace)



Le développement du photovoltaïque assure donc l'approvisionnement en hiver et entraîne d'énormes surplus en été, ce qui permet de produire en Suisse des agents énergétiques qui sont aujourd'hui entièrement importés. **En 2050, ce sont environ 23 TWh/a qui seront nécessaires**

pour la production d'hydrogène et de combustibles ou carburants synthétiques (méthane/méthanol). Cela permettra de décarboniser des applications difficilement électrifiables dans l'industrie et les transports.

²Hypothèse : Beznau 1+2 seront arrêtés dès 2022, Gösgen sera arrêtée fin 2024, Leibstadt fin 2029.

Prendre la bonne direction avec la Loi sur l'énergie

Les scénarios de l'Energy [R]evolution montrent que la Suisse est très bien positionnée pour effectuer la décarbonisation de tout le secteur énergétique en combinant l'utilisation économe de l'énergie, le photovoltaïque et l'hydraulique.

Comme jusqu'ici l'extension du photovoltaïque a été trop lente, la Confédération et les cantons doivent la compenser de façon ciblée et déterminée. La Loi fédérale sur l'énergie est actuellement en révision. Elle doit être adaptée de façon à ce que d'ici 2035 au moins 38 TWh/a (au lieu des 17 TWh/a prévus) viennent des nouvelles énergies renouvelables (sans l'hydraulique). Pour atteindre cet objectif, il faut en particulier créer un environnement qui permet des investissements massifs dans l'extension du photovoltaïque en Suisse.

La transition énergétique de Greenpeace crée des emplois et de la valeur ajoutée

Comparé aux investissements qui sont de toute façon nécessaires pour entretenir et rénover l'infrastructure énergétique existante pour environ CHF 1'400 milliards d'ici 2050, **les scénarios d'Energy [R]evolution proposés demandent un investissement supplémentaire d'environ 7.5% – soit CHF 105 milliards d'ici 2050.** Ce sont environ CHF 3.5 milliards par an, ce qui ne correspond même pas à la moitié de l'argent investi annuellement ces 10 dernières années pour acheter du pétrole et du gaz naturel.

L'argent investi pour une transition énergétique sûre et favorable au climat crée une grande plus-value pour la Suisse. Il faut mentionner :

- **La création d'emplois et de plus-value en Suisse.** D'ici 2030, ces investissements créeront jusqu'à 30'000 nouveaux emplois dans le domaine des technologies propres (cleantech), près de la moitié d'entre eux dans le photovoltaïque. L'effet sur l'emploi déclenché dans toute l'économie produit un ensemble d'environ 60'000 nouvelles places de travail. Les entreprises situées en Suisse bénéficient du programme suisse de protection du climat proposé par l'Energy [R]evolution et non les pays producteurs de gaz et de pétrole.
- **Le renforcement de l'approvisionnement autochtone et l'augmentation de l'indépendance à l'égard des fournisseurs d'énergie et des cartels de prix.**

- **La réduction des coûts externes liés à l'utilisation d'énergies fossiles** – en particulier dans le domaine de la santé.

- **L'augmentation de la probabilité que la crise climatique puisse être résolue collectivement et que des milliards de dégâts puissent être évités.** Les prix des solutions baissent lorsque les pays riches vont de l'avant avec les investissements dans la décarbonisation. La réduction de chaque dixième de degré du réchauffement de l'atmosphère planétaire permet de diminuer les coûts des dégâts.

Il est indispensable de transformer l'approvisionnement énergétique pour pouvoir éviter les graves effets de la crise climatique. Il faut simultanément aussi éliminer les émissions de gaz à effet de serre (GES) provoquées par l'agriculture, la valorisation des déchets, l'industrie (gaz synthétiques et émissions géogènes), le trafic aérien (qui n'est pas compté dans les plans de protection du climat des Etats), la consommation autochtone, ainsi que la place financière suisse et les multinationales domiciliées en Suisse.

Et rapidement. La tâche est de plus en plus ardue parce que les mesures efficaces de protection du climat ont été repoussées pendant des décennies. Les plans actuels de protection du climat de la Suisse ne suffisent pas à limiter l'augmentation de la température à 1,5°C. Ce faisant, la Suisse viole la solidarité entre les peuples du monde entier et le contrat de génération avec nos enfants. Enfin, elle aggrave la situation des personnes qui souffrent déjà excessivement des conséquences du réchauffement climatique.

La crise climatique vient aussi de l'actuelle logique de croissance économique perpétuelle à laquelle il semble interdit de toucher. La consommation des Suissesses et des Suisses se base sur la croyance en une planète sans limite. La croissance économique est très souvent considérée comme solution à des problèmes essentiels. Cela trouble la vision sur l'indispensable évolution des sociétés favorisées. Il doit être possible de vivre agréablement avec moins de performances économiques. A côté de l'engagement pour une rapide transformation du système énergétique décrit dans les scénarios de l'Energy [R]evolution, Greenpeace s'engage pour une transformation socio-économique réaliste.

Introduction

Dans cette mise à jour du scénario énergétique global Energy [R]evolution, le budget carbone et une limitation de la durée de fonctionnement des centrales nucléaires à 45 ans jouent un rôle central pour le respect de l'objectif de limiter le réchauffement climatique à 1.5°C. Nous montrons comment la Suisse peut quand même encore contribuer à résoudre la crise climatique sans augmenter les risques liés au nucléaire. « Quand même encore », car d'importantes mesures de protection du climat et de transformation de l'approvisionnement énergétique sont repoussées depuis des décennies.

Par les scénarios de l'Energy [R]evolution, Greenpeace Suisse montre la voie vers un approvisionnement énergétique de la Suisse sûr et compatible avec le climat. Par les scénarios élaborés par des experts·es indépendants, nous aimerions contribuer au dialogue climatique et en particulier montrer que le champ des possibles est bien plus grand que ce que croient le Parlement, le gouvernement et aussi une grande partie de la société.

Les informations sur la stratégie climatique et énergétique du Conseil fédéral donnent en effet l'impression qu'elle viserait les objectifs les plus élevés possibles. Elles racontaient et racontent une histoire qui fait croire que la Suisse, un des pays les plus riches de la planète, ne pourrait pas plus contribuer à résoudre la crise climatique. **Nous devons changer ce narratif pour être en mesure de résoudre la crise climatique en tant que société. Après des décennies d'attente, nous devons enfin agir de façon intelligente pour le climat. Car il est dangereux et idiot de ne pas en faire assez pour résoudre ce problème.**

La volonté et le soutien de la société pour une action plus intelligente pour le climat ne dépendent pas seulement que l'on débâte sur ce qui est vraiment possible et sur ce qui est en jeu. Si la Suisse garde le cap actuel, elle menace très clairement nos conditions de vie. C'est ce que montrent les effets déjà observables aujourd'hui d'un réchauffement de l'atmosphère planétaire d'environ 1.1°C et l'augmentation des indices selon lesquels certains points de bascule du système climatique pourraient être atteints. De tels effets de rétroaction positive pourraient conduire à ce que nous perdions complètement le contrôle sur le réchauffement dans son ensemble. Les conséquences potentielles en sont une mortalité massive et la fin de la civilisation telle que nous la connaissons.

La prise en considération du risque de catastrophe climatique liée à l'ajournement régulier des mesures de protection du climat ne doit pas faire oublier que la résolution de la crise apporte aussi d'énormes opportunités.

La transition vers les énergies renouvelables rendra la Suisse indépendante des énormes importations d'énergie actuelles. Des milliards de francs resteront en Suisse au lieu de partir en Lybie, au Kazakhstan et en Russie. Ces milliards pourront être utilisés par notre secteur autochtone des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Les régions périphériques bénéficieront particulièrement des plus-values, car la transition énergétique crée plus d'emplois que de maintenir le statu quo et génère également des prix de l'énergie payables à long terme sans cartel du pétrole qui dicte les prix. Des installations solaires décentralisées élargissent la signification du secteur de l'approvisionnement énergétique pour l'économie publique. Des centaines de milliers de personnes contribuent à l'approvisionnement du pays, les agriculteurs ajoutent un nouveau produit à leur palette, les professionnels·es du bâtiment et des techniques de construction deviennent des spécialistes de l'assainissement énergétique et de la transformation des toitures et façades en installations de production d'électricité.

Des quartiers beaucoup plus verts, moins de bruits de moteurs et presque plus de gaz d'échappement font aussi partie des opportunités. La transition réduira les énormes coûts externes de notre système énergétique actuel et le solde sera positif dans une trentaine d'années.

Conditions-cadres et hypothèses : méthode de calcul

Les scénarios sont des développements possibles, ils sont nécessaires pour donner une vue d'ensemble aux décideurs·ses et montrer les variantes d'aménagement des systèmes énergétiques de l'avenir. Le présent document se base sur deux scénarios pour montrer l'ampleur des modifications possibles du système énergétique suisse:

- **Notre scénario de référence (REF) correspond environ au scénario Base ZÉRO des Perspectives énergétiques 2050+.**

- **Les scénarios Energy [R]evolution (scénarios ER), Energy [R]evolution (ER) et ADVANCED Energy [R]evolution (ADV) montrent les possibilités de décarbonisation accélérée et d'une sortie plus rapide de l'utilisation de l'énergie nucléaire.**

Nous avons renoncé à calculer un scénario de poursuite de la politique actuelle (PPA), car l'Accord de Paris et la stratégie climatique du Conseil fédéral ne le permettent plus. Les Perspectives énergétiques 2050+ de la Confédération comportent toutefois des indications sur un scénario PPA qui en cas d'intérêt peuvent être utilisées pour la comparaison.

Les deux scénarios ER ont été développés par des spécialistes de l'Institute for Sustainable Future (ISF) de l'Université de Sydney (University of Technology Sydney, UTS). Le groupe de recherche dispose de connaissances importantes sur la modélisation de systèmes énergétiques. Il a entre autres montré à l'aide du «One Earth Climate Model» comment il est possible de respecter la limite de 1.5°C au niveau global. Les indications détaillées sur la méthodologie et les calculs pour la Suisse sont publiés dans un rapport spécifique et rédigé en anglais.

La transformation du système énergétique suisse a été entièrement déterminée par les potentiels d'extension durables et par les possibilités structurelles. Pour cela il était important de développer un mix électrique alimenté à 100 % par des sources d'énergie renouvelables qui soit en mesure d'assurer la sécurité de l'approvisionnement en permanence et qui soit économiquement viable.

Le calcul des coûts d'investissement pour les deux scénarios comprend le remplacement des installations à la fin de leur durée de vie. Le prix de revient est ensuite déterminé sur la base des coûts réels. Le développement de la demande est déterminé en fonction du développement économique (PIB) et de celui de la population (qui est corrélé avec des secteurs subordonnés comme les prestations en transports et les surfaces chauffées), ainsi qu'en fonction d'hypothèse de développement de l'intensité énergétique d'applications et de secteurs économiques entiers (industrie, transports, ménages, services).

Pour pouvoir comparer nos scénarios avec les Perspectives énergétiques 2050+ de la Confédération, nous avons fait comme elle et nous avons basé nos calculs sur une croissance de l'économie et de la population. Pratiquement tous les scénarios de protection du climat dans le système énergétique global se basent sur une forme de croissance économique. Cela rend la transition énergétique toujours plus exigeante, difficile et chère. Il n'est pourtant pas contesté qu'une société dotée d'un système économique qui a du sens et de la sobriété, et vise la satisfaction des principaux besoins fondamentaux de l'humanité, contribuerait énormément à résoudre la crise climatique. Nous décrivons de ce fait dans un chapitre particulier le rôle que les approches de transformation peuvent jouer dans la transition énergétique.

Les conditions-cadres respectivement les données suivantes ont été utilisées pour calculer les deux scénarios ER :

- Les tendances du **développement de la population et du PIB** jusqu'en 2050 ont été reprises des Perspectives énergétiques 2050+ de la Confédération qui ont été publiées en 2020 et en 2021. On y admet qu'en 2050, la population

suisse comptera 10.3 millions de personnes et que le PIB passera de 633 milliards en 2018 à 880 milliards en 2050. Les deux hypothèses ont une grande influence sur le développement des besoins de la Suisse en énergie. **La croissance continue rend la transformation du système énergétique difficile.** Les données mentionnées ont toutefois été utilisées à des fins de comparaison avec les scénarios de la Confédération.

- Les derniers développements et pronostics des très rapides développements sur les marchés de l'électricité et de la chaleur ont été pris en compte pour le **développement des coûts des énergies renouvelables.**
- Pour les calculs incluant un **prix du CO₂**, on a supposé que celui-ci passerait de 96 CHF par tonne actuellement à 350 CHF par tonne en 2050.
- Le **développement des besoins en énergie** a été déterminé individuellement pour chaque secteur et comparé aux analyses de l'Agence Suisse pour l'efficacité énergétique S.A.F. E. et aux Perspectives énergétiques 2050+ de la Confédération. Une rapide extension de l'exploitation du chauffage à distance et une utilisation accrue de l'électricité pour la production de chaleur font partie des principales hypothèses de travail sur les besoins en énergie dans le domaine de la production de chaleur. Comme l'augmentation des véhicules électriques nécessite aussi du courant, la consommation d'électricité ne pourra être stabilisée qu'en 2050 malgré une augmentation massive de l'efficacité.
- Les conditions-cadres d'exploitation soutenable à long terme suivantes ont été fixées pour **l'extension des énergies renouvelables** :
 - Le **potentiel** des scénarios ER en matière de **biomasse** ne se limite pas au potentiel durable déterminé par le Centre de Compétence Suisse de la Recherche en Bioénergie SCCER BIOSWEET. Le contenu d'énergie primaire de ce potentiel est chiffré à environ 97 PJ/a (50 PJ/a venant du bois-énergie, 27 PJ/a de l'engrais de ferme et 20 PJ/a de la biomasse restante). Le potentiel est donc légèrement inférieur à celui de l'Energy Revolution 2013 (126 PJ/a).
 - Le **potentiel éolien** a été limité au rendement annuel d'environ 400 éoliennes, comme c'est le cas dans le scénario ER publiée en 2013. Cela correspond au potentiel durable soutenu par les organisations de l'Alliance Envi-

ronnement en Suisse. Le rendement électrique des éoliennes a toutefois été adapté aux dernières technologies disponibles et à un maximum de 5.8 TWh/a en 2050.

- Le potentiel d'utilisation de la géothermie profonde pour la production d'électricité a été estimé à 1 TWh/a du fait d'une situation de départ incertaine. La contribution de la géothermie se situe ainsi dans une mesure qui peut être remplacée par d'autres techniques si celle-ci ne devait pas atteindre de maturité.
- Le scénario ER a couplé le potentiel **d'exploitation de la géothermie** par des pompes à chaleur à la disponibilité de courant renouvelable.
- Le **potentiel global de l'énergie hydraulique** a été admis comme restant constant parce qu'en Suisse les cours d'eau sont déjà fortement exploités, ceci en accord avec les autres organisations écologistes de l'Alliance Environnement. Cela signifie que les gains de productivité obtenus par le renouvellement des installations sont neutralisés par la réduction du rendement due à la protection des cours d'eau. L'énergie hydraulique constituera ainsi à l'avenir également la part principale de la production d'électricité.
- Le **potentiel du photovoltaïque (PV)** en Suisse est énorme. L'Office fédéral de l'énergie estime le potentiel théorique exploitable des toitures à environ 50 TWh par année. A cela pourraient s'ajouter environ 17 TWh/a si les façades sont exploitées. L'association professionnelle Swissolar estime en outre que le potentiel durable sur d'autres infrastructures comme les barrages et les murs antibruit etc. à environ 15 TWh/a.

Dans les scénarios ER, l'extension des installations photovoltaïques joue un rôle central et atteindra presque 48 TWh/a, ce qui reste loin en dessous de l'exploitation du potentiel global.

Les installations photovoltaïques à forte pente dans l'espace alpin produisent presque autant en hiver qu'en été (alors que les installations du Plateau fournissent deux fois plus en été qu'en hiver). Nous estimons qu'environ un cinquième des installations solaires peuvent être installées sur des toits et des infrastructures (par ex. parkings, barrages, installations de sports d'hiver, paravallées) dans les Alpes.

- Conformément au master plan consacré par Swissolar au **solaire thermique**, le potentiel du solaire thermique a été limité à 40 PJ/a qui peuvent être utilisés durablement d'ici 2050. Cela correspond à environ 2 m² de collecteurs par habitant·e. Le scénario ER n'exploite pas complètement ce potentiel en lui allouant 35 PJ/a en 2050.
- Le scénario continue d'autoriser la possibilité **d'importer de l'électricité**, mais les importations ne devraient pas faire éclater l'actuel bilan des importations et exportations. La quantité maximale pouvant être importée est de ce fait limitée à 10 TWh/a. Du fait de l'avancement de la transformation du système énergétique dans les pays voisins et des investissements de producteurs suisses d'électricité dans les énergies renouvelables à l'étranger (surtout dans l'éolien et le photovoltaïque), on a supposé que les importations de courant portent de plus en plus sur du courant renouvelable.

L'introduction de **l'hydrogène** et ses produits dérivés comme le méthane et le méthanol dans tous les scénarios constitue un renouvellement du système énergétique. L'hydrogène est produit par électrolyse avec du courant renouvelable. Il est utilisé à partir de 2030 principalement dans le secteur des transports et dans l'industrie. Surtout parce que des excédents

d'électricité sont produits en été et parce que du point de vue actuel on ne peut pas prévoir une électrification complète de tous les véhicules et de tous les processus industriels. Actuellement, la production d'hydrogène et sa transformation en méthane ou en méthanol implique des pertes d'énergie, du fait du potentiel limité de la biomasse et des applications électriques. Il est toutefois nécessaire de disposer d'un vecteur énergétique renouvelable supplémentaire.

L'annexe énumère les détails de toutes les hypothèses de base. Les bases et les sources à l'origine des hypothèses sont détaillées dans le rapport complet en anglais. En font partie :

- Les hypothèses sur le développement démographique et la croissance économique d'ici 2050.
- Les hypothèses sur l'évolution des prix du pétrole et du gaz.
- Les hypothèses sur les prix des émissions de CO₂, y compris les techniques de captage et de stockage final des émissions de CO₂.
- Les hypothèses sur le développement des coûts des technologies renouvelables dans le domaine de l'électricité, de la chaleur et du froid (eau, vent, soleil, géothermie profonde et peu profonde, pompes à chaleur et biomasse).



Résultats : C'est ainsi que les sources d'énergie fossiles deviennent obsolètes en Suisse

Différents scénarios énergétiques montrent qu'il est déjà possible de renoncer aux sources d'énergie fossile en Suisse. Des durées d'exploitation excessivement longues sont toutefois parfois proposées pour les centrales nucléaires encore en fonction et il n'y a souvent pas d'analyse fondée pour savoir si les quantités émissions de GES cumulées jusqu'à la complète décarbonisation de la Suisse sont compatibles avec la limite de 1.5°C.

Le présent scénario énergétique montre comment les deux sont faisables : protéger le climat et se préserver du danger nucléaire.

Évolution des émissions de CO₂ : 1.5°C est encore possible !

Le budget carbone basé sur les émissions globales

Il est théoriquement facile de déterminer quelle quantité de CO₂ peut encore être émise pour avoir une certaine probabilité de ne pas dépasser la limite des 1.5°C, car il y a une relation presque linéaire entre la quantité cumulée d'émissions de CO₂ et l'augmentation de la température. Dans la première partie du sixième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat GIEC, le budget global de CO₂ qui peut encore être émis à partir de 2020 sans dépasser un réchauffement global de 1.5°C est chiffré de 300 à 900 gigatonnes (Gt) de CO₂. Le grand écart entre ces chiffres vient de la probabilité avec laquelle la limite de maximum 1.5°C doit être respectée. Pour un budget de CO₂ de 300 Gt, les chercheurs-ses chiffrant la probabilité que la limite de 1.5°C soit respectée à 83%, pour 400 Gt à 67%, pour 500 Gt à 50% et pour 900 Gt à seulement 17%.³ Plus nous émettons de GES, plus la probabilité que nous respections la limite de 1.5°C se réduit. Il est aussi intéressant de constater qu'il n'y a plus de probabilité à 100%.

Pour se représenter les quantités, il faut savoir qu'actuellement, ce sont un peu plus de 40 Gt de CO₂ qui sont émises chaque année. **Avec les quantités émises actuellement, le plus petit**

des budgets CO₂ (83% de probabilité) serait épuisé en 2027.

Le budget carbone ne vaut pas pour les autres GES comme le méthane et le protoxyde d'azote (gaz hilarant). Des hypothèses ont été faites sur le développement des autres GES pour pouvoir calculer le budget carbone de façon à respecter la limite de 1.5°C. Le budget carbone diminue si les émissions des autres GES baissent plus lentement que prévu, et inversement dans une ampleur de plus ou moins 220 GT de CO₂.

Sur la base de ces connaissances, la question centrale de la politique climatique doit être de savoir quelle est la probabilité de ne pas dépasser un réchauffement global maximal de 1.5°C. Concrètement, quelle est la probabilité de préserver la planète de dégâts climatiques irréversibles? Le monde politique esquivé

³ IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. Table SPM.2, S.38,

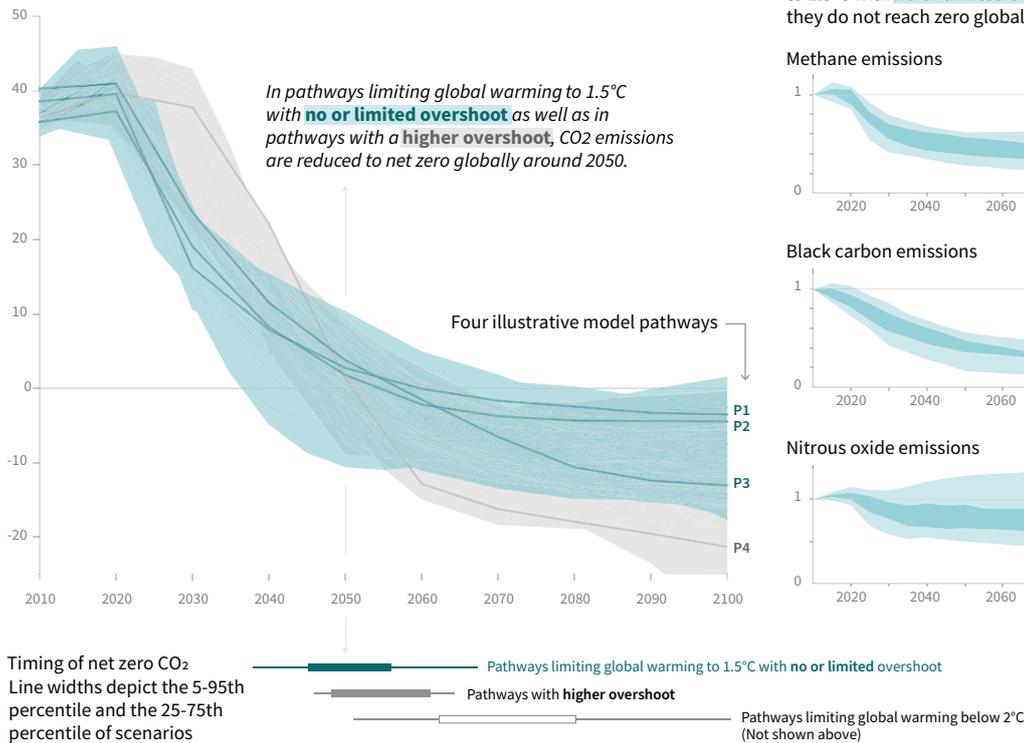
toutefois cette question et beaucoup de gens n'ont jamais entendu parler du budget carbone. Appliquée à d'autres domaines de l'existence, cette question est purement rhétorique, monteriez-vous dans un train qui n'aurait que 67% de probabilité d'arriver à destination ? Ou inversement, prendriez-vous un train qui a 33% de probabilité de provoquer une catastrophe ?

Le tonneau est déjà presque en train de déborder et il n'est pas étonnant que tous les calculs qui montrent comment la limite de 1.5°C ne peut pas être dépassée au niveau planétaire se basent sur une forte réduction des émissions de CO₂. L'illustration ci-dessous du rapport spécial du GIEC sur le respect de 1.5°C montre les objectifs de réduction pour respecter la limite de 1.5°C.⁴

Illustration 1 : Développements possibles des émissions de CO₂ d'origine humaine pour pouvoir respecter la limite de 1.5°C. (Source : IPCC, 2018: Global warming of 1.5°C, Full-Report, Figure 2.5, S. 113).

Global total net CO₂ emissions

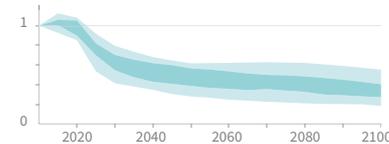
Billion tonnes of CO₂/yr



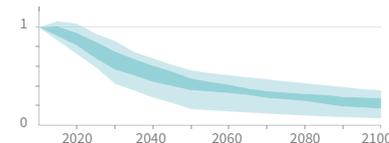
Non-CO₂ emissions relative to 201

Emissions of non-CO₂ forcers are also reduced or limited in pathways limiting global warming to 1.5°C with **no or limited overshoot**, but they do not reach zero globally.

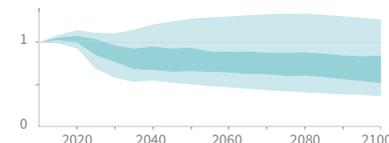
Methane emissions



Black carbon emissions



Nitrous oxide emissions



Les courbes ne montrent pas seulement que les émissions de CO₂ doivent être fortement réduites immédiatement, mais aussi que les réductions qui n'ont pas été faites devront être ultérieurement retirées de l'atmosphère (le dépassement doit être équilibré par des "émissions négatives nettes", soit le retrait et le stockage de CO₂ contenu dans l'atmosphère).

L'échéance pour atteindre zéro émission nette est globalement en 2050. Si d'ici l'atteinte de la limite de zéro net il s'agit de ne pas accumuler de dettes d'émission, alors la limite de zéro net se déplace d'environ 10 ans à 2040. A l'inverse, le retrait de CO₂ de l'atmosphère peut théoriquement nous donner quelques années de plus. La technique qui permet de retirer ou extraire du CO₂ de l'atmosphère et de le stocker (Carbon Capture and Storage CCS) reste très chère et peu éprouvée.

C'est pour cela que l'on considère la réduction de moitié des émissions de CO₂ d'origine humaine d'ici 2030 et l'atteinte de zéro net CO₂ en 2050 comme exigence minimale pour respecter la limite de 1.5°C.

⁴ IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

Le budget carbone de la Suisse

Quelle part du budget carbone global la Suisse peut-elle prendre à son compte ? C'est une autre question qui doit recevoir une réponse politique. On en parle étonnamment peu.

Si le budget CO₂ global depuis le début de l'industrialisation avait été réparti de façon équilibrée sur toute la population planétaire, la Suisse aurait déjà épuisé la part qui lui aurait été assignée. Nous vivons donc déjà à crédit.

En ne tenant pas compte des émissions du passé, en répartissant régulièrement le budget restant à partir de 2020 et en tenant compte de la part de la Suisse à la population planétaire (env. 0.11%), la Suisse pourrait encore émettre entre environ 330 et 990 millions de tonnes de CO₂. Pour une probabilité de 83% de ne pas dépasser la limite de 1.5°C, le budget carbone restant pour la Suisse serait épuisé en 2029, et avec une probabilité de 67%, il le serait en 2032 si les émissions de CO₂ liées à l'énergie restent inchangées au niveau de 2019 (34,6 millions de tonnes de CO₂). Concrètement, cela signifie que si les considérations d'équité concernant la répartition des émissions encore possibles entre les pays sont complètement ignorées, il reste théoriquement un maximum de 440 millions de tonnes de CO₂ pour la Suisse (67% de probabilité de ne pas dépasser la limite de 1,5°C).

Si elle prend la limite de 1.5°C au sérieux, la Suisse ne peut en aucun cas émettre plus que ça. Car si l'on veut être exact, le budget carbone restant est en fait bien plus restreint. Pour trois raisons :

- Dans le passé et comparée à d'autres pays, la Suisse a provoqué énormément d'émissions et a donc aussi contribué notablement à la crise climatique.
- L'énorme consommation des Suisses·esses dans leur pays provoque une multiplication des émissions dans d'autres pays. La quantité d'émissions de CO₂ par personne a même augmenté ces dernières années.⁵ En comparaison internationale, la Suisse fait partie des 15 pays ayant les émissions de CO₂ les plus élevées par personne.⁶
- La Suisse est un des pays les plus riches de la planète et elle a donc nettement plus de possibilités de réduire rapidement ses émissions que d'autres pays.

Ce sont les raisons pour lesquelles la Suisse doit utiliser clairement moins que le budget maximal de 440 mio de tonnes de CO₂ pour contribuer de façon correcte à la résolution de la crise climatique. Les scénarios énergétiques de la Confédération montrent toutefois qu'il n'y en a pas qui assure le respect du budget CO₂ maximal de 440 mio de tonnes d'ici 2050.

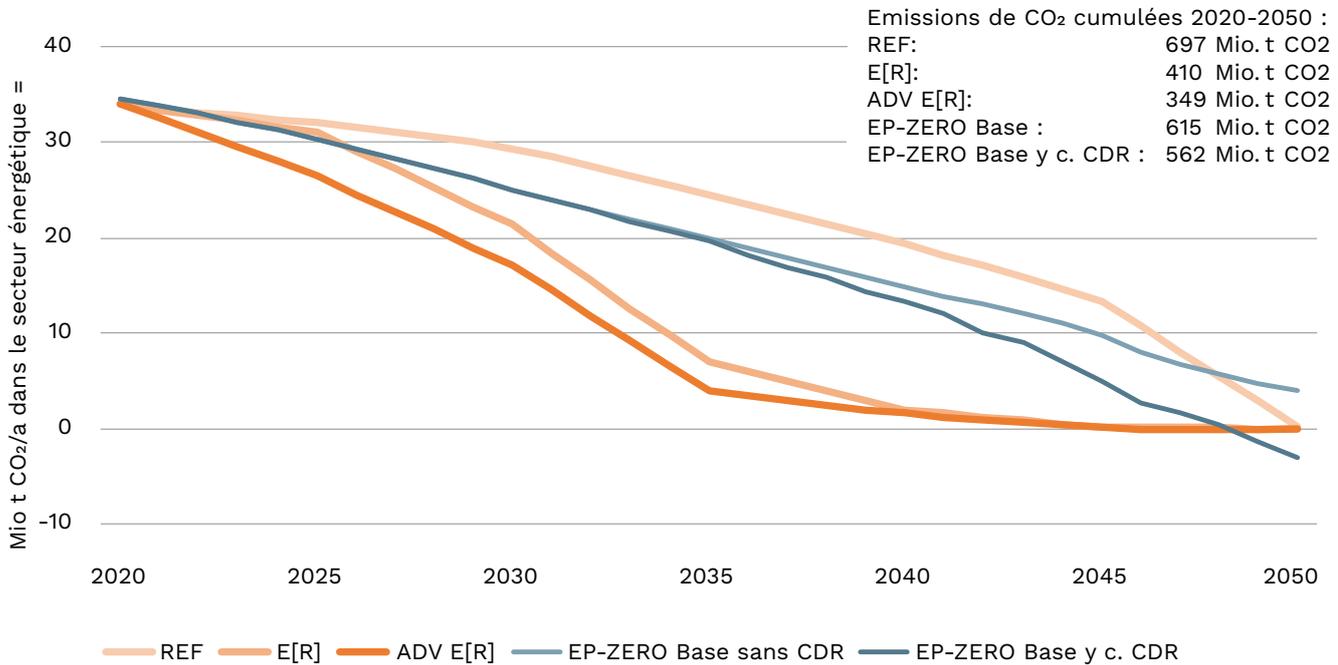
L'illustration ci-dessous des émissions de CO₂ de la Suisse dans les scénarios pris en compte pour la Suisse dans l'Energy [R]evolution (REF, ER et ADV) et dans le scénario fédéral base ZÉRO (PE base ZÉRO) montre que les deux scénarios Energy [R]evolution restent à l'intérieur des plus grands budgets carbone possible. **Le scénario ER est inférieur de 30 mio de tonnes au budget d'émissions maximal encore disponibles de 440 mio de tonnes de CO₂, et le scénario ADV est inférieur d'environ 90 mio de tonnes. Les deux scénarios approchent beaucoup du zéro net en 2035.**

Le scénario fédéral PE base ZÉRO et sa suppression d'émissions (CDR = Carbon Dioxide Removal) prévue dans la Stratégie climatique conduisent à partir de 2040 à une nette surexploitation de la part maximale de la Suisse au budget international de CO₂ à partir de 2020. Pour respecter le budget d'ici 2100, il faudrait donc qu'après 2050 de grandes quantités de carbone soient extraites de l'atmosphère. Ceci en ne tenant pas du tout compte de la responsabilité historique et de la marge de manœuvre de la Suisse en tant qu'un des pays les plus riches de la planète.

⁵ Le Quéré, C., Korsbakken, J.I., Wilson, C. et al. Drivers of declining CO₂ emissions in 18 developed economies. Nat. Clim. Chang. 9, 213–217 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0419-7>

⁶ carbonatlas.org

Illustration 2 : Evolution des émissions de CO₂ et des émissions cumulées d'ici 2050 pour les scénarios Energy [R]evolution REF, ER et ADV, ainsi que le scénario EP-ZERO Base des Perspectives énergétiques 2050+ avec et sans Carbon Dioxide Removal (CDR). Source : Calculs Greenpeace et Perspectives énergétiques 2050+ (variante EP-ZERO Base, variante stratégique « bilan annuel équilibré 2050 », durée de fonctionnement centrales nucléaires 50 ans).



L'utilisation tardive de technologies CDR à partir de 2040 d'après le scénario de la Confédération reflète l'espoir que la société place dans les solutions technologiques à aussi bas prix que possible. Ce faisant, la Confédération méconnaît le fait que la Suisse choisit un niveau d'ambition qui conduit à un réchauffement extrêmement

dangereux de l'atmosphère. Dans ce cas, les coûts des dégâts dépasseraient plusieurs fois les coûts supplémentaires que nous devons assumer pour réduire les émissions aujourd'hui. Et il ne faut pas oublier que des coûts de dégâts aussi abstraits sont liés à des souffrances inimaginables pour les enfants vivant aujourd'hui.

La contribution équitable de la Suisse à la protection du climat planétaire

Si tous les pays adoptaient le niveau actuel de protection du climat de la Suisse, l'atmosphère de notre planète se réchaufferait de 3°C d'ici 2100. C'est ce que montre l'analyse du think tank scientifique Climate Action Tracker.⁷ Les scientifiques ont simultanément calculé ce que la Suisse doit faire pour contribuer de façon équitable à la protection du climat et donc au respect de la limite de 1.5°C. Dans ses analyses, le Climate Action Tracker tient compte de la richesse et de la capacité d'un pays, ainsi que de l'ampleur de ses émissions historiques.

Concrètement et d'ici 2030, la Suisse doit réduire ses émissions de GES à l'intérieur de ses frontières de 60% par rapport au niveau de 1990. Dans les deux scénarios ER de Greenpeace Suisse, les émissions de GES d'ici 2030

atteignent une réduction d'environ 60% par rapport à 1990. La Suisse doit en outre prendre des mesures supplémentaires de protection du climat à l'étranger pour veiller à ce que d'ici 2030 d'autres pays évitent chaque année au moins autant d'émissions que celles que la Suisse émet actuellement, soit environ 50 millions de tonnes d'équivalent CO₂ par année. **Il faut donc que d'ici 2030, les émissions de GES de la Suisse soient négatives par rapport à 1990 (réduction d'au moins 167%) pour qu'il soit encore possible de respecter la limite de 1.5°C.**

⁷ Analyse sur <https://climateactiontracker.org/countries/switzerland/> (état 15.9.2021). Voir aussi Climate Analytics (2021). A 1.5°C compatible Switzerland

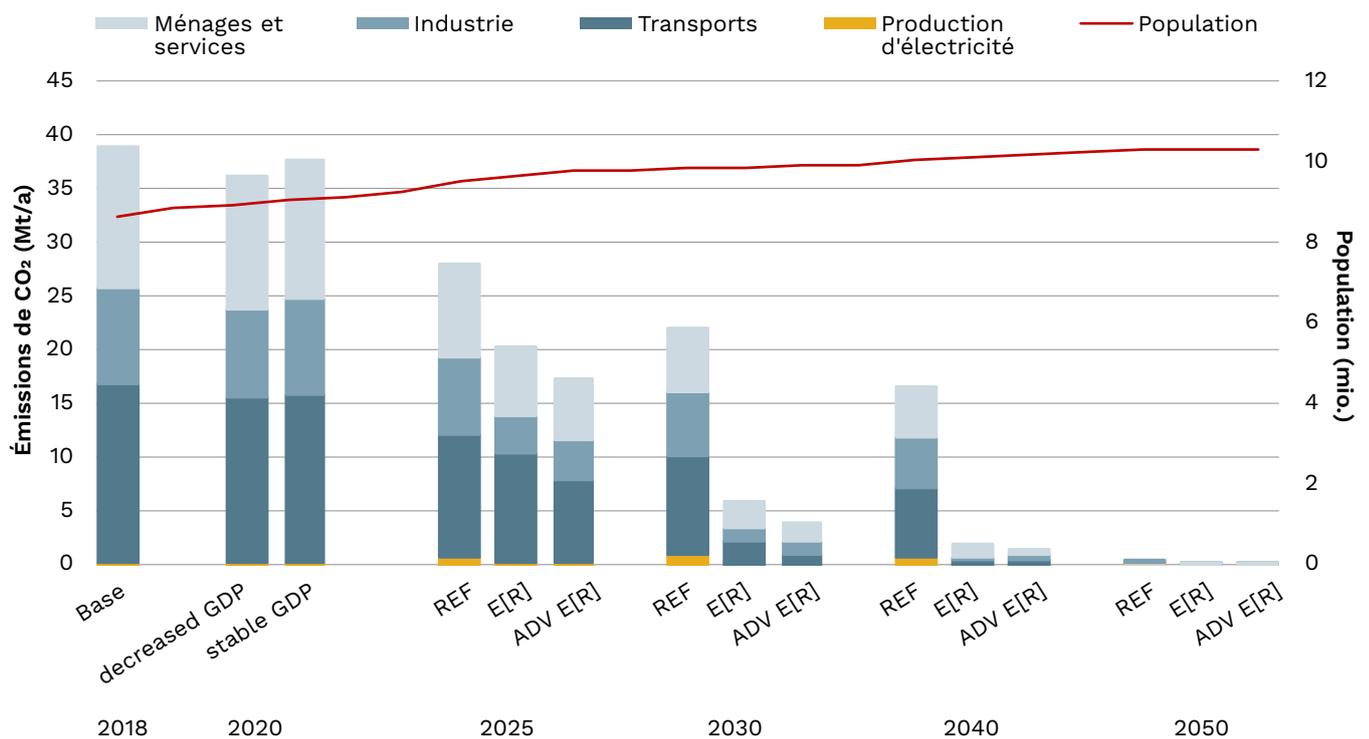
Les scénarios ER et ADV permettent aussi de retirer des émissions de l'atmosphère. Ceci en particulier pour réduire le fait que la riche Suisse surexploite le budget global d'émissions.

Pour Greenpeace, la protection durable et la reconstruction d'écosystèmes importants pour le climat tels que les forêts primaires, les marais, les mangroves et également les zones marines sont ici au premier plan. La régénération à grande échelle d'écosystèmes dégradés offre un énorme potentiel de captation du carbone et de préservation de la biodiversité. Les émissions négatives par les écosystèmes ne fonctionnent toutefois que si les écosystèmes reconstruits existent à long terme, ce qui implique une participation équitable des personnes qui y vivent. En outre, il faut s'assurer que les utilisations nocives remplacées par la régénération ne se déplacent pas vers d'autres régions (prévention d'un effet de fuite). En plus des puits naturels, il

faudra aussi des procédés techniques pour éliminer le CO₂ des gaz d'échappement ou de l'air, puis le stocker en toute sécurité dans le sous-sol. Il faut s'y préparer dès maintenant, même si ces procédés sont encore peu éprouvés et bien plus coûteux que la protection et la reconstruction des écosystèmes.

La forte réduction des émissions que montrent les scénarios ER permettent de rester dans le cadre d'un budget carbone cohérent avec l'objectif de 1.5°C, mais nécessite la rapide transformation de tous les secteurs économiques. L'illustration suivante montre l'évolution des émissions dans leur ensemble et par secteur. Le secteur des transports est le plus important pour les émissions de CO₂ liées à l'énergie, il est suivi par les ménages et les services qui ont des émissions élevées en particulier à cause de la consommation de mazout et de gaz.

Illustration 3 : Evolution des émissions selon les secteurs et les scénarios pris en compte.



Les principaux résultats et les principales mesures de transformation par secteur sont présentés ci-dessous.

Protection du climat dans le secteur des transports

Pour réduire les émissions, il est décisif de transférer la mobilité vers des modes de déplacement efficaces comme le train, le tram, le bus, le vélo et la marche. Dans l'ensemble, il y a moins de ventes de voitures dans les scénarios ER et les voitures restantes deviennent nettement plus efficaces qu'actuellement du fait de leur propulsion électrique et de leur taille réduite.

Dans tous les scénarios Greenpeace, la consommation d'énergie des transports diminue, alors que la population et le PIB augmentent. Dans le scénario REF d'environ 46% à 130 PJ/a en 2050 et dans le scénario ER, des mesures d'efficacité supplémentaires et des transferts modaux permettent d'économiser 19% de plus (10 PJ/a) en 2050. Dans le scénario ADV, les transferts modaux accrus des transports individuels motorisés (TIM) vers les transports publics, le covoi-

turage et une augmentation des déplacements à vélo et à pied permettent d'autres économies d'énergie en 2050.

L'électrification joue un rôle décisif pour réussir ces économies. Les deux scénarios ER prévoient qu'en 2050, l'électricité couvre respectivement 84% et 87% des besoins du secteur. L'hydrogène et d'autres carburants synthétiques produits avec de l'électricité renouvelable constituent des options qui complètent les applications difficiles à électrifier. En 2050, le scénario ADV prévoit l'utilisation de jusqu'à 5 PJ/a d'hydrogène.

Les illustrations ci-dessous montrent l'évolution de la demande en énergie finale des différents modes de transport (ill. 4) et des différentes sources d'énergie utilisées dans le secteur des transports (ill. 5).

Illustration 4 : Évolution de la consommation d'énergie finale par les différents modes de transport. La barre d'efficacité montre la différence par rapport au scénario de référence.

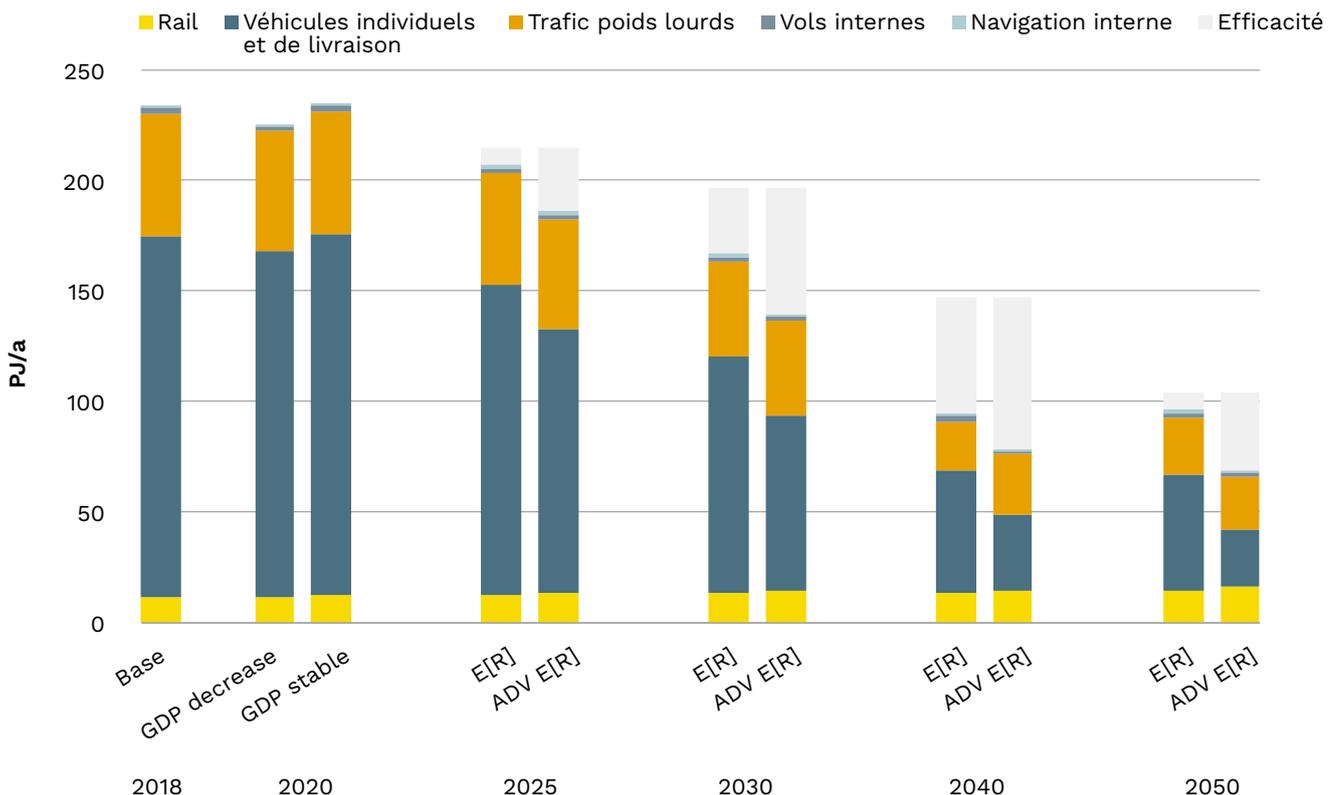
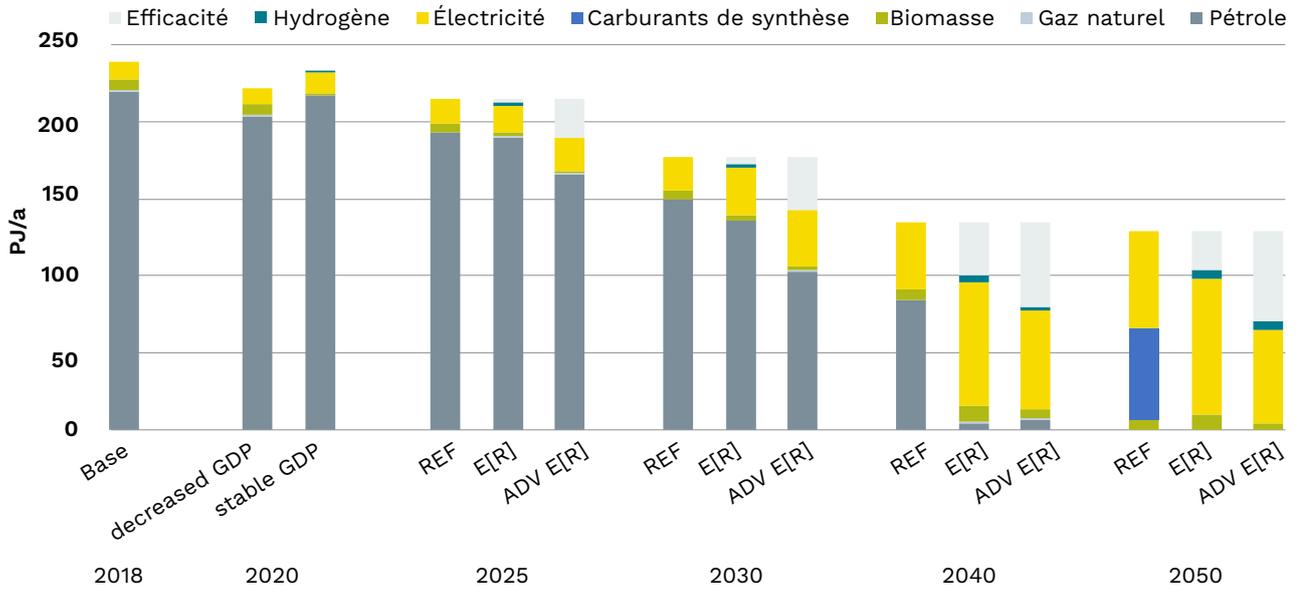


Illustration 5 : Evolution des sources d'énergie utilisées dans les transports.
Efficacité = différence par rapport au scénario de référence.



Mesures pour la transformation du secteur des transports

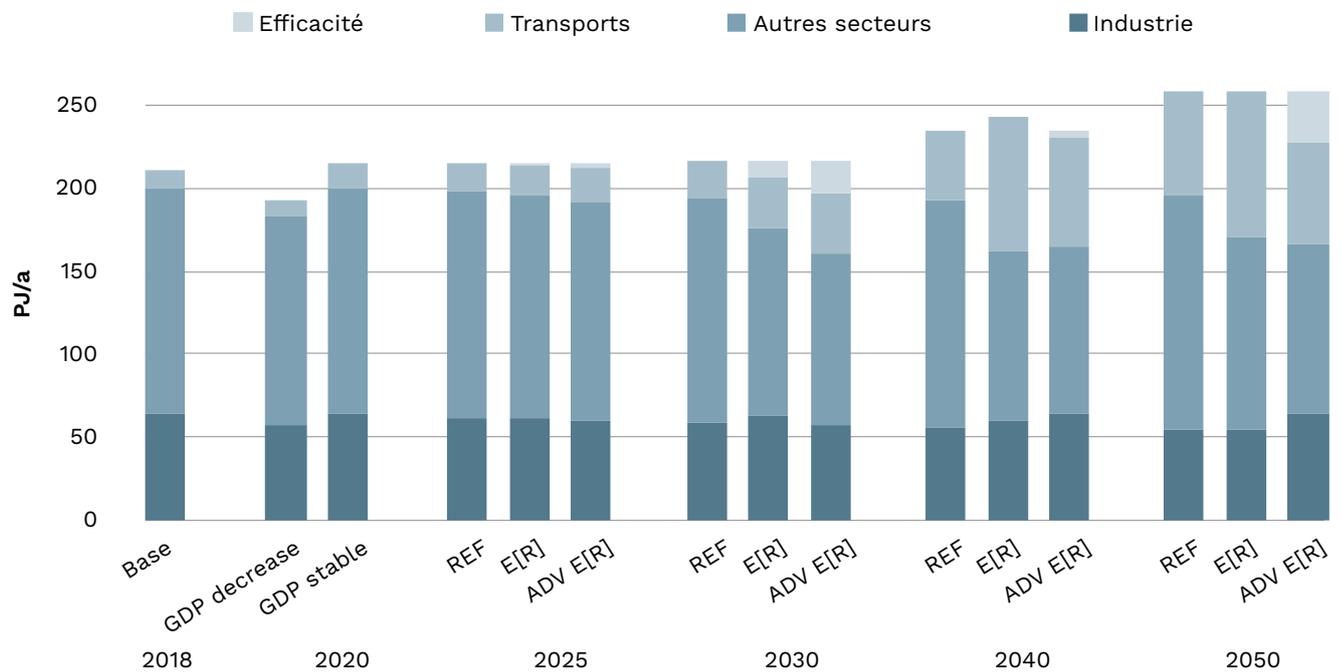
- Valeurs limites renforcées avec interdiction de mettre en circulation des voitures à propulsion thermique neuves à partir de 2025.
- Introduction de la vérité des coûts pour l'utilisation d'énergies fossiles et pour l'occupation du sol des moyens de transport (internalisation des coûts de la pollution de l'air, du bruit, de l'utilisation du sol et des dégâts au climat). Une redevance sur l'utilisation de la route incite à l'acquisition de véhicules petits et légers.
- Pas de nouvelle extension des capacités routières pour le transport individuel motorisé.
- Rendre possible et étendre les zones sans voitures et sans stationnement automobile dans toutes les grandes villes, dans les quartiers et aussi dans les lotissements campagnards combinés avec une logique généralisée du 30 km/h et une politique des courtes distances. Cette dernière permet que tout ce qui est nécessaire est atteignable par de courts trajets à pied ou à vélo (voir à ce sujet la politique de « la ville du quart d'heure » à Paris). Les prescriptions avec des obligations de réaliser des places de stationnement sont à supprimer en faveur des nouveaux modèles. Des journées sans voiture valables dans tout l'environnement construit permettent de rendre perceptibles et vivables les possibilités qu'offre une nouvelle utilisation de l'espace.
- Extension d'infrastructures plus sûres, traversantes et à plus longue distance pour les vélos et les piétons. Les modes de transport les plus favorables au climat doivent clairement avoir la priorité dans l'aménagement de l'espace.
- Renforcement des mesures destinées à réduire les trajets pendulaires et les bouchons qu'ils provoquent. Introduction d'un droit au travail à domicile et de modèles de présence plus flexibles dans les universités et les hautes écoles, suppression de la déduction fiscale pour se rendre au travail et mesures d'aménagement du territoire pour équilibrer la répartition inéquitable des places de travail. L'obligation de travail à domicile introduite avec la pandémie Covid-19 a montré l'ampleur de la réduction des déplacements grâce à une nouvelle approche entre habitat et travail.
- Le renforcement de mesures pour réduire le trafic lié aux loisirs et aux achats. Une meilleure adaptation des transports publics aux loisirs pour également couvrir les besoins en soirée et fin de semaine. Optimiser le service porte-à-porte avec des bus à la demande et/ou des options de location pour la distribution fine, ainsi qu'un transport facilité des bagages y compris les vélos, les équipements de sport et les poussettes. Les infrastructures générant des trajets doivent être bien raccordées aux transports publics et proposer la livraison des achats à domicile.
- Extension des transports publics y compris l'amélioration de la gestion des trajets par une digitalisation forcée. L'optimisation de la multimodalité en fait aussi partie au moyen d'un réseau aux nombreux nœuds et possibilités de transbordements facilitées avec des offres de partage (car sharing) pour passer plus aisément sur les transports publics et raccourcir ainsi les trajets effectués par les transports individuels motorisés.
- Augmentation de l'utilisation des voitures restantes par l'extension des offres de partage (car sharing) et leurs avantages fiscaux accompagnés de solutions de pooling.
- Extension des infrastructures pour charger les véhicules électriques, en particulier pour les locataires et les copropriétés.

Protection du climat et sortie du nucléaire dans la production d'électricité

L'électrification croissante des applications dans le secteur des transports et de la production de chaleur provoque une augmentation des besoins en électricité, même lorsque de très am-

bitieuses mesures d'efficacité sont appliquées. L'électricité provenant de sources renouvelables devient l'énergie clé pour protéger le climat.

Illustration 6 : Évolution de la demande en électricité en fonction des secteurs, sans les pertes, avec autoconsommation pour le chargement de solutions de stockage et la production d'hydrogène. Efficacité = différence par rapport au scénario de référence.

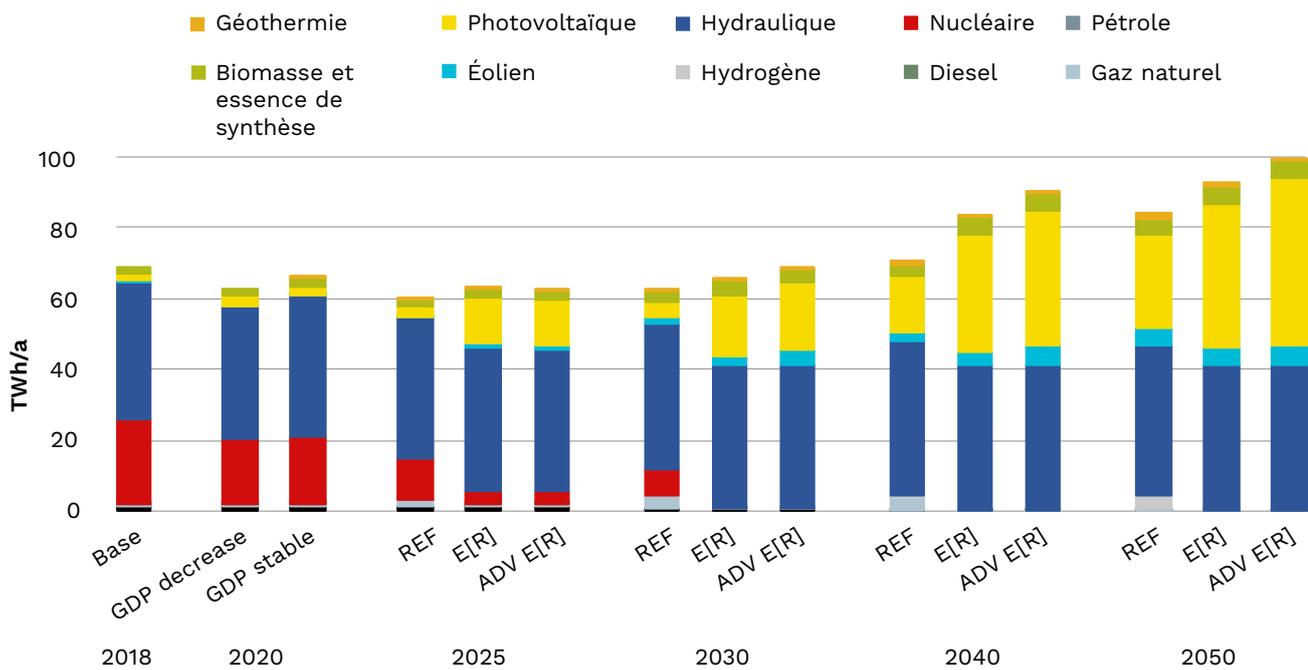


L'évolution de la production d'électricité est marquée par un marché en croissance dynamique pour les prestations d'efficacité et les énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire. Les scénarios énergétiques de Greenpeace se basent sur une exploitation des centrales nucléaires pendant 45 ans, les modèles estiment donc que la dernière centrale nucléaire de Suisse cessera de fournir du courant en 2029.⁸

D'ici 2025 et dans les deux scénarios, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité augmentera nettement et atteindra 100% en 2030 déjà ! Les capacités installées des nouvelles énergies renouvelables seront d'un peu plus de 31 GW en 2030 et de plus de 50 GW en 2050. L'hydraulique et le photovoltaïque deviennent les principales sources d'électricité renouvelable en Suisse. Les excédents produits en été par l'extension du solaire contribuent de façon décisive à la réussite de la décarbonisation.

⁸ Hypothèse : Beznau 1+2 seront arrêtés dès 2022, Gösgen sera arrêtée fin 2024, Leibstadt fin 2029.

Illustration 7 : Evolution de la production d'électricité pour les différentes technologies.



Les deux scénarios ER conduisent à une proportion élevée de différentes sources de production d'électricité. Pour y faire face, il faut augmenter les réseaux intelligents, la gestion de la demande, les capacités de stockage et d'autres options afin d'augmenter la flexibilité du système électrique pour l'intégration réseau, l'équilibrage de charge et augmenter la sécurité de l'approvisionnement électrique.

Du fait d'un besoin supplémentaire en électricité, la production passe de presque 70 TWh/a actuellement à un peu plus de 95 TWh/a en 2050 d'après le scénario ADV. C'est en particulier dû à l'extension du photovoltaïque. **L'intégration stable des énormes quantités d'électricité solaire dans notre système électrique constitue donc la clé de la transition énergétique.**

Réseaux électriques

Les calculs détaillés faits par Swissgrid en 2015 pour le rapport sur le Réseau stratégique 2025 ont montré que de grandes quantités d'électricité solaire peuvent être intégrées sans adaptation dans le réseau de transport. L'intégration d'environ 15.5 TWh/a d'électricité solaire génère des irrégularités dans le réseau de transport à Grybau SZ, Lachmatt BL et Mühleberg BE. Ces irrégularités peuvent être absorbées avec du stockage supplémentaire de 440 MW, 260 MW et 505 MW et un apport énergétique de 231 GWh/a.⁹ Les quantités d'électricité solaire prévues dans les scénarios ER dépassent de plus du double

les quantités modélisées par Swissgrid. Pour en connaître les effets sur le réseau électrique, Greenpeace Suisse a mandaté une modélisation de la charge du réseau comprenant une représentation exacte de la production d'électricité sur la base de données météorologiques réelles.

L'analyse de la charge du réseau en Suisse montre qu'à capacités égales des actuelles centrales de pompage-turbinage, il faut des capacités de stockage supplémentaires dans toutes les régions pour ne pas surcharger les réseaux. Pour une extension complète du photovoltaïque en 2050, nous considérons qu'il faut des capacités de stockage supplémentaires de 13 GW (ER) à 19 GW (ADV) si le réseau garde la taille du Réseau stratégique 2025. Il est possible de réduire le besoin en capacité de stockage supplémentaire par une localisation appropriée d'installation d'électrolyse près de la production ainsi qu'une intégration des batteries de véhicules électriques de façon utile au réseau (pour que l'électricité puisse aller dans les deux sens). La capacité des batteries de la flotte de véhicules électriques dépasse de loin les besoins. Les batteries usagées des véhicules électriques pourront en outre être utilisées à l'avenir de manière stationnaire et à moindre coût.

⁹ Rapport sur le Réseau stratégique 2025 fait en 2015, p. 130. Ce rapport se trouve ici : <https://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/projects/strategic-grid/sg2025-technical-report-fr.pdf>

D'ici 2050, pour la mise en place des capacités photovoltaïques nécessaires selon le scénario ER, il faut qu'un tiers de toutes les installations photovoltaïques soient équipées de moyens de stockage, et la moitié selon le scénario ADV. Ces moyens de stockage doivent être en mesure d'absorber l'intégralité de la production d'une installation pendant 4 heures et de la restituer ensuite. Le besoin effectif de stockage supplémentaire sera probablement un peu moins important, car il est actuellement prévu d'agrandir les centrales de pompage-turbinage en Suisse, ce qui permettra d'augmenter la puissance de 3,6 GW actuellement à plus de 5 GW.

Sécurité de l'approvisionnement

La sécurité de l'approvisionnement de la Suisse vient de nouveau d'être discutée de façon intensive. Une situation de pénurie de courant aurait effectivement des conséquences énormes pour l'économie et pour la société. Pour montrer comment l'approvisionnement électrique est assuré dans le scénario ADV, Greenpeace Suisse a demandé à l'entreprise zurichoise Supercomputing Systems SCS d'effectuer une analyse précise de la restructuration proposée dans le scénario ADV au moyen de son modèle de simulation de l'approvisionnement électrique.

La production et la consommation d'électricité ont été calculées au quart d'heure prêt durant une année de 365 jours en 2025, 2030, 2040 et 2050 pour pouvoir identifier les situations critiques.

Le modèle SCS utilise des données correspondant à la réalité de la consommation électrique comme base pour la simulation de la consommation. Le développement de la consommation est rendu par une graduation simplifiée. Des données météorologiques fournies par Meteonorm sont utilisées pour déterminer la production effective de l'énergie solaire et éolienne. Des données synthétiques constituent une moyenne des phénomènes météorologiques sur plusieurs années. Pour pouvoir faire le point sur la sensibilité de différentes phases météorologiques, le modèle prévoit aussi un scénario du pire avec des phases de « mauvais temps » de longue durée.

Des moyennes de production sur plusieurs années sont utilisées pour les autres installations de production et pour les hypothèses sur leur extension. Le tableau suivant montre les hypothèses pour les années modélisées. Les priorités de l'utilisation des moyens de stockage sont fixées de façon à ce qu'en hiver, les grands barrages d'accumulation puissent être utilisés à pleine capacité. Lorsque la demande d'électricité est grande, mais que les installations de production ne peuvent pas couvrir cette demande, ce sont d'abord les batteries qui sont utilisées puis les centrales de pompage-turbinage. Ce n'est que lorsque leurs capacités sont insuffisantes ou épuisées que l'on recourt aux barrages d'accumulation (dam storage).

Tableau 1 : Valeurs d'intrants pour la modélisation de l'approvisionnement en 2025, 2030, 2040 et 2050 selon le scénario ADV.

		2020	2025	2030	2040	2050
Eolien	GW	0.09	0.63	1.89	2.33	2.41
Photovoltaïque	GW	2.50	11.83	17.78	36.26	44.25
Biomasse	GW	0.37	0.47	0.73	0.91	1.01
Centrales thermiques	GW	0.46	0.45	0.20	0.05	0.02
Géothermie		0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
Fossiles + déchets		0.46	0.45	0.19	0.04	0.00
Nucléaire	GW	3.34	1.22	0.00	0.00	0.00
Hydraulique TOTAL	TWh	36.74	37.00	37.00	37.00	37.00
Puissance au fil de l'eau	GW	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13
Production au fil de l'eau	TWh	17.89	18.00	18.00	18.00	18.00
Pompage-turbinage, puissance pomper/turbiner	GW	3.60	3.60	4.20	5.20	5.20
Production pompage-turbinage	TWh	1.58	1.60	1.60	1.60	1.60
Puissance lacs d'accumulation	GW	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10
Contenance max. lacs d'accumulation	TWh	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70
Production lacs d'accumulation	TWh	17.27	17.40	17.40	17.40	17.40
Puissance charger/décharger batteries	GW	0.02	3.20	6.50	13.00	19.50
Électricité stockée dans batteries	TWh	0.00	0.01	0.03	0.05	0.08
Production finale	TWh	59.00	59.00	54.50	63.80	63.20
Pertes de distribution	TWh	4.60	4.60	4.20	5.00	4.90
Consommation propre (p. ex. pompage)	TWh	6.80	7.80	8.40	9.60	11.10
Électricité pour production H ₂	TWh	0.00	0.00	1.40	4.00	5.20
Électricité pour carburants synthétiques	TWh	0.00	0.00	1.70	7.70	10.90
TOTAL consommation	TWh	70.40	71.40	70.20	90.10	95.30

Illustration 8 : Modélisation de l’approvisionnement électrique de la Suisse en 2025 pour le scénario ADV. (Source : modèle énergétique SCS, résolution précise par jour, calculs Greenpeace)

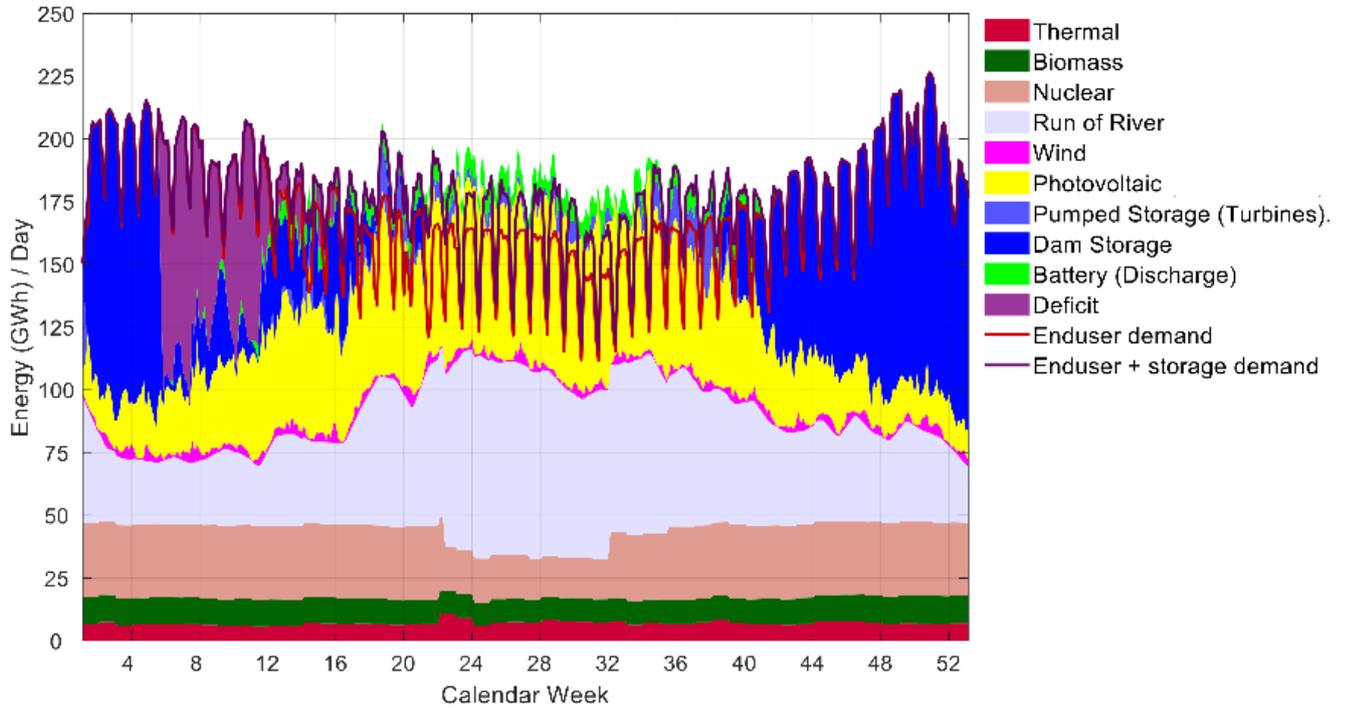


Illustration 9 : Modélisation de l’approvisionnement électrique autochtone de la Suisse en 2030 pour le scénario ADV. (Source : modèle énergétique SCS, résolution précise par jour, calculs Greenpeace)

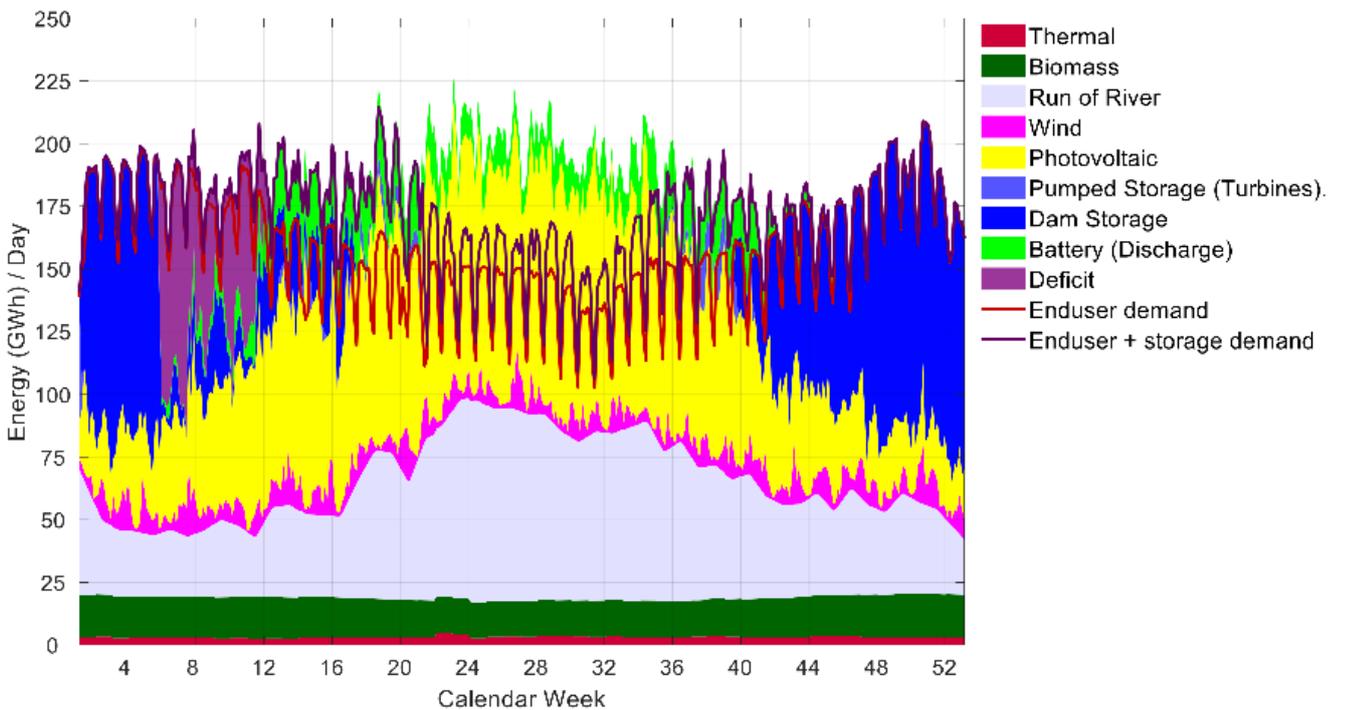


Illustration 10 : Modélisation de l’approvisionnement électrique de la Suisse en 2040 pour le scénario ADV. (Source : modèle énergétique SCS, résolution précise par jour, calculs Greenpeace)

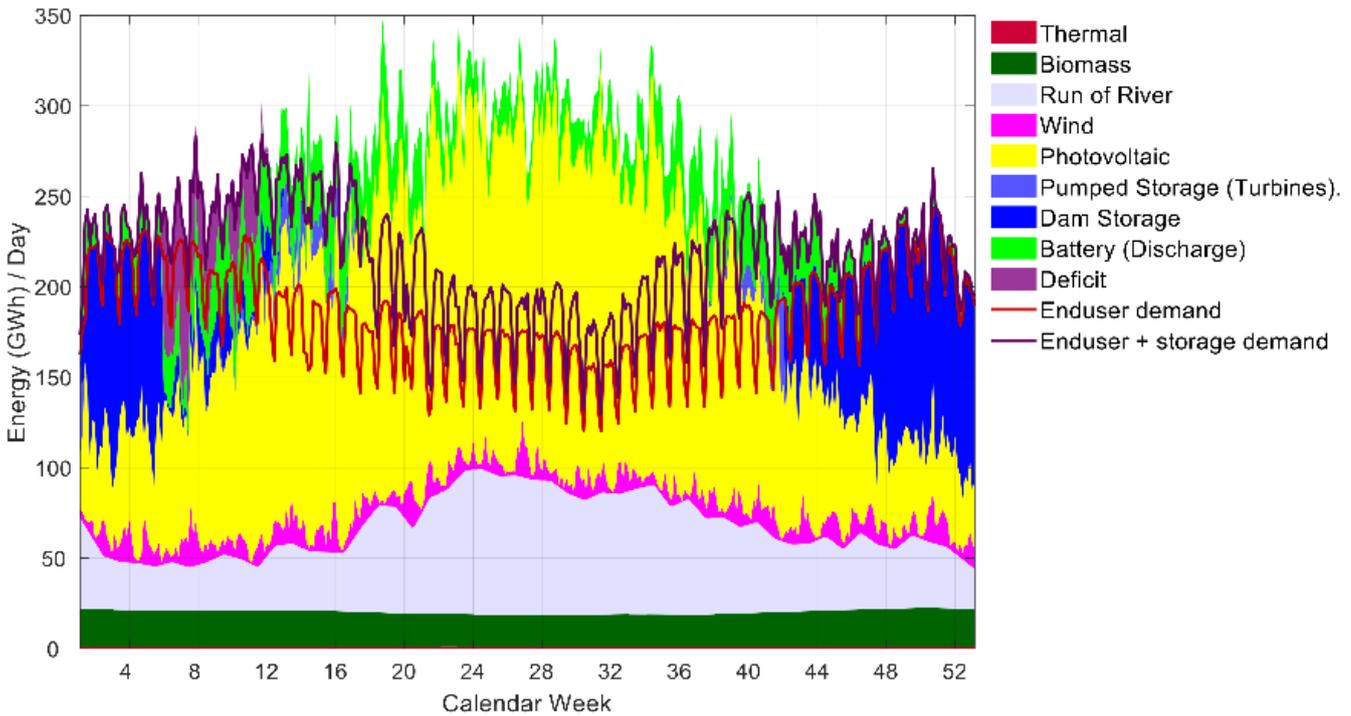
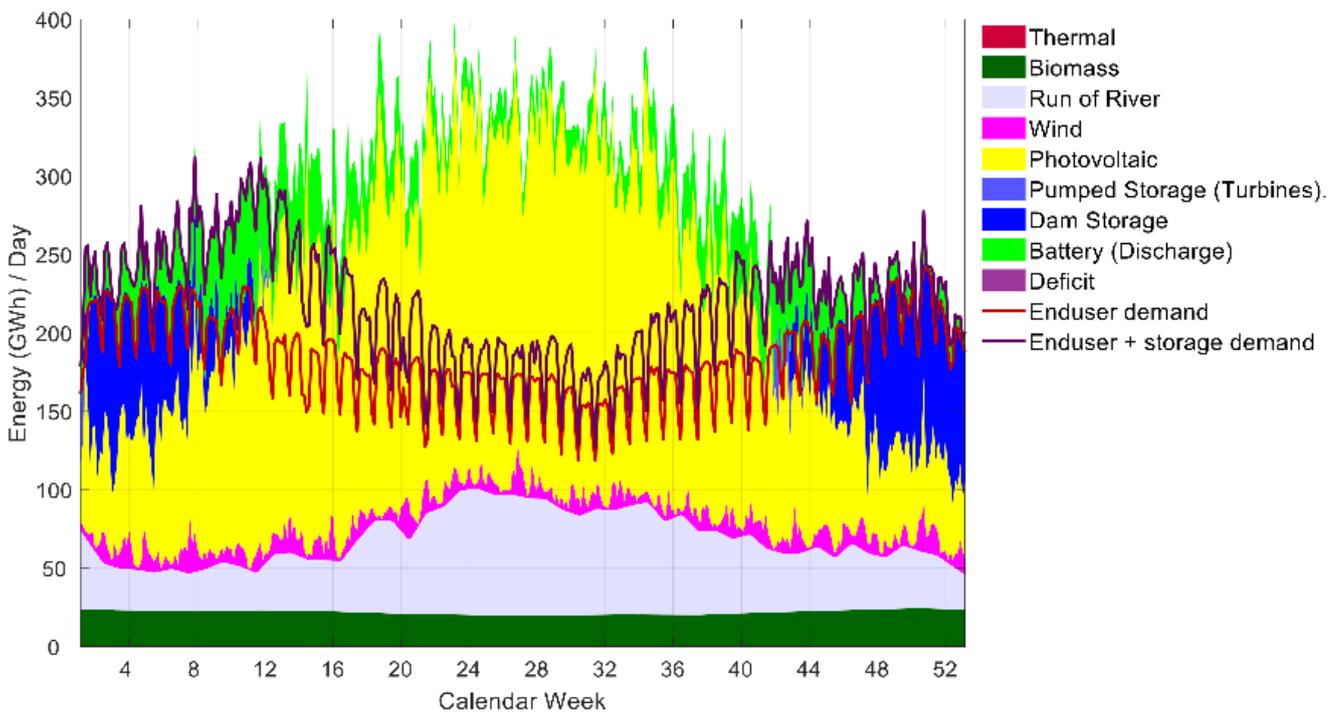


Illustration 11 : Modélisation de l’approvisionnement électrique de la Suisse en 2050 pour le scénario ADV. Il n’y a pas de déficit d’approvisionnement, à aucun moment de l’année. (Source : modèle énergétique SCS, résolution précise par jour, calculs Greenpeace)



La situation de l’approvisionnement électrique en 2025 montre qu’en Suisse, avec une durée de fonctionnement des centrales nucléaires de 45 ans (arrêt de Gösgen en 2024) et une extension rapide du solaire de plus de 11 GW (c’est la quantité qui peut être absorbée par le réseau sans grande adaptation¹⁰), des déficits d’approvisionnement pourraient avoir lieu de février à mai. Les déficits se montent à environ 3.3 TWh/a.

En hiver, ces déficits doivent être compensés par les habituelles importations d’électricité, comme c’est déjà le cas aujourd’hui.¹¹

Dans un scénario du pire cas météorologique, les déficits d’approvisionnement augmenteraient à 4.9 TWh/a en 2025. C’est également parfaitement surmontable si les importations sont possibles dans la même mesure qu’actuellement.

Dans le cas improbable où en 2025, l’UE n’autoriserait pas ou pas assez d’exportation d’électricité vers la Suisse, il faudrait compenser les déficits existants par des économies ou par une production autochtone supplémentaire sans CO₂. Nous considérons qu’un brusque arrêt des importations est improbable, malgré l’échec de l’accord-cadre avec l’UE. Parce que d’une part, une situation de pénurie d’électricité en Suisse aurait des conséquences désastreuses pour les pays voisins du fait de l’interconnexion étroite des réseaux. Et d’autre part, l’extension de l’éolien dans les Etats membres de l’UE fournit déjà des excédents de production en hiver qui doivent être absorbés. L’extension de l’infrastructure réseau pour assurer le transit de grandes quantités depuis le nord du continent à travers la Suisse est en cours.

La situation de l’approvisionnement électrique en 2030 se présente comme suit : avec une durée de fonctionnement des centrales nucléaires de 45 ans et un arrêt de Leibstadt en 2029, et une extension du solaire à 17.8 GW de puissance selon le scénario ADV, il y aura un déficit de 2.5 TWh/a entre février et avril. Durant les mois d’été, il y aura par contre des excédents qui peuvent être utilisés pour la production d’hydrogène et d’essence synthétique. Le cas échéant, une partie de ces carburants peut être utilisée pour la production d’électricité en hiver. Dans un scénario du pire cas météorologique, les déficits d’approvisionnement augmenteraient à 4.4 TWh/a en 2030. Une telle situation pourrait bien être maîtrisée par des importations d’électricité.

L’approvisionnement en électricité en 2040 et en 2050 ne montre plus que de petits déficits d’approvisionnement dans des deux variantes météorologiques à 1.75 TWh/a en 2040 et à zéro en 2050 en cas de « météo normale ». Dans le scénario du pire cas météorologique, les déficits sont de 4 TWh/a en 2040 et de 2 TWh/a en 2050.

L’extension régulière des installations photovoltaïques fait que les **excédents d’électricité photovoltaïque** augmentent fortement en été et permettent une augmentation de la production de carburants et de combustibles renouvelables. En 2025, les excédents de production estivale seront de 1.82 TWh/a, en 2030, ce seront 5.03 TWh/a, en 2040, déjà 15.76 TWh/a et 23.51 TWh/a en 2050. En 2040 et en 2050, il y aura aussi des excédents en hiver respectivement de 0.35 TWh/a et de 0.9 TWh/a. Environ 90% de ces surplus sont utilisés pour la production d’hydrogène et de produits dérivés, et environ 10% sont régulés afin de réduire les pics extrêmes.

Les bilans mensuels des années 2025, 2030, 2040 et 2050 sont répertoriés en annexe. Ils montrent clairement comment les déficits hivernaux de la production autochtone rapetissent avec l’extension du photovoltaïque et les excédents estivaux augmentent.

Dans les graphiques ci-dessous, pour mieux expliquer **l’intégration des grandes quantités d’électricité solaire**, nous montrons aussi le déroulement de la production et de la consommation dans le scénario ADV durant quatre semaines types au printemps, en été, en automne et en hiver 2050. Ces graphiques montrent encore une fois clairement comment les installations de production et de stockage doivent interagir pour obtenir l’intégration optimale de grandes quantités d’électricité solaire. Les priorités de l’utilisation des moyens de stockage sont fixées de façon à ce qu’en hiver, les grands barrages d’accumulation puissent être utilisés à pleine capacité. Durant le reste de l’année, les barrages d’accumulation ne sont utilisés que lorsque les autres systèmes ne suffisent pas.

¹⁰ Fiche d’information sécurité de l’approvisionnement de l’Alliance environnement : https://umweltallianz.ch/wp-content/uploads/2019/10/Faktenblatt_Versorgungssicherheit_F.pdf

¹¹ Ces 5 dernières années (2015-2020), d’après la statistique électrique suisse de l’Office fédéral de l’énergie, la Suisse a importé en moyenne nette environ 5 TWh en hiver.

Illustration 12 : Répartition au quart d'heure de la production et de la consommation pour le scénario ADV pendant une semaine de printemps en 2050. (Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)

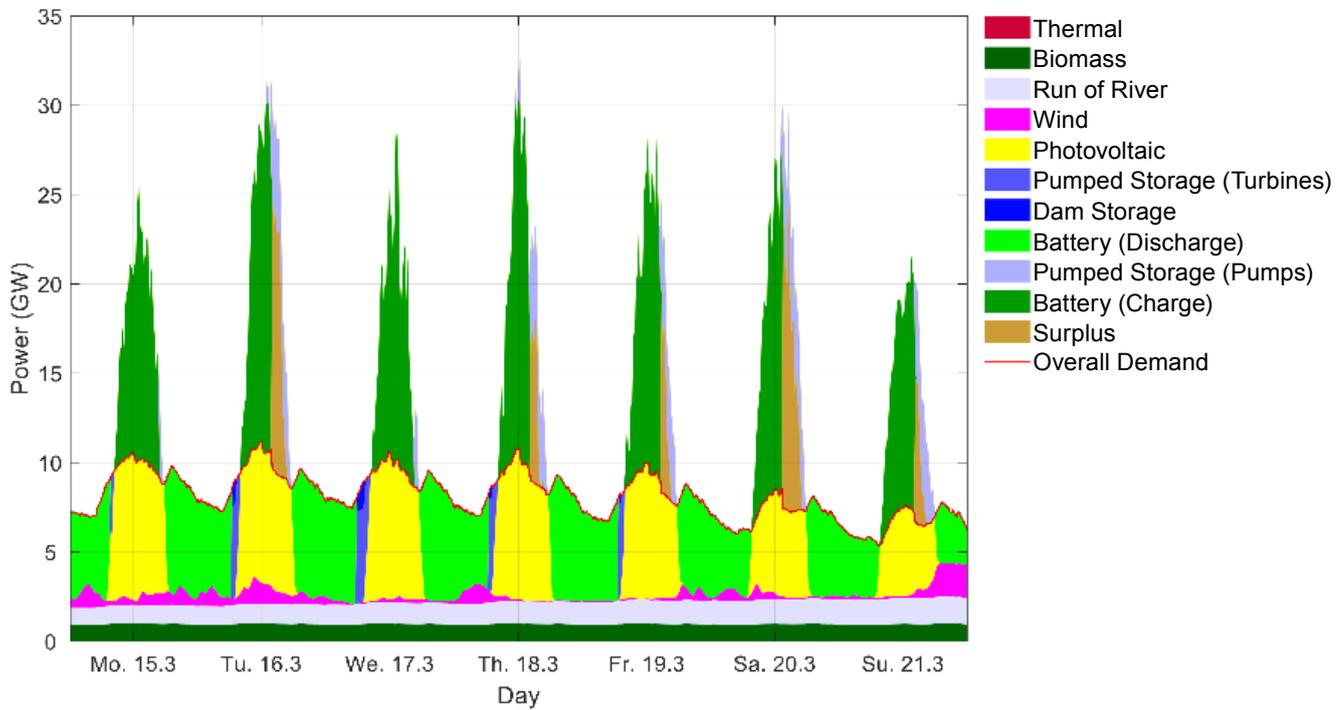


Illustration 13 : Répartition au quart d'heure de la production et de la consommation pour le scénario ADV pendant une semaine d'été en 2050. (Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)

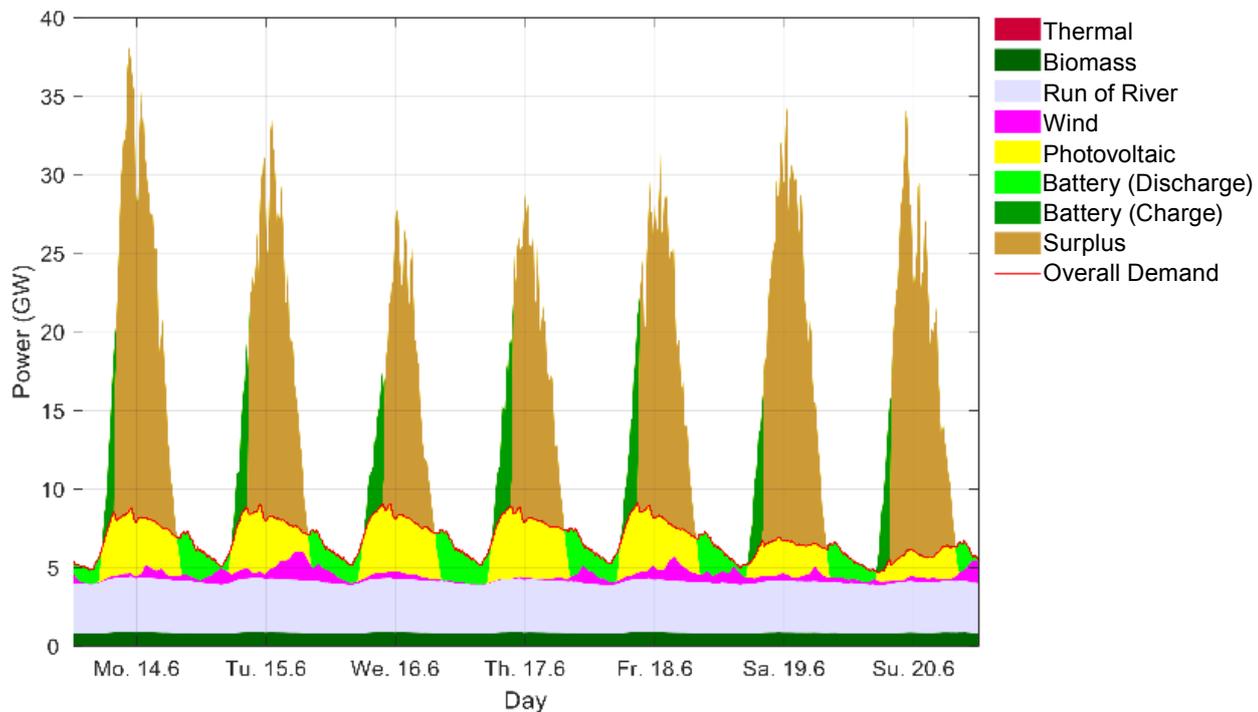


Illustration 14 : Répartition au quart d'heure de la production et de la consommation pour le scénario ADV pendant une semaine d'automne en 2050.

(Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)

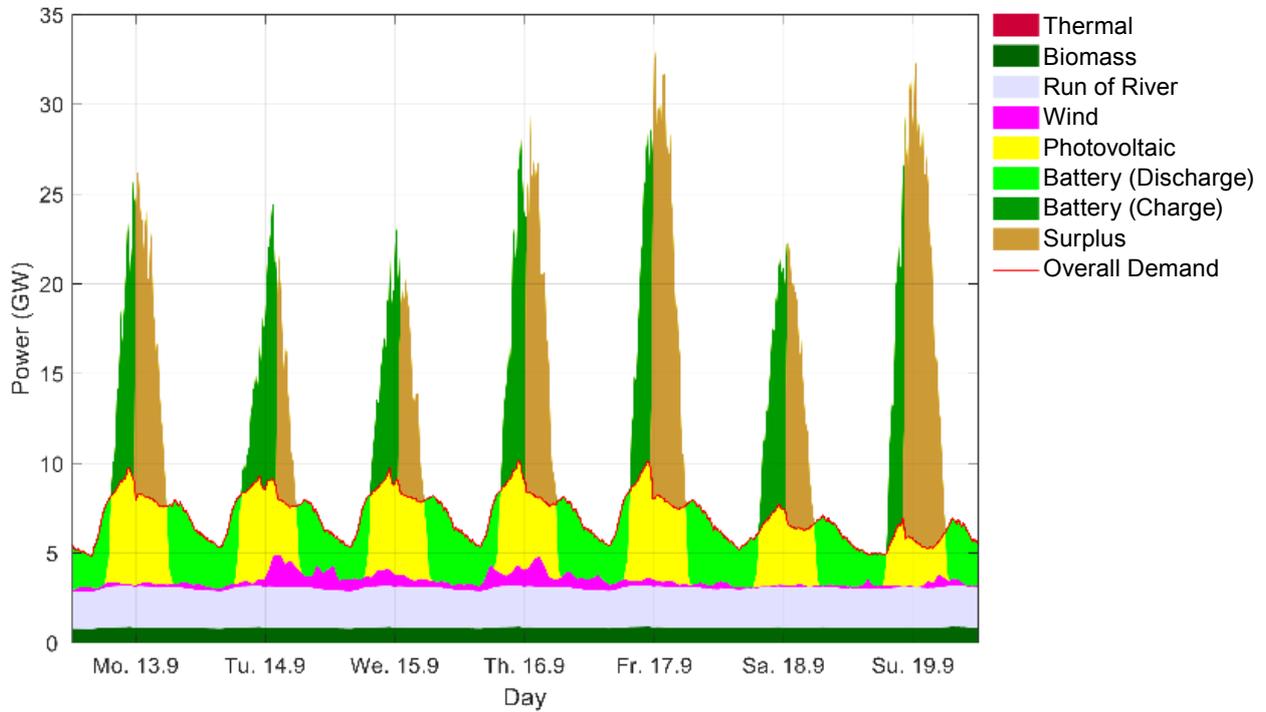
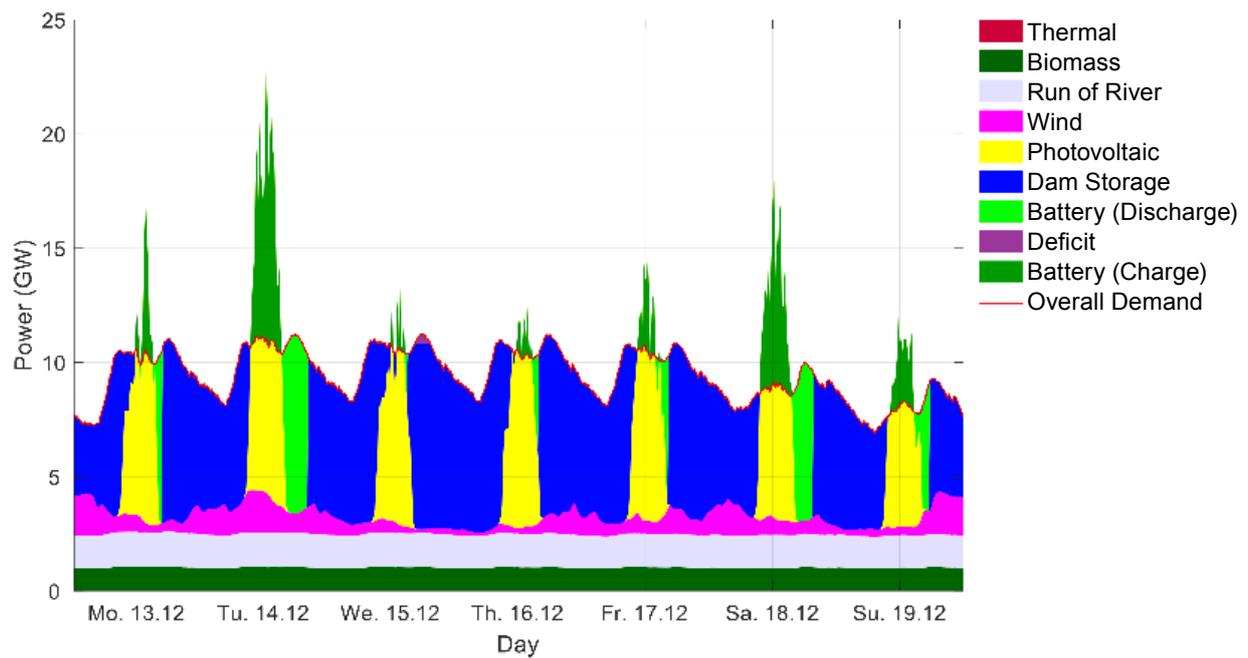


Illustration 15 : Répartition au quart d'heure de la production et de la consommation pour le scénario ADV pendant une semaine d'hiver en 2050.

(Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)



Mesures pour la transformation de la production d'électricité avec la garantie de la sécurité de l'approvisionnement

- Adaptation des valeurs indicatives pour le développement des énergies renouvelables (sauf l'énergie hydraulique) à 38 TWh/a d'ici 2035 dans la loi suisse sur l'énergie (LEne) et l'introduction d'un programme d'impulsion pour une extension accélérée de l'énergie solaire y compris l'organisation de reconversions afin d'empêcher un manque de personnel qualifié.
- Des exigences plus élevées, une utilisation efficace de l'énergie focalisée sur l'efficacité hivernale et avec l'objectif d'exploiter les potentiels d'efficacité actuellement inutilisés d'un tiers de la consommation d'électricité. Il s'agit de renoncer à des utilisations inefficaces comme les chauffages électriques directs ainsi que des et l'utilisation sans utilité, comme l'éclairage des vitrines pendant des nuits entières et la consommation en mode veille. Il faut aussi remplacer les appareils inefficaces, les moteurs électriques et les éclairages qui restent nécessaires.
- La promotion ciblée¹² d'installations photovoltaïques focalisées sur le rendement hivernal (installations en toitures et bâtiments d'infrastructures dans les Alpes et sur les façades appropriées) et la répartition des pics de production sur toute la journée (orientation Est-Ouest).
- La promotion ciblée des installations photovoltaïques sur les infrastructures agricoles et les infrastructures de transport, y compris la couverture des parkings.
- La promotion ciblée d'installations photovoltaïques sur les surfaces libres appropriées sans atteinte aux surfaces d'assolément, à la biodiversité et au paysage.
- Équipement de toutes les installations avec des conditions techniques pour le délestage du réseau. Il est essentiel de pouvoir réguler les pics de production en cas de risque de surcharge (peak shaving). Le réseau peut être fortement soulagé si 25% de la puissance maximale sont abaissés. Cela ne fait perdre qu'environ 2-3% de la production annuelle.
- La promotion de l'extension des technologies de stockage supplémentaires nécessaires. La suppression des taxes de réseau pour les moyens de stockage nécessaires au réseau.
- L'adaptation des tarifs électriques à une meilleure image du nouveau système électrique. Ils doivent être adaptés de façon plus variable aux modèles de production réels. Les barrages d'accumulation doivent en outre être mis au service de la sécurité de l'approvisionnement, la mise en réserve de leur contenu en faveur des mois critiques doit être rémunérée de façon appropriée. Des incitations tarifaires pour une meilleure gestion de la charge doivent aussi être appliquées aux consommateurs·ices afin d'équilibrer des variations à court terme.
- La mise en réseau d'installations qui peuvent produire du carburant et des combustibles à partir d'électricité, et si nécessaire pouvoir les retransformer en électricité afin d'être engagées lors d'éventuels goulets d'approvisionnement. L'hydrogène (ou le méthane/méthanol en tant que produits dérivés) produit par des électrolyseurs ou des piles à combustible peut servir de substitut aux énergies fossiles dans le domaine des hautes températures et des transports lourds et aériens. Si nécessaire, le méthane synthétique peut également être stocké pour être réinjecté dans le réseau électrique en hiver.
- La limitation à 45 ans du fonctionnement des centrales nucléaires pour réduire les risques de l'exploitation à long terme et créer une sécurité d'investissement.

¹² Différentes approches sont possibles pour promouvoir le photovoltaïque. Les actuels tarifs de rétribution du courant d'origine solaire injecté dans le réseau électrique entravent énormément une extension rapide du photovoltaïque. Le financement d'une première étape d'électricité photovoltaïque serait assuré si l'électricité solaire qui peut être injectée sans modification du réseau était rétribuée au tarif local d'achat d'électricité. Pour cela, il suffira d'autoriser le « net metering », soit les compteurs qui vont dans les 2 sens. Des demandes d'offres sont plus appropriées pour les grandes installations. Les entreprises de production d'électricité et les exploitants de réseaux doivent pouvoir répercuter leurs coûts sur leurs clients·es. Des possibilités d'allègement doivent être prévues pour les cas de rigueur.

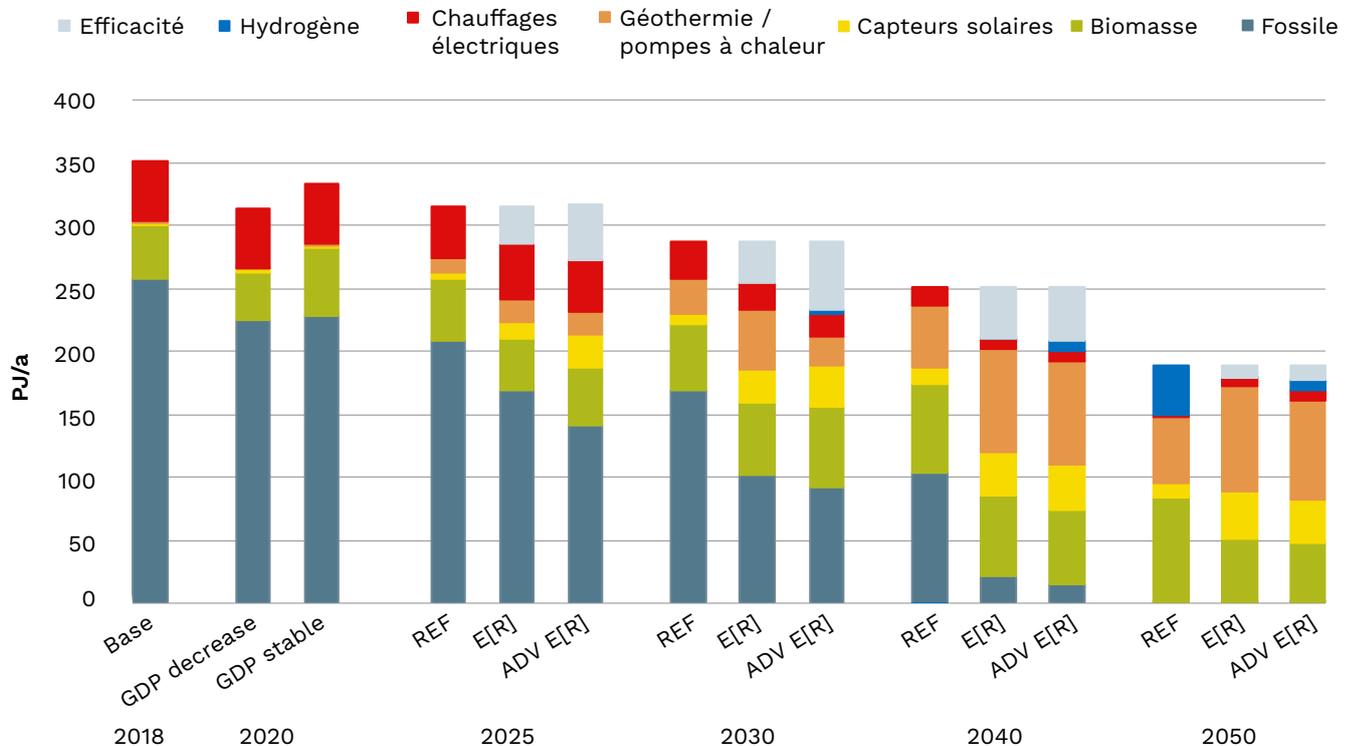
Protection du climat dans la production de chaleur

Aujourd'hui, les énergies renouvelables couvrent environ 22% des besoins en chaleur de la Suisse, mais la plus grande partie vient de la biomasse. Dans le scénario ER, les énergies renouvelables couvriront déjà 60% des besoins en chaleur de la Suisse en 2030 et 100% en 2050.

Les mesures d'efficacité énergétique contribueront à réduire de 7% en 2050 l'actuel besoin croissant en énergie pour la production de chaleur (par rapport au scénario REF), et ce malgré la croissance économique supposée. Dans le

secteur industriel, les collecteurs solaires, la géothermie (y compris les pompes à chaleur), ainsi que l'électricité et l'hydrogène (ou ses produits dérivés) de sources renouvelables remplaceront les systèmes utilisant des combustibles fossiles. Un transfert du gaz naturel à la "bio-énergie" et aux combustibles de synthèse et à base d'hydrogène et de méthane synthétique dans les utilisations conventionnelles restantes, conduirait à une réduction accrue des émissions de CO₂.

Illustration 16 : Evolution de la production de chaleur pour les différentes technologies de production.



La biomasse continuera de contribuer de façon importante, mais ne sera pas étendue pour éviter des dégâts aux écosystèmes forestiers. Après 2030, une augmentation massive des collecteurs solaires, une part croissante de géothermie et de « chaleur environnementale », ainsi que de chaleur provenant d'hydrogène renouvelable (ou de produits dérivés) réduiront la dépendance

aux combustibles fossiles. Le scénario ADV mène à une substitution complète de la consommation de gaz restante par de l'hydrogène produit par de l'électricité renouvelable et du méthane synthétique. D'ici 2030, le scénario ADV prévoit le remplacement des chauffages au mazout qui sont encore très répandus en Suisse par des systèmes de chauffage renouvelables.

Mesures pour la transformation de la production de chaleur

- La promotion de l'assainissement énergétique des bâtiments vers des bâtiments zéro émission. Comme les cycles de remplacement sont longs, tous les assainissements complets doivent dès à présent remplir les exigences de zéro émission. Des incitations d'assainissement supplémentaires doivent être mises en place pour les bâtiments loués pour l'assainissement énergétique des façades. Pour augmenter le volume de financement nécessaire, il faut introduire de nouveaux modèles de financement avec des crédits garantis par l'Etat lorsqu'une augmentation d'hypothèque classique n'entre pas en ligne de compte.
- Les nouvelles constructions doivent remplir au moins la norme zéro émission. Les surfaces appropriées sur les toits et les façades doivent être utilisées pour la production de chaleur et d'électricité (bâtiments à énergie positive). L'impact climatique doit également être minimisé lors du choix des matériaux de construction.
- Une interdiction immédiate de l'installation de nouveaux chauffages à mazout dans les nouvelles constructions et les bâtiments existants.
- Un programme pour le remplacement rapide des chauffages à mazout existant. Il faut prévoir des dédommagements de la valeur résiduelle pour que tous les chauffages à mazout soient remplacés en 2030.
- Un programme pour un remplacement rapide des chauffages électriques directs par des systèmes plus efficaces déjà disponibles.
- Un programme pour le remplacement des chauffages à gaz existants.
- Programme pour une utilisation accrue des capteurs solaires avec des montants d'encouragement uniformes dans tous les cantons, y compris la promotion de l'énergie solaire thermique comme complément aux réseaux de chaleur au bois ainsi que comme régénération des sondes géothermiques. L'utilisation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs est la source de chaleur la plus respectueuse de l'environnement.
- L'incitation à la réduction des émissions des processus à haute température par des procédés ou des combustibles alternatifs.
- L'investissement dans des installations de production d'hydrogène de sources renouvelables (et des produits dérivés Méthane/Méthanol)

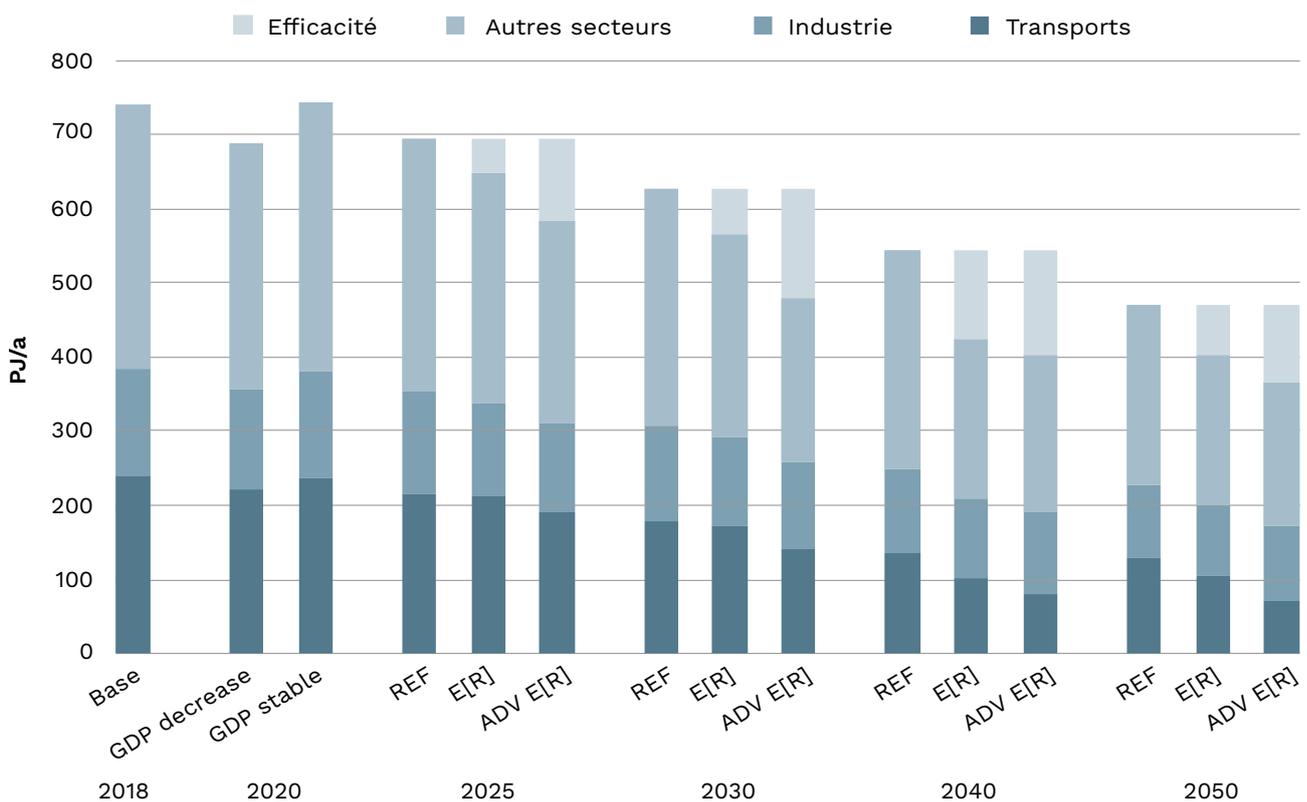


Développement du besoin en énergie primaire et finale

Dans les scénarios Greenpeace, le **besoin en énergie finale** diminue malgré la croissance supposée de l'économie et de la population. Dans le scénario REF de 29% pour passer d'actuellement 700 PJ/a à 500 PJ/a en 2050. Dans le scénario ER, le besoin en énergie primaire baissera de 43% par rapport à la consommation actuelle et atteindra probablement 400 PJ/a d'ici 2050. Dans le scénario ADV, la plus grande part de voitures électriques et un remplacement plus rapide des chauffages à combustibles fossiles conduiront à une réduction supplémentaire.

La demande en électricité augmentera dans tous les scénarios, malgré d'ambitieuses mesures pour augmenter l'efficacité. Ceci du fait que l'électricité deviendra l'énergie clé dans le domaine de la chaleur et des transports. La demande augmente plus fortement dans le scénario ADV, car l'électricité renouvelable sera utilisée de façon accrue pour produire de l'hydrogène et des carburants et combustibles synthétiques.

Illustration 17 : Evolution du besoin en énergie finale dans les secteurs sans applications non énergétiques.



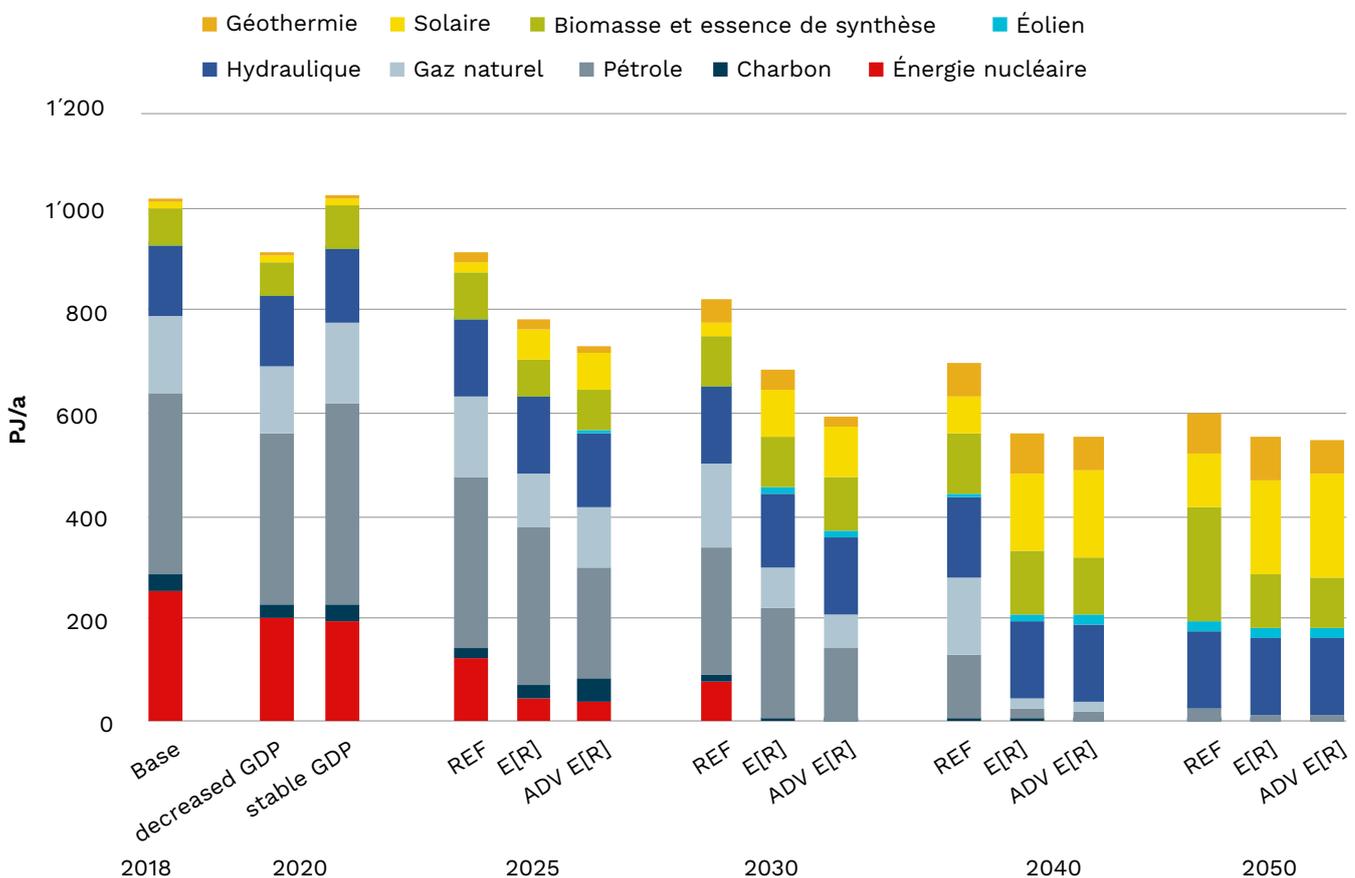
Dans le domaine de la chaleur, les gains d'efficacité seront encore plus grands que dans le domaine de l'électricité. Dans les scénarios ER, des gains en efficacité permettront d'éviter la consommation d'environ 10 PJ/a d'ici 2050 par rapport au scénario REF. A confort équivalent et prestations en énergie identiques, l'assainissement énergétique de l'habitat existant, l'introduction de normes basse énergie, la "climatisation passive" des nouveaux bâtiments et une climatisation haute efficacité nécessiteront un besoin en énergie nettement réduit.

L'évolution du **besoin en énergie primaire** est similaire au besoin en énergie finale. Dans le scénario REF le besoin en énergie primaire diminue de 45% d'aujourd'hui 1010 PJ/a à environ 560 PJ/a. Dans le scénario ER, le besoin en énergie primaire baisse de 13% supplémentaires en 2050 (soit à env. 40 PJ/a en 2050). Le scénario ADV conduit à un besoin en énergie primaire encore légèrement moindre.

Les scénarios ER visent une sortie aussi rapide que possible des énergies fossiles grâce à l'extension des énergies renouvelables et à l'introduction rapide de concepts de véhicules nettement plus efficaces dans le domaine des transports pour remplacer les moteurs ther-

miques à combustibles fossiles. Cela conduit à des parts globales d'énergies primaires renouvelables de 54% en 2030 et de 100% en 2050 selon le scénario ER et de plus de 100% en 2050 selon le scénario ADV.

Illustration 18 : Evolution du besoin en énergie primaire en fonction de la source.



Investissements et emplois

La transformation de tout le système énergétique comme prévu dans les deux scénarios ER exige des investissements supplémentaires d'environ CHF 70 milliards dans le secteur électrique et d'environ 30 milliards dans le domaine de la chaleur. Les coûts pour des systèmes de stockage d'électricité supplémentaires et de l'extraction de CO₂ de l'atmosphère n'y sont pas inclus. Les coûts indiqués comprennent tous les coûts de construction de nouvelles centrales, les coûts d'exploitation et d'entretien normaux moyens pour chaque technologie et les coûts des combustibles. Les hypothèses sur l'évolution des coûts sont documentées en annexe.

Si le besoin de stockage avec des batteries supplémentaires était réalisé, alors il faut compter avec environ CHF 4 milliards supplémentaire pour l'extension maximale à environ 19 GW dans le scénario ADV. L'extension de l'infrastructure pour la production de carburants et de combustibles au moyen d'électricité renouvelable demande aussi des investissements supplémentaires. Celle-ci réduit l'extension maximale nécessaire des capacités de stockage en batteries. L'intégration des véhicules électriques dans le réseau ainsi que leurs batteries usagées réduisent considérablement les besoins d'investissement. Nous estimons qu'un investissement total d'environ CHF 5 milliards permettra de mettre en place l'infrastructure nécessaire à l'utilisation des excédents en été et à la décharge du réseau.

Au total, nous comptons sur environ 105 milliards de CHF supplémentaires d'ici 2050 pour la transition énergétique en Suisse.

Selon les perspectives énergétiques 2050+ de la Confédération, il faut de toute façon investir CHF 1'400 milliards d'ici 2050 pour rénover tous les domaines de l'infrastructure énergétique.

Les auteurs des Perspectives énergétiques 2050+ estiment à environ CHF 109 milliards la somme des investissements nécessaires à la décarbonisation de l'approvisionnement énergétique d'ici 2050. Que les scénarios de l'Energy [R]evolution nécessitent un investissement légèrement moindre, alors que la transition est nettement plus rapide, vient principalement d'hypothèses différentes en ce qui concerne l'évolution des coûts des installations photovoltaïques et des systèmes de stockage (ces hypothèses sont documentées en annexe et dans le rapport principal en anglais).

Si l'on part d'une somme totale d'environ 105 milliards de CHF supplémentaires, cela correspond, répartis sur 30 ans, à environ 3,5 milliards de CHF par an ou 35 milliards de CHF par décennie, qui sont nécessaires pour la décarbonisation de l'approvisionnement énergétique. L'argent investi de cette manière crée une grande valeur ajoutée pour la Suisse. Il faut mentionner:

- La création d'emplois et de plus-value en Suisse. L'argent va en grande partie à des entreprises suisses qui réalisent les transformations.
- L'augmentation de l'indépendance à l'égard de fournisseurs d'énergie et d'arrangements cartellaires étrangers, ainsi qu'une réduction massive des flux financiers liés à l'achat d'énergie à l'étranger. D'après les Perspectives énergétiques 2050+, la décarbonisation permettrait d'économiser des frais d'achat d'énergie de CHF 50 milliards d'ici 2050.
- La réduction des externalités négatives liées à l'utilisation d'énergies fossiles en particulier dans le domaine de la santé.
- L'augmentation de la probabilité que la crise climatique puisse être résolue collectivement et que des milliards de dégâts puissent être évités. Les prix des solutions baissent lorsque les pays riches vont de l'avant avec les investissements dans la décarbonisation. La réduction de chaque dixième de degré du réchauffement de l'atmosphère planétaire permet de diminuer les coûts des dégâts.

La transformation de l'approvisionnement énergétique conduit à ce que l'argent qui est actuellement dépensé pour importer du pétrole et du gaz de pays comme la Libye, le Kazakhstan, le Nigéria et la Russie sera à l'avenir investi en Suisse. Ces 10 dernières années, la Suisse a investi en moyenne CHF 8 milliards par an pour acheter des énergies fossiles à l'étranger. A l'avenir, ce seront de nombreux métiers artisanaux et manuels qui en bénéficieront au lieu de quelques importateurs et vendeurs.

Les analyses de l'emploi existantes¹³ nous permettent d'estimer que les **investissements proposés pour la transformation de l'approvisionnement énergétique permettront de créer 25'000 à 30'000 nouvelles places de travail d'ici 2030.**

Si l'effet multiplicateur est pris en compte, soit l'effet de ces nouvelles places de travail sur d'autres secteurs de l'économie, alors la transition énergétique créera jusqu'à 60'000 nouveaux emplois.

- La transformation du secteur des transports devrait créer environ 6'000 nouveaux emplois directs d'ici 2030 principalement du fait de l'extension des stations de recharge, de nouvelles offres de mobilité et de la digitalisation, ainsi que de la transformation des infrastructures.
- **L'extension du photovoltaïque constitue le principal moteur de l'emploi** y compris l'implémentation des systèmes de stockage. 13'000 à 14'000 nouveaux emplois peuvent être créés dans ce domaine dont une grande partie dans le montage et environ 2'000 dans la planification.
- La transformation de la production de chaleur devrait créer environ 3'700 nouveaux emplois grâce à un taux d'assainissement plus élevé et au remplacement accéléré des chauffages à combustibles fossiles.
- Des mesures dans l'industrie y compris le secteur des déchets créeraient environ 3'000 à 5'000 nouveaux emplois.

Il y aura par contre des secteurs qui perdront des emplois, p. ex. sur le marché du pétrole et du gaz, ainsi que probablement dans le secteur aérien. Des reconversions et des programmes de formation accélérés doivent permettre à ce que personne ne soit laissé de côté et que l'augmentation de nouveaux emplois dans les nouveaux domaines se passe avec aussi peu de frictions que possible. Il est aussi possible d'engager du personnel qualifié des pays voisins de façon temporaire, car ils sont plus avancés que la Suisse dans l'extension des énergies renouvelables.

¹³ - R. Meier und W. Ott, 2020: COVID-19 - Klimakrise. Impulsprogramm 2020/2030. Für Beschäftigung und Nachhaltige Entwicklung. Etude mandatée par energie-wende-ja et Greenpeace Suisse.
- J. Rohrer, 2020: Ausbau der Stromproduktion aus Photovoltaik in der Schweiz. Bedarf, Potenzial und Umsetzung. Schriftenreihe Erneuerbare Energien, Bodenökologie und Ökotechnologie, Herausgeber: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Les autres émissions de gaz à effet de serre (GES)

Pour respecter l'Accord de Paris, il faut réduire les émissions de gaz à effet de serre à zéro net d'ici 2050. Les émissions de CO₂ liées au secteur de l'énergie représentent 75% des émissions de GES en Suisse. Ce chapitre comporte une brève revue de toutes les **émissions que le présent scénario ne prend pas en compte**. Ce sont premièrement les émissions d'autres gaz à effet de serre en Suisse selon l'inventaire des gaz à effet de serre, deuxièmement les émissions du trafic aérien, troisièmement les émissions provoquées par la consommation dans son ensemble à l'intérieur du pays et quatrièmement, les émissions des activités économiques de la Suisse ailleurs dans le monde.

Émissions d'autres gaz à effet de serre en Suisse

Les chapitres précédents consacrés au système énergétique et au respect du budget d'émission restant se focalisent sur les émissions de CO₂ liées à l'énergie. En 2019, leurs 34.50 millions de tonnes représentaient environ 75% de toutes les émissions de GES de la Suisse. Si l'on n'y ajoute pas les émissions de CO₂ issues des processus industriels (2.2), de l'agriculture (0.05), de la gestion des déchets et autres (0.02), alors les émissions de CO₂ de 2019 sont un peu plus élevées et atteignent 36.86 millions de tonnes, ce qui représente presque 80% de toutes les émissions de GES de 2019 (sans les émissions du trafic aérien et sans les effets des changements d'utilisation des sols, sans l'exploitation des forêts et du bois).

L'ensemble des émissions de gaz à effet de serre de la Suisse atteint 46.22 millions de tonnes d'équivalent CO₂ qui se répartissent entre 35.11 millions de tonnes de l'exploitation d'énergie dans tous les secteurs, 4.48 millions de tonnes de processus industriels, de 5.86 mio de tonnes de l'agriculture, de 0.76 mio de tonnes de la valorisation des déchets (sans l'incinération des ordures qui fait partie de l'exploitation de l'énergie) et 0.01 mio de tonnes d'autres sources. Une grande partie des émissions des secteurs non énergétiques sont composées d'autres gaz que le CO₂.

Pour endiguer le réchauffement de l'atmosphère terrestre, toutes les émissions de GES doivent être réduites à zéro net. Pour cela, il faut

d'autres mesures de réduction des émissions dans les **processus industriels** (en particulier la production de ciment), dans l'agriculture (dont la plus grande partie des émissions vient de la détention d'animaux) et dans la **valorisation des déchets** (surtout les décharges et l'épuration des eaux) :

- Le développement et l'utilisation d'éléments de construction biogènes et favorables au climat pouvant entièrement remplacer le ciment.
- L'interdiction et le remplacement de gaz techniques ayant un potentiel d'échauffement élevé. Les applications non remplaçables sont grevées d'une redevance climatique pour accélérer la recherche de solutions de remplacement et compenser les émissions restantes par l'extraction hors de l'atmosphère.
- Des mesures en faveur d'un système alimentaire favorable au climat avec un cheptel réduit et limité aux capacités des herbages autochtones (sans importations de fourrages)¹⁴, les

¹⁴ Si les terres agricoles autochtones sont de nouveau utilisées pour produire des aliments plutôt que des fourrages, le niveau d'autosuffisance de l'agriculture suisse pourrait augmenter de façon substantielle et les gains de productivité libéreraient des surfaces pour la capture d'émissions de GES (p. ex. par la remise en eau de marais ou la reforestation d'anciennes surfaces forestières). Pour que ces mesures parviennent vraiment à réduire les émissions de GES de l'agriculture, il faut que le système alimentaire soit reconverti à une nourriture majoritairement végétale.

pratiques favorables à la composition du sol et une meilleure absorption du carbone dans le sol, y compris la négociation de conditions climatiques strictes dans les accords commerciaux internationaux pour protéger les agriculteurs·ices autochtones.

- L'utilisation des gaz de fermentation de l'épuration des eaux et des décharges pour la production de biogaz.

Émissions du trafic aérien

Les émissions du trafic aérien international font aussi partie de l'inventaire des GES de la Suisse, mais ne font pas partie du total de 46.22 mio de tonnes de CO₂ (limite du système du Protocole de Kyoto). En 2019, les émissions du trafic aérien approvisionné en carburant en Suisse¹⁵ se montaient à 5.74 mio de tonnes d'équivalent CO₂ (5.69 mio de tonne de CO₂).

Les effets négatifs du trafic aérien sur le climat sont toutefois plus importants que ce qui pourrait être admis sur la base des émissions de CO₂. La combustion du carburant des avions à haute altitude génère de la vapeur d'eau, des oxydes d'azote, du dioxyde de soufre et de la suie qui ont un effet désastreux sur le climat. Dans sa dernière fiche d'information, l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT) estime que le trafic aérien a un effet sur le climat qui se monte au triple de ses émissions de CO₂ en tant que telles.¹⁶ Ainsi, si le transport aérien était un secteur à part entière et si l'impact climatique du transport aérien était pris en compte et les émissions de CO₂ étaient en conséquence triplées et ajoutées à l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre de la Suisse, la part du transport aérien représenterait 27% des émissions totales de la Suisse en 2019.¹⁷

En ce qui concerne le trafic aérien, il faut tenir compte du fait que les carburants alternatifs permettent en premier lieu d'éviter l'effet climatique du CO₂. Des études sont en cours pour savoir si les autres effets climatiques sont également réduits, par exemple si la modification de la formation de suie contribue à réduire la formation de cirrus. Tant que de la vapeur d'eau continuera d'être émise à haute altitude et que d'autres émissions seront générées, il restera un effet climatique négatif considérable qui devra être neutralisé.

- Les voyages en train doivent autant que possible remplacer les voyages en avion. Les trains de nuit jouent un rôle important pour les longs trajets. Lorsqu'il est possible de voyager en train, les liaisons aériennes ne devraient servir qu'en cas d'urgence.
- Le subventionnement indirect du trafic aérien par l'absence de taxe sur la valeur ajoutée (TVA) et sur les carburants doit être aboli, il en va de même de la promotion des sites des aéroports.
- La vérité des coûts du trafic aérien nécessite l'internalisation des coûts externes de tous les effets environnementaux de l'aviation.
- Une meilleure explication des effets climatiques de l'aviation.
- Remplacement des carburants fossiles par des carburants renouvelables, accompagné de recherches sur l'impact climatique des solutions de remplacement.
- Si les mesures décrites ne suffisent pas, il faut des mesures supplémentaires ayant un effet sur la structure des quantités. Soit une extension de l'interdiction de voler la nuit et l'introduction d'un budget carbone personnel qui vont dans le sens de la décarbonisation pour respecter la limite de 1.5°C de réchauffement de l'atmosphère terrestre.

¹⁵ Vente de carburant dans les aéroports suisses sans l'Euroairport de Bâle-Mulhouse-Freiburg qui ne se trouve pas sur le territoire suisse.

¹⁶ Swiss academies communications Vol. 16, No. 3, 2021: Die Auswirkungen des Flugverkehrsemissionen auf das Klima. L'effet des émissions de GES qui ne sont pas du CO₂ diminue dans le temps, car leur durée de vie est inférieure à celle du CO₂ (facteur 3 jusqu'à 30 ans, facteur 2.3 à 50 ans et facteur 1.7 à 100 ans).

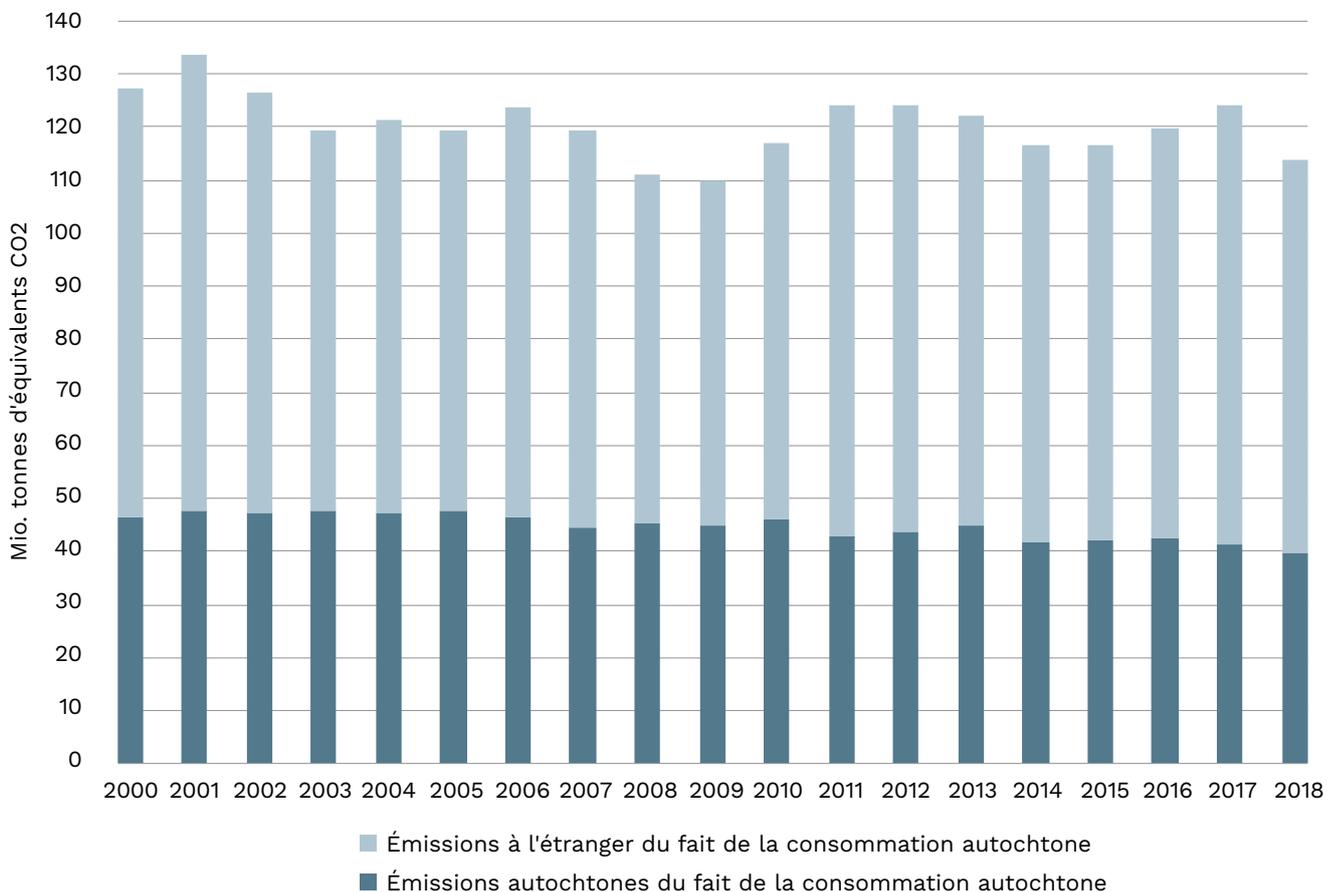
¹⁷ Calculs de la Confédération: <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?Affairid=20214259>

Émissions de la consommation

L'illustration ci-dessous montre les **gaz à effet de serre générés par la consommation autochtone en Suisse, soit l'empreinte GES de la Suisse**. Le fait que nettement plus d'émissions sont générées à l'étranger qu'en Suisse s'explique par le fait qu'une grande partie des biens de consommation achetés ici sont importés de pays générant des émissions élevées. De nombreuses industries générant beaucoup d'émissions ont quitté la Suisse suite au changement de structure de l'économie vers une économie de services.

L'empreinte GES par habitant·e est de 13.3 tonnes d'équivalent CO₂ et l'Office fédéral de l'environnement considère que c'est nettement au-dessus de la moyenne européenne.¹⁸ Selon les données du Global Carbon Atlas, seuls la Belgique et le Luxembourg ont une empreinte GES par habitant·e plus élevée que la Suisse.¹⁹

Illustration 19 : Evolution des émissions de gaz à effet de serre générées par la consommation autochtone de biens et de services, en Suisse et à l'étranger. (Source OFS, Indicateur GW016, Empreinte GES de la Suisse).



Des mesures doivent être prises dans le domaine de la consommation pour réduire fortement l'effet des biens consommés en Suisse sur le climat sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement. La transparence et la vérité des coûts en ce qui concerne l'effet des biens disponibles sur le climat en font partie. Les matériaux biogènes autochtones deviendraient ainsi de nouveau plus attractifs que les matériaux basés sur le pétrole, c'est un avantage pour l'artisanat autochtone. Le but est de ramener les

effets de la consommation à un niveau compatible avec le respect des limites de la planète. Cela doit aller de pair avec une réduction générale de notre consommation. La sobriété est la notion essentielle en la matière.

¹⁸ Indication de l'indicateur des émissions de gaz à effet de serre sur le site internet de l'OFEV.

¹⁹ <http://cms2018a.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions-Angaben-in-t-CO2/person> (15.12.2021)

Autres émissions dont la Suisse est responsable

La place financière constitue le principal levier pour la protection du climat planétaire. La place financière suisse est une des principales places financières de la planète. Elle joue donc un rôle important pour lutter contre la crise climatique. Des milliards de francs suisses (CHF) la traversent sous forme de fonds propres ou étrangers en direction de l'économie internationale et génèrent, à travers l'activité qu'ils financent, plusieurs fois plus d'émissions de GES que la Suisse n'en émet à l'intérieur de ses frontières. Les dernières analyses de la Confédération en ce qui concerne les prestations climatiques de la place financière suisse montrent²⁰ qu'elle soutient en moyenne une extension supplémentaire de l'extraction de charbon et de pétrole, et investit actuellement quatre fois plus de moyens dans des entreprises qui produisent de l'électricité à partir de charbon et de gaz qu'à partir de sources d'énergie renouvelables. Quatre sur cinq instituts financiers ont en outre des entreprises qui extraient du charbon dans leurs portefeuilles. De tels financements ne sont pas compatibles avec le respect de la limite de 1.5°C, car ils encouragent un dangereux réchauffement global de 4°C et plus.²¹

La réorientation des flux financiers pour réduire les émissions à zéro est de ce fait explicitement nommé comme but dans l'Accord de Paris que la Suisse a ratifié. C'est une des principales tâches du secteur financier, et du législateur.

Certaines des multinationales domiciliées en Suisse ont aussi une grande influence sur le climat. Comme toutes les émissions doivent être réduites à zéro, toutes les **entreprises suisses** doivent réduire les émissions dont elles sont responsables dans toute leur chaîne d'approvisionnement jusqu'à l'élimination. De tels plans de réduction des émissions doivent se baser sur les budgets d'émissions des pays dans lesquels ces émissions ont lieu et donc atteindre le zéro net en partie nettement avant le milieu de ce siècle.

²⁰ Voir Communiqué de presse de l'Office fédéral de l'environnement « Le marché financier suisse sous la loupe climatique » du 09.11.2020 <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/documentation/communiqués/annonce-nsb-unter-medienmitteilungen.msg-id-81034.html>

²¹ Voir à ce sujet aussi l'analyse de Climate Action Tracker qui considère que les performances de la place financière suisse sont « critically insufficient » (28.12.2021) : <https://climateactiontracker.org/countries/switzerland/>

Changement social au lieu de solutions technologiques ?

Pratiquement tous les scénarios de protection du climat admettent la poursuite de la croissance économique et misent sur des mesures technologiques pour réduire les émissions (p. ex. l'extraction du CO₂ de l'atmosphère). Cela conduit à ce que des programmes de réduction de plus en plus délirants doivent être mis en place et que des technologies de plus en plus risquées devraient permettre d'y arriver. Aujourd'hui déjà, la plupart des scénarios se basent sur le fait que la limite de réchauffement de l'atmosphère terrestre de 1.5°C sera temporairement dépassée et qu'ensuite d'ici 2100, elle pourra quand même être atteinte par l'extraction de grandes quantités de CO₂ de l'atmosphère.

Le Conseil fédéral compte ainsi aussi que la Suisse dépassera fortement le budget d'émission dont elle dispose encore et qu'elle l'équilibrera d'une façon ou d'une autre plus tard. De telles approches sont légalement critiquables, car elles limitent les libertés des personnes qui vivront après nous. Elles sont aussi extrêmement risquées, car personne ne sait s'il n'y aura pas des effets incontrôlables. Des points de bascule (Tipping Points) du système climatique indiquent que des écosystèmes critiques, comme les calottes glaciaires et le permafrost, mais aussi tout le système de circulation thermohaline pourraient connaître des évolutions irréversibles avec des conséquences effroyables si l'atmosphère de la Terre se réchauffe trop.²²

Une croissance économique continue est donc un point critique dans la lutte contre la crise climatique.

Car elle conduit à une augmentation par personne (ou à une stagnation à un niveau trop élevé) des transports terrestres et aériens, de l'utilisation des sols, des biens consommés et du nombre d'appareils ainsi que de l'alimentation à base de produits carnés et laitiers. Ce sont les moteurs principaux des atteintes au climat.

Il n'y a en outre que peu de scénarios énergétiques qui comprennent une transformation de l'économie et de la société. Sans doute parce que les changements nécessaires sont considérés comme trop importants. Car il ne s'agit là de

rien d'autre que la correction de l'actuelle vision du monde basée sur une planète sans limite. Une vision du monde qui considère que nous les humains sommes séparés de la nature et ignore donc systématiquement les faits qui montrent que nous mettons en danger les conditions naturelles de notre existence.

Les scénarios énergétiques qui comprennent une transformation ont en outre la difficulté de chiffrer précisément les conséquences d'un changement fondamental pour établir des modèles de calcul. Que se passe-t-il si nous consommons beaucoup moins et vivons dans les limites que nous offre la planète ? Kuhnhenh et al. ont établi un scénario possible pour une transformation qui respecte la limite de 1.5°C et mentionnent qu'il faut modifier les conditions-cadres de la société pour qu'une vie sans croissance économique continue soit possible²³ :

- La fiscalisation des ressources et des pratiques écologiquement nuisibles au lieu de la fiscalisation du travail. La réforme fiscale nécessaire à cela établira un prix pour les GES et pour l'utilisation d'autres ressources

²² Voir par exemple Rahmstorf et al, 2019: Kipppunkte im Klimasystem. Un aperçu. <http://www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/Kipppunkte%20im%20Klimasystem%20-%20Update%202019.pdf>

²³ Kai Kuhnhenh, Luis Costa, Eva Mahnke, Linda Schneider und Steffen Lange, 2020: A Societal Transformation Scenario for Staying Below 1.5°C, edited by the Heinrich Böll Foundation and Konzeptwerk Neue Ökonomie



non renouvelables. Pour ne pas prêter les personnes pauvres, cette réforme fiscale doit aussi s'occuper de la répartition extrêmement inégale des ressources financières pour pouvoir assurer un financement compensatoire. Imposer le capital et les héritages serait un instrument pour cela.

- **La mise à disposition de prestations sociales y compris la prévoyance vieillesse indépendantes de la croissance.** C'est une des tâches principales pour que de nouveaux modèles soient possibles sans obligation de croissance.
- **La réduction du temps de travail et introduction d'un revenu de base,** pour permettre des modèles de travail et d'existence qui ont besoin de beaucoup moins de ressources.
- **Le ralentissement de la vie en se focalisant sur le bien-être et sur la qualité du temps à disposition.**
- **La démocratisation de la prise de décision (économique).**

Les points ci-dessus montrent qu'une transformation vers une nouvelle structure sociale est possible et qu'il ne s'agit pas simplement de changer les comportements en gardant la structure actuelle. Même si les scénarios d'Energy [R]evolution présentés suivent une logique de croissance pour être comparés aux scénarios fédéraux de référence au niveau politique, ils ont des points de référence avec les changements fondamentaux mentionnés. Dans le domaine des transports, il est particulièrement clair que les changements nécessaires qui conduisent à une réduction de l'utilisation excessive d'énergie et de place ne peuvent pas être que de nature technologique.

A côté de l'engagement pour une rapide transformation du système énergétique décrit dans les scénarios de l'Energy [R]evolution, Greenpeace s'engage pour trouver une transformation réaliste – une transformation vers un nouveau système socio-économique qui se satisfait de moins de performance économique et se mesure au bien commun.

Annexe

Glossaire

Unités de mesure de l'énergie

J	Joule, unité de mesure de l'énergie
kJ (Kilojoule)	1000 Joules
MJ (Mégajoule)	1 million de Joules
GJ (Gigajoule)	1 milliard de Joules
PJ (Petajoule)	10 ¹⁵ Joules
EJ (Exajoule)	10 ¹⁸ Joules

kWh	kilowattheure, unité de mesure de l'énergie
kWh	1000 Watts/heure
TWh (térawatt/heure)	10 ¹² Watts/heure ou 1 milliard de kWh

Conversion de PJ et TWh 1PJ = 0.28 TWh / 1 TWh = 3.6 PJ

W	Watt, unité de mesure de la puissance
kW (kilowatt)	1000 Watt
MW (mégawatt)	1 million de Watts
GW (gigawatt)	1 milliard de Watts

Autres abréviations

GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
ER	Energy [R]evolution
ADV	Advanced Energy [R]evolution
REF	scénario de référence
GES	Gaz à effet de serre (GES)
CO₂e	équivalents CO ₂ ou équivalents dioxyde de carbone. L'effet climatique d'autres gaz à effet de serre est converti en CO ₂ , le principal gaz à effet de serre.
H₂	Hydrogène
Essence synthétique (synfuel) / Power-to-x	Désigne les agents énergétiques liquides ou gazeux produits à partir d'électricité renouvelable (hydrogène, méthane, méthanol)
GDP / PIB	Gross Domestic Product / Produit intérieur brut



Index des illustrations

Illustration Z1 : Evolution des émissions de CO2 et des émissions cumulées d'ici 2050 pour les scénarios Energy [R]evolution REF, ER et ADV, ainsi que le scénario EP-ZERO Base des Perspectives énergétiques 2050+ avec et sans Capture du carbone (Carbon Dioxide Removal (CDR)). Source : Calculs Greenpeace et Perspectives énergétiques 2050+ (variante EP-ZERO Base, variante stratégique « bilan annuel équilibré 2050 », durée de fonctionnement centrales nucléaires 50 ans).	7
Illustration Z2 : Évolution du besoin en énergie finale (sans les applications non énergétiques).	8
Illustration Z3 : Évolution de la production d'électricité pour les différentes technologies.	8
Illustration Z4 : Modélisation de l'approvisionnement électrique autochtone en 2050 pour le scénario ADV. A aucun moment de l'année n'apparaît un déficit d'approvisionnement. (Source : modèle énergétique SCS, résolution précise par jour, calculs Greenpeace)	9
Illustration 1 : Développements possibles des émissions de CO2 d'origine humaine pour pouvoir respecter la limite de 1.5°C. (Source : IPCC, 2018: Global warming of 1.5°C, Full-Report, Figure 2.5, S. 113).	17
Illustration 2 : Evolution des émissions de CO2 et des émissions cumulées d'ici 2050 pour les scénarios Energy [R]evolution REF, ER et ADV, ainsi que le scénario EP-ZERO Base des Perspectives énergétiques 2050+ avec et sans Carbon Dioxide Removal (CDR). Source : Calculs Greenpeace et Perspectives énergétiques 2050+ (variante EP-ZERO Base, variante stratégique « bilan annuel équilibré 2050 », durée de fonctionnement centrales nucléaires 50 ans).	19
Illustration 3 : Evolution des émissions selon les secteurs et les scénarios pris en compte.	20
Illustration 4 : Évolution de la consommation d'énergie finale par les différents modes de transport. La barre d'efficacité montre la différence par rapport au scénario de référence.	21
Illustration 5 : Evolution des sources d'énergie utilisées dans les transports. Efficacité = différence par rapport au scénario de référence.	22
Illustration 6 : Évolution de la demande en électricité en fonction des secteurs, sans les pertes, avec autoconsommation pour le chargement de solutions de stockage et la production d'hydrogène. Efficacité = différence par rapport au scénario de référence.	24
Illustration 7 : Evolution de la production d'électricité pour les différentes technologies.	25
Illustration 8 : Modélisation de l'approvisionnement électrique de la Suisse en 2025 pour le scénario ADV. (Source : modèle énergétique SCS, résolution précise par jour, calculs Greenpeace)	28
Abbildung 9: Illustration 9 : Modélisation de l'approvisionnement électrique autochtone de la Suisse en 2030 pour le scénario ADV. (Source : modèle énergétique SCS, résolution précise par jour, calculs Greenpeace)	28
Illustration 10 : Modélisation de l'approvisionnement électrique de la Suisse en 2040 pour le scénario ADV. (Source : modèle énergétique SCS, résolution précise par jour, calculs Greenpeace)	29
Illustration 11 : Modélisation de l'approvisionnement électrique de la Suisse en 2050 pour le scénario ADV. Il n'y a pas de déficit d'approvisionnement, à aucun moment de l'année. (Source : modèle énergétique SCS, résolution précise par jour, calculs Greenpeace)	29
Illustration 12 : Répartition au quart d'heure de la production et de la consommation pour le scénario ADV pendant une semaine de printemps en 2050. (Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)	31
Illustration 13 : Répartition au quart d'heure de la production et de la consommation pour le scénario ADV pendant une semaine d'été en 2050. (Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)	31
Illustration 14 : Répartition au quart d'heure de la production et de la consommation pour le scénario ADV pendant une semaine d'automne en 2050. (Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)	32
Illustration 15 : Répartition au quart d'heure de la production et de la consommation pour le scénario ADV pendant une semaine d'hiver en 2050. (Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)	32
Illustration 16 : Evolution de la production de chaleur pour les différentes technologies de production.	34
Illustration 17 : Evolution du besoin en énergie finale dans les secteurs sans applications non énergétiques.	36
Illustration 18 : Evolution du besoin en énergie primaire en fonction de la source.	37
Illustration 19 : Evolution des émissions de gaz à effet de serre générées par la consommation autochtone de biens et de services, en Suisse et à l'étranger. (Source OFS, Indicateur GW016, Empreinte GES de la Suisse).	42

Illustration A1 : Bilans mensuels de la production et de la consommation pour le scénario ADV en 2025.
(Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace) **56**

Illustration A2 : Bilans mensuels de la production et de la consommation pour le scénario ADV en 2030.
(Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace) **56**

Illustration A3 : Bilans mensuels de la production et de la consommation pour le scénario ADV en 2040.
(Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace) **57**

Illustration A4 : Bilans mensuels de la production et de la consommation pour le scénario ADV en 2050.
(Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace) **57**

Index des tableaux

Tableau 1 : Valeurs d'intrants pour la modélisation de l'approvisionnement en 2025, 2030, 2040 et 2050 selon le scénario ADV. **27**

Tableau 2 : Tableaux de résultats du scénario de référence REF Electricity generation **50**

Tableau 3 : Tableaux de résultats du scénario de référence REF Installed Capacity **50**

Tableau 4 : Tableaux de résultats du scénario de référence REF Heat supply and air conditioning **50**

Tableau 5 : Tableaux de résultats du scénario de référence REF Transport - Final Energy **51**

Tableau 6 : Tableaux de résultats du scénario de référence REF Energy-Related CO₂ Emissions **51**

Tableau 7 : Tableaux de résultats du scénario de référence REF Primary Energy Demand **51**

Tableau 8 : Tableaux de résultats du scénario de référence REF Final Energy Demand **51**

Tableau 9 : Tableau de résultats du scénario Energy [R]evolution ER : Electricity generation **52**

Tableau 10 : Tableau de résultats du scénario Energy [R]evolution ER : Installed Capacity **52**

Tableau 11 : Tableau de résultats du scénario Energy [R]evolution ER : Heat supply and air conditioning **52**

Tableau 12 : Tableau de résultats du scénario Energy [R]evolution ER : Transport - Final Energy **53**

Tableau 13 : Tableau de résultats du scénario Energy [R]evolution ER : Energy-Related CO₂ Emissions **53**

Tableau 14 : Tableau de résultats du scénario Energy [R]evolution ER : Primary Energy Demand **53**

Tableau 15 : Tableau de résultats du scénario Energy [R]evolution ER : Final Energy Demand **53**

Tableau 16 : Tableau de résultats du scénario Advanced-Energy-[R]evolution ADV : Electricity generation **54**

Tableau 17 : Tableau de résultats du scénario Advanced-Energy-[R]evolution ADV : Installed Capacity **54**

Tableau 18 : Tableau de résultats du scénario Advanced-Energy-[R]evolution ADV : Heat supply and air conditioning **54**

Tableau 19 : Tableau de résultats du scénario Advanced-Energy-[R]evolution ADV : Transport - Final Energy **55**

Tableau 20 : Tableau de résultats du scénario Advanced-Energy-[R]evolution ADV : Energy-Related CO₂ Emissions **55**

Tableau 21 : Tableau de résultats du scénario Advanced-Energy-[R]evolution ADV : Primary Energy Demand **55**

Tableau 22 : Tableau de résultats du scénario Advanced-Energy-[R]evolution ADV : Final Energy Demand **55**

Tableau 23 : Switzerland—Population and GDP projections **58**

Tableau 24 : Switzerland: Development of GDP shares by industry sector and province (canton) (2018) **58**

Tableau 25 : Hypothèse d'évolution des coûts de l'énergie dans tous les scénarios **59**

Tableau 26 : Specific investment cost assumptions (in Swiss francs) for heating technologies in the scenarios until 2050 **59**

Tableau 27 : Investment cost assumptions for power generation plants (in CHF/kW) until 2050 **59**

Tableaux de résultats du scénario de référence REF

Tableau 2: Electricity generation [TWh/a]
¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Power plants	65.5	59.2	62.1	58.3	58.2	55.8	65.4	72.3	78.2
- Hard coal (& non-renewable waste)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.0	0.0	0.0	1.0	1.7	1.8	1.6	1.4	1.3
of which from H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.0
- Oil	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24.2	18.7	18.7	11.7	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
- Hydro	39.0	37.7	40.2	40.7	41.7	42.0	43.8	44.2	42.7
- Wind	0.1	0.1	0.2	1.0	1.5	2.0	2.6	3.5	4.7
of which wind offshore	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- PV	2.2	2.7	2.7	3.3	4.8	8.9	15.9	21.3	27.1
- Geothermal	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	1.0	1.3	1.7	2.1
- Solar thermal power plants	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Combined heat and power plants	3.7	3.5	4.1	4.4	4.8	5.2	5.6	6.1	6.7
- Hard coal (& non-renewable waste)	1.1	1.1	1.2	1.1	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.6	0.6	0.7	1.0	1.6	2.3	2.5	2.7	2.9
of which from H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.2	2.9
- Oil	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	1.8	1.7	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.4	3.8
- Geothermal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CHP by producer									
- Main activity producers	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
- Autoproducers	3.1	3.0	3.5	3.8	4.2	4.6	5.0	5.5	6.1
Total generation	69.2	62.8	66.2	62.7	63.0	61.0	71.0	78.5	84.8
- Fossil	1.9	1.8	2.1	3.2	4.0	4.2	3.8	2.6	0.3
- Hard coal (& non-renewable waste)	1.1	1.1	1.2	1.1	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.6	0.6	0.7	2.0	3.3	4.0	3.7	2.6	0.3
- Oil	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24.2	18.7	18.7	11.7	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.6	3.9
of which renewable H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.5	3.7
- Renewables (w/o renewable hydrogen)	43.2	42.2	45.4	47.8	51.5	56.7	66.8	74.2	80.6
- Hydro	39.0	37.7	40.2	40.7	41.7	42.0	43.8	44.2	42.7
- Wind	0.1	0.1	0.2	1.0	1.5	2.0	2.6	3.5	4.7
- PV	2.2	2.7	2.7	3.3	4.8	8.9	15.9	21.3	27.1
- Biomass (& renewable waste)	1.8	1.7	2.2	2.4	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0
- Geothermal	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	1.0	1.3	1.7	2.1
- Solar thermal power plants	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Distribution losses (incl. hydro pumpstorage)	4.2	3.9	4.7	4.6	4.7	4.9	5.1	5.4	5.6
Own consumption electricity	6.8	7.0	7.0	7.5	8.0	8.4	8.8	8.8	8.8
Domestic Electricity for hydrogen production	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	2.8
Electricity for synfuel production	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Final energy consumption (electricity)	56.6	53.2	60.5	59.8	59.9	62.4	65.4	69.7	73.1
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2.4	2.8	2.8	4.3	6.3	10.8	18.5	24.7	31.8
Share of variable RES	3%	4%	4%	7%	10%	18%	26%	32%	37%
RES share (domestic generation)	62%	67%	69%	76%	82%	93%	95%	97%	99%

Tableau 3: Installed Capacity [GW]
¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total generation	20	20	20	21	22	25	33	38	44
- Fossil	0	0	0	1	1	1	1	1	1
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas (w/o H2)	0	0	0	0	1	1	1	1	1
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Nuclear	3	3	3	2	1	0	0	0	0
- Hydrogen (fuel cells, gas power plants, gas CHP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Renewables	16	16	16	18	20	24	32	38	43
- Hydro	13	13	13	14	14	14	15	15	14
- Wind	0	0	0	1	1	1	1	2	3
of which wind offshore	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- PV	2	2	2	3	5	8	15	20	25
- Biomass (& renewable waste)	0.4	0.3	0.444	0.478	0.533	0.589	0.653	0.7	0.8
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2	3	3	4	5	9	16	22	28
Share of variable RES	11%	13%	13%	18%	24%	37%	50%	57%	63%
RES share (domestic generation)	81%	82%	82%	87%	90%	96%	97%	97%	98%

Tableau 4: Heat supply and air conditioning [PJ/a]
¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
District heating plants	19	17	21	23	26	25	24	23	22
- Fossil fuels	19	17	21	20	20	12	6	3	0
- Biomass	0	0	0	3	5	12	18	20	22
- Solar collectors	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heat from CHP 1)	17	16	19	20	20	20	22	26	34
- Fossil fuels	7	7	5	7	6	4	1	1	0
- Biomass	10	9	14	13	14	16	21	25	31
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Direct heating	298	280	304	268	238	215	200	154	138
- Fossil fuels	215	200	218	185	160	140	128	88	0
- Biomass	33	30	35	34	34	33	33	32	31
- Solar collectors	3	2	5	6	7	8	8	9	9
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	1
- Heat pumps 2)	0	0	0	0	0	0	1	1	1
- Electric direct heating	48	48	47	42	36	33	29	25	22
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	74
Total heat supply³⁾	333	313	344	311	283	259	246	204	194
- Fossil fuels	241	225	244	212	186	156	136	92	0
- Biomass	42	39	49	51	53	62	72	77	84
- Solar collectors	3	2	5	6	7	8	8	9	9
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	1
- Heat pumps 2)	0	0	0	0	0	0	1	1	1
- Electric direct heating	48	48	47	42	36	33	29	25	22
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	77
RES share (including RES electricity)	22%	23%	25%	28%	32%	39%	44%	54%	99%
electricity consumption heat pumps (TWh/a)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2

Tableau 5: Transport - Final Energy [PJ/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
road	222	206	222	200	180	158	129	110	85
- fossil fuels	215	199	215	189	160	126	85	54	0
- biofuels	7	6	6	7	12	13	15	16	31
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- electricity	0	0	1	4	9	18	29	40	54
rail	12	11	12	13	14	14	15	15	16
- fossil fuels	0	0	0	0	0	0	0	0	1
- biofuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- electricity	11	10	11	13	13	14	14	15	15
navigation	2	1	2	2	2	2	2	2	2
- fossil fuels	2	1	2	2	2	2	2	2	2
- biofuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aviation	3	3	2	3	3	3	3	3	3
- fossil fuels	3	3	2	3	3	3	3	3	3
- biofuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total (incl. pipelines)	238	221	238	217	198	176	149	141	275
- fossil fuels	219	204	219	194	164	131	90	59	5
- biofuels (incl. biogas)	7	6	6	7	12	13	15	16	31
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	59
- natural gas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	1	12	110
- electricity	11	10	12	17	22	32	43	54	69
total RES	14	13	15	19	30	43	57	80	268
RES share	14%	35%	6%	9%	14%	23%	35%	45%	99%

Tableau 6: Energy-Related CO₂ Emissions [Million tons/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Condensation power plants	0	0	0	0	1	1	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	1	1	0	0	0
- Oil & Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combined heat and power plants	2	2	2	2	2	1	1	1	2
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	1	1	1	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	1	1	1	1	1	1
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ emissions power and CHP plants	2	2	2	2	2	2	2	2	2
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	2	1	1	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	1	1	2	2	2	1
- Oil & diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ intensity (g/kWh) without credit for CHP heat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CO ₂ intensity fossil electr. generation	988	987	974	736	569	470	490	671	4727
- CO ₂ intensity total electr. generation	27	28	31	38	36	33	26	22	18
CO₂ emissions by sector	39	36	40	35	29	24	19	13	0
- % of 1990 emissions (Mill t)	92%	86%	95%	84%	70%	58%	46%	32%	1%
- Industry 1)	6	6	6	5	5	4	3	3	0
- Other sectors 1)	13	12	14	12	10	8	8	4	0
- Transport	17	15	16	14	11	9	6	5	0
- Power generation 2)	0	0	0	1	1	1	1	1	0
- Other conversion 3)	2	2	3	3	2	1	0	0	0
Population (Mill.)	5	4	5	4	3	2	2	1	0
CO₂ emissions per capita (t/capita)	9	9	9	9	9	10	10	10	10

Tableau 7: Primary Energy Demand [PJ/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total	1012	909	1027	913	824	716	699	647	641
- Fossil	532	495	577	518	443	377	313	219	22
- Hard coal	28	27	28	24	16	7	2	0	0
- Lignite	3	2	0	0	0	0	0	0	0
- Natural gas	146	136	153	156	161	152	148	117	0
- Crude oil	355	330	396	338	266	219	164	103	21
- Nuclear	256	198	197	122	77	0	0	0	0
- Renewables	224	215	253	274	304	338	386	428	619
- Hydro	140	136	145	147	150	151	158	159	154
- Wind	0	0	1	3	5	7	9	13	17
- Solar	11	12	14	18	25	40	66	86	107
- Biomass	72	67	86	92	97	109	120	124	131
- Geothermal	0	0	7	15	27	31	32	34	41
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
of which non-energy use	19	18	20	21	21	21	21	21	21
Total RES	220	219	268	300	332	388	414	450	638
RES share	22%	24%	25%	31%	38%	50%	57%	67%	97%

Tableau 8: Final Energy Demand [PJ/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total (incl. non-Energy use)	759	705	778	717	648	606	566	512	492
Total Energy use 1)	740	688	758	696	627	585	545	491	471
Transport	238	221	238	215	177	160	134	130	128
- Oil products	219	204	218	193	149	122	85	69	0
- Natural gas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
- Biofuels	7	6	6	6	6	6	6	7	7
- Synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	59
- Electricity	11	10	14	17	22	32	43	54	62
RES electricity	7	7	9	13	18	30	41	53	62
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Transport	6%	6%	6%	9%	14%	23%	35%	45%	99%
Industry	145	134	146	137	129	124	116	110	101
- Electricity	62	58	66	62	59	58	56	55	54
RES electricity	39	39	45	48	48	54	53	53	53
- Public district heat	7	7	7	7	7	7	7	7	7
RES district heat	1	1	1	1	1	1	2	2	2
- Hard coal & lignite	14	13	11	9	7	5	2	0	0
- Oil products	12	11	14	11	8	6	4	2	1
- Gas	39	37	36	36	35	34	33	32	25
- Solar	0	0	1	1	1	1	1	1	1
- Biomass	10	9	11	11	11	11	12	12	11
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	1	2
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Industry	34%	36%	39%	44%	48%	55%	59%	62%	69%
Other Sectors	357	332	374	343	321	301	295	251	242
- Electricity	134	125	139	136	135	135	136	139	142
RES electricity	84	84	95	104	110	126	129	134	141
- Public district heat	13	12	15	16	19	18	17	17	16
RES district heat	2	2	2	3	4	4	4	5	5
- Hard coal & lignite	2	2	0	0	0	0	0	0	0
- Oil products	104	97	114	89	71	58	47	6	0
- Gas	72	67	72	67	62	56	61	56	51
- Solar	2	2	4	5	6	7	7	8	8
- Biomass	29	27	31	30	29	28	27	26	25
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Other Sectors	33%	35%	35%	41%	46%	55%	57%	69%	74%
Total RES	181	177	205	221	235	268	282	300	377
RES share	24%	26%	27%	32%	37%	46%	52%	61%	80%
Non energy use	19	18	20	21	21	21	21	21	21
- Oil	19	18	20	21	21	21	21	21	21
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Coal	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau de résultats du scénario Energy [R]evolution ER

Tableau 9: Electricity generation [TWh/a]
¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Power plants	65.5	59.2	62.1	58.3	58.2	55.8	65.4	72.3	78.2
- Hard coal (& non-renewable waste)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.0	0.0	0.0	1.0	1.7	1.8	1.6	1.4	1.3
of which from H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.0
- Oil	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24.2	18.7	18.7	11.7	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
- Hydro	39.0	37.7	40.2	40.7	41.7	42.0	43.8	44.2	42.7
- Wind	0.1	0.1	0.2	1.0	1.5	2.0	2.6	3.5	4.7
of which wind offshore	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- PV	2.2	2.7	2.7	3.3	4.8	8.9	15.9	21.3	27.1
- Geothermal	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	1.0	1.3	1.7	2.1
- Solar thermal power plants	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Combined heat and power plants	3.7	3.5	4.1	4.4	4.8	5.2	5.6	6.1	6.7
- Hard coal (& non-renewable waste)	1.1	1.1	1.2	1.1	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.6	0.6	0.7	1.0	1.6	2.3	2.5	2.7	2.9
of which from H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.2	2.9
- Oil	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	1.8	1.7	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.4	3.8
- Geothermal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CHP by producer									
- Main activity producers	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
- Autoproducers	3.1	3.0	3.5	3.8	4.2	4.6	5.0	5.5	6.1
Total generation	69.2	62.8	66.2	62.7	63.0	61.0	71.0	78.5	84.8
- Fossil	1.9	1.8	2.1	3.2	4.0	4.2	3.8	2.6	0.3
- Hard coal (& non-renewable waste)	1.1	1.1	1.2	1.1	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.6	0.6	0.7	2.0	3.3	4.0	3.7	2.6	0.3
- Oil	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24.2	18.7	18.7	11.7	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.6	3.9
of which renewable H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.5	3.7
- Renewables (w/o renewable hydrogen)	43.2	42.2	45.4	47.8	51.5	56.7	66.8	74.2	80.6
- Hydro	39.0	37.7	40.2	40.7	41.7	42.0	43.8	44.2	42.7
- Wind	0.1	0.1	0.2	1.0	1.5	2.0	2.6	3.5	4.7
- PV	2.2	2.7	2.7	3.3	4.8	8.9	15.9	21.3	27.1
- Biomass (& renewable waste)	1.8	1.7	2.2	2.4	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0
- Geothermal	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	1.0	1.3	1.7	2.1
- Solar thermal power plants	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Distribution losses (incl. hydro pumpstorage)	4.2	3.9	4.7	4.6	4.7	4.9	5.1	5.4	5.6
Own consumption electricity	6.8	7.0	7.0	7.5	8.0	8.4	8.8	8.8	8.8
Domestic Electricity for hydrogen production	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	2.8
Electricity for synfuel production	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Final energy consumption (electricity)	56.6	53.2	60.5	59.8	59.9	62.4	65.4	69.7	73.1
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2.4	2.8	2.8	4.3	6.3	10.8	18.5	24.7	31.8
Share of variable RES	3%	4%	4%	7%	10%	18%	26%	32%	37%
RES share (domestic generation)	62%	67%	69%	76%	82%	93%	95%	97%	99%

Tableau 10: Installed Capacity [GW]
¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total generation	20	20	20	21	22	25	33	38	44
- Fossil	0	0	0	1	1	1	1	1	1
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas (w/o H2)	0	0	0	0	1	1	1	1	1
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Nuclear	3	3	3	2	1	0	0	0	0
- Hydrogen (fuel cells, gas power plants, gas CHP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Renewables	16	16	16	18	20	24	32	38	43
- Hydro	13	13	13	14	14	14	15	15	14
- Wind	0	0	0	1	1	1	1	2	3
of which wind offshore	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- PV	2	2	2	3	5	8	15	20	25
- Biomass (& renewable waste)	0.4	0.3	0.444	0.478	0.533	0.589	0.653	0.7	0.8
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2	3	3	4	5	9	16	22	28
Share of variable RES	11%	13%	13%	18%	24%	37%	50%	57%	63%
RES share (domestic generation)	81%	82%	82%	87%	90%	96%	97%	97%	98%

Tableau 11: Heat supply and air conditioning [PJ/a]
¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
District heating plants	19	17	17	19	18	17	16	15	13
- Fossil fuels	19	17	17	17	6	0	0	0	0
- Biomass	0	0	0	1	11	15	14	12	10
- Solar collectors	0	0	0	0	1	2	2	3	3
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heat from CHP 1)	17	16	24	25	25	27	27	26	26
- Fossil fuels	7	7	3	10	4	0	1	0	0
- Biomass	10	9	22	15	22	27	25	0	0
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Direct heating	298	280	291	242	210	185	169	150	141
- Fossil fuels	215	200	209	143	92	41	20	0	0
- Biomass	33	30	32	24	24	26	26	23	15
- Solar collectors	3	2	3	13	26	25	31	30	35
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Heat pumps 2)	0	0	1	18	47	80	82	88	82
- Electric direct heating 2)	48	48	48	43	20	13	9	8	8
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total heat supply3)	333	313	333	285	254	229	211	191	180
- Fossil fuels	241	225	228	170	102	41	21	1	0
- Biomass	42	39	54	40	57	68	65	61	50
- Solar collectors	3	2	3	14	27	27	34	32	38
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Heat pumps 2)	0	0	1	18	47	80	82	88	82
- Electric direct heating 2)	48	48	48	43	20	13	9	8	8
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share (including RES electricity)	22%	23%	27%	39%	60%	82%	90%	100%	100%
electricity consumption heat pumps (TWh/a)	0.0	0.0	0.2	1.0	4.3	5.8	6.1	5.8	5.3

Tableau 12: Transport - Final Energy [PJ/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
road	222	206	214	192	164	103	83	84	89
- fossil fuels	215	199	211	184	143	40	6	0	0
- biofuels	7	6	2	2	4	5	8	11	13
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	0	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- electricity	0	0	2	5	17	58	68	73	76
rail	12	11	12	13	13	14	14	14	15
- fossil fuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- electricity	11	10	12	13	13	14	14	14	15
navigation	2	1	2	2	2	2	2	2	2
- fossil fuels	2	1	2	1	1	0	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	1	2	2	2
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aviation	3	3	2	2	2	2	2	2	3
- fossil fuels	3	3	2	2	2	2	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	1	2	2	3
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total (incl. pipelines)	238	221	231	211	185	127	109	112	119
- fossil fuels	219	204	215	188	147	42	6	0	0
- biofuels (incl. biogas)	7	6	2	2	4	7	12	15	17
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	0	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	1	2	3	4	5
- electricity	11	10	13	18	31	72	82	87	90
total RES	14	13	11	19	35	81	97	106	112
RES share	6%	35%	5%	10%	20%	66%	93%	99%	100%

Tableau 13: Energy-Related CO₂ Emissions [Million tons/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Condensation power plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil & Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combined heat and power plants	2	2	2	2	1	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	1	1	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ emissions power and CHP plants	2	2	2	2	1	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	1	1	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil & diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ intensity (g/kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
without credit for CHP heat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CO ₂ intensity fossil electr. generation	988	987	967	1'002	855	1'108	1'031	533	402
- CO ₂ intensity total electr. generation	27	28	29	28	11	4	3	1	1
CO₂ emissions by sector	39	36	38	31	21	7	2	0	0
- % of 1990 emissions (Mill t)	92%	86%	90%	74%	51%	16%	5%	0%	0%
- Industry 1)	6	6	5	5	2	1	0	0	0
- Other sectors 1)	13	12	13	9	6	2	1	0	0
- Transport	17	15	16	14	11	3	1	0	0
- Power generation 2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Other conversion 3)	2	2	3	3	2	1	0	0	0
Population (Mill.)	9	9	9	9	9	10	10	10	10
CO₂ emissions per capita (t/capita)	5	4	4	3	2	1	0	0	0

Tableau 14: Primary Energy Demand [PJ/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total	1012	909	976	782	699	602	562	554	559
- Fossil	532	495	541	443	311	115	46	15	13
- Hard coal (& non-renewable waste)	28	27	22	26	6	2	2	0	0
- Lignite	3	2	0	0	0	0	0	0	0
- Natural gas	146	136	150	110	77	45	23	1	0
- Crude oil	355	330	369	307	228	68	21	14	13
- Nuclear	256	198	204	42	0	0	0	0	0
- Renewables	224	215	231	298	387	487	516	539	545
- Hydro	140	136	145	146	147	148	148	148	148
- Wind	0	0	1	4	9	11	14	17	18
- Solar	11	12	12	60	88	138	150	161	180
- Biomass (& renewable waste)	72	67	70	70	103	123	128	126	116
- Geothermal	0	0	3	17	41	68	76	86	83
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- of which non-energy use	19	18	16	14	14	14	13	13	13
- Total RES	220	219	231	298	387	487	516	539	545
- RES share	22%	24%	23%	37%	54%	80%	91%	97%	98%

Tableau 15: Final Energy Demand [PJ/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total (incl. non-energy use)	759	705	748	662	598	491	446	428	428
Total energy use 1)	740	688	732	648	584	477	432	415	415
Transport	238	221	233	212	185	125	105	108	114
- Oil products	219	204	217	190	148	42	6	0	0
- Natural gas	1	1	0	0	0	0	0	0	0
- Biofuels	7	6	2	2	4	7	12	15	17
- Synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Electricity	11	10	13	18	31	72	82	87	90
RES electricity	7	7	9	16	30	72	82	87	90
- Hydrogen	0	0	1	2	2	3	4	5	7
RES share Transport	6%	6%	5%	10%	20%	66%	93%	99%	100%
Industry	145	134	140	125	120	112	108	102	97
- Electricity	62	58	65	61	63	60	60	57	54
RES electricity	39	39	45	56	62	60	60	57	54
- Public district heat	7	7	6	6	5	5	5	4	4
RES district heat	1	1	1	1	1	3	4	4	4
- Hard coal & lignite	14	13	5	12	1	0	0	0	0
- Oil products	12	11	17	12	9	5	0	0	0
- Gas	39	37	37	20	11	6	3	0	0
- Solar	0	0	0	3	9	3	5	6	6
- Biomass	10	9	9	9	11	18	20	19	17
- Geothermal	0	0	0	2	11	15	16	16	15
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Industry	34%	36%	40%	57%	80%	88%	96%	99%	100%
Other Sectors	357	332	359	310	279	241	219	206	204
- Electricity	134	125	138	134	118	112	107	111	116
RES electricity	84	84	95	122	117	112	106	111	116
- Public district heat	13	12	13	14	15	14	13	12	11
RES district heat	2	2	4	6	7	10	10	11	11
- Hard coal & lignite	2	2	2	0	1	0	1	0	0
- Oil products	104	97	103	72	46	5	0	0	0
- Gas	72	67	72	50	42	30	17	0	0
- Solar	2	2	2	10	17	22	27	24	30
- Biomass	29	27	29	20	17	14	11	9	1
- Geothermal	0	0	0	11	23	42	44	49	46
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Other Sectors	33%	35%	36%	54%	65%	83%	91%	99%	100%
Total RES	181	177	197	260	313	381	400	412	414
RES share	24%	26%	27%	40%	54%	80%	93%	99%	100%
Non energy use	19	18	16	14	14	14	13	13	13
- Oil	19	18	16	14	14	14	13	13	13
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Coal	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau de résultats du scénario Advanced-Energy-[R]evolution ADV

Tableau 16: Electricity generation [TWh/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Power plants	66	59.2	61.8	58.6	64.8	77.5	86.5	90.4	96.0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
of which from H2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Oil	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24	18.7	18.7	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.7	1.0	1.5	1.5
- Hydro	39	37.7	40.2	40.6	40.8	41.0	41.0	41.2	41.2
- Wind	0	0.1	0.2	1.3	4.0	5.1	5.6	5.7	5.8
of which wind offshore	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- PV	2	2.7	2.7	12.7	19.0	30.6	38.8	41.8	47.3
- Geothermal	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
- Solar thermal power plants	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Combined heat and power plants	4	3.5	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1.1	1.1	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	1	0.6	0.6	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
of which from H2	0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
- Oil	0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	2	1.7	1.9	2.0	3.1	3.6	3.8	3.8	3.8
- Geothermal	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CHP by producer									
- Main activity producers	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
- Autoproducers	3	3.0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Total generation	69	62.8	65.6	62.4	68.6	81.3	90.3	94.1	99.8
- Fossil	2	1.8	1.9	2.1	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1.1	1.1	1.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	1	0.6	0.7	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
- Oil	0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24	18.7	18.7	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
of which renewable H2	0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
- Renewables (w/o renewable hydrogen)	43	42.2	45.0	57.0	67.8	81.1	90.2	94.1	99.7
- Hydro	39	37.7	40.2	40.6	40.8	41.0	41.0	41.2	41.2
- Wind	0	0.1	0.2	1.3	4.0	5.1	5.6	5.7	5.8
- PV	2	2.7	2.7	12.7	19.0	30.6	38.8	41.8	47.3
- Biomass (& renewable waste)	2	1.7	1.9	2.5	3.9	4.3	4.8	5.2	5.2
- Geothermal	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
- Solar thermal power plants	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Distribution losses (incl. hydro pumpstorage)	4	3.9	4.6	4.6	4.2	5.0	5.0	4.7	4.9
Own consumption electricity	7	7.0	6.8	7.8	8.4	9.0	9.6	10.3	11.1
Domestic Electricity for hydrogen production	0	0.0	0.0	0.0	1.4	3.0	4.0	4.9	5.2
Electricity for synfuel production	0	0.0	0.0	0.0	1.7	3.7	7.7	8.8	10.9
Final energy consumption (electricity)	57	53.2	59.6	59.0	54.5	63.9	63.8	60.7	63.2
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2	2.8	2.8	13.9	23.0	35.7	44.4	47.5	53.1
Share of variable RES	3%	4%	4%	22%	34%	44%	49%	50%	53%
RES share (domestic generation)	62%	67%	69%	91%	99%	100%	100%	100%	100%

Tableau 17: Installed Capacity [GW]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total generation	20	20	20	28	34	45	53	56	61
- Fossil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas (w/o H2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Nuclear	3	3	3	1	0	0	0	0	0
- Hydrogen (fuel cells, gas power plants, gas CHP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Renewables	16	16	16	26	34	45	53	56	61
- Hydro	13	13	13	14	14	14	14	14	14
- Wind	0	0	0	0.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
of which wind offshore	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- PV	2	2	2	12	18	29	36	39	44
- Biomass (& renewable waste)	0.4	0.3	0.366	0.472	0.735	0.819	0.905	1.015	1.015
- Geothermal	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2	3	3	12	20	31	39	41	47
Share of variable RES	11%	13%	13%	45%	58%	68%	73%	74%	76%
RES share (domestic generation)	81%	82%	81%	96%	99%	100%	100%	100%	100%

Tableau 18: Heat supply and air conditioning [PJ/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
District heating plants	19	17	18	17	17	15	11	10	10
- Fossil fuels	19	17	17	16	6	0	0	0	0
- Biomass	0	0	0	1	10	13	9	8	8
- Solar collectors	0	0	0	1	2	2	2	2	2
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heat from CHP 1)	17	16	24	25	26	26	27	26	26
- Fossil fuels	7	7	2	11	3	0	0	0	0
- Biomass	10	9	22	13	23	26	26	26	26
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Direct heating	298	280	291	230	188	178	164	144	133
- Fossil fuels	215	200	211	114	84	34	15	1	0
- Biomass	33	30	31	32	31	22	24	23	14
- Solar collectors	3	2	3	26	31	34	34	33	33
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Heat pumps 2)	0	0	1	18	23	78	81	83	78
- Electric direct heating	48	48	45	41	18	10	9	4	8
- Hydrogen	0	0	0	0	3	7	8	9	9
Total heat supply3)	333	313	333	272	233	226	209	189	178
- Fossil fuels	241	225	230	141	92	34	15	1	0
- Biomass	42	39	54	47	64	62	59	57	48
- Solar collectors	3	2	3	26	33	36	35	34	35
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Heat pumps 2)	0	0	1	18	23	78	81	83	78
- Electric direct heating 2)	48	48	45	41	18	10	9	4	8
- Hydrogen	0	0	0	0	3	7	8	9	9
RES share (including RES electricity)	22%	23%	27%	47%	60%	85%	93%	99%	100%
electricity consumption heat pumps (TWh/a)	0.0	0.0	0.2	0.9	1.3	5.6	5.9	5.7	5.1

Tableau 19: Transport - Final Energy [PJ/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
road	222	206	212	171	124	68	62	54	51
- fossil fuels	215	199	209	161	100	11	7	0	0
- biofuels	7	6	2	2	2	2	3	2	1
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	0	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	2	4	5
- electricity	0	0	2	7	22	55	50	48	45
rail	12	11	13	14	14	15	15	16	16
- fossil fuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- electricity	11	10	13	14	14	15	15	16	16
navigation	2	1	1	1	1	1	1	2	2
- fossil fuels	2	1	1	1	1	1	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	1	1	2	2
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aviation	3	3	2	2	2	1	1	1	1
- fossil fuels	3	3	2	2	1	1	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	1	1	1	1
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total (incl. pipelines)	238	221	230	189	142	86	81	73	71
- fossil fuels	219	204	213	165	102	12	7	0	0
- biofuels (incl. biogas)	7	6	2	2	3	4	5	5	4
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	0	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	2	4	5
- electricity	11	10	15	21	36	69	65	64	61
total RES	14	13	12	21	39	73	73	72	70
RES share	6%	35%	5%	11%	27%	84%	91%	100%	100%

Tableau 20: Energy-Related CO₂ Emissions [Million tons/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Condensation power plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil & Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combined heat and power plants	2	2	2	2	1	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	1	1	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ emissions power and CHP plants	2	2	2	2	1	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	1	2	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil & diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ intensity (g/kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
without credit for CHP heat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CO ₂ intensity fossil electr. generation	988	987	981	989	771	464	357	352	168
- CO ₂ intensity total electr. generation	27	28	29	33	9	1	0	0	0
CO₂ emissions by sector	39	36	39	26	17	4	2	0	0
- % of 1990 emissions (Mill t)	92%	86%	93%	63%	41%	10%	4%	0%	0%
- Industry 1)	6	6	6	4	2	1	0	0	0
- Other sectors 1)	13	12	13	7	6	2	1	0	0
- Transport	17	15	16	12	8	1	1	0	0
- Power generation 2)	0	0	0	1	0	0	0	0	0
- Other conversion 3)	2	2	3	2	1	0	0	0	0
Population (Mill.)	9	9	9	9	9	10	10	10	10
CO₂ emissions per capita (t/capita)	5	4	4	3	2	0	0	0	0

Tableau 21: Primary Energy Demand [PJ/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total	1012	909	983	728	631	548	552	541	545
- Fossil	532	495	553	380	247	76	39	13	11
- Hard coal (& non-renewable waste)	28	27	33	48	39	1	0	0	0
- Lignite	3	2	0	0	0	0	0	0	0
- Natural gas	146	136	137	118	66	39	19	1	0
- Crude oil	355	330	383	214	141	36	20	12	11
- Nuclear	256	198	204	36	0	0	0	0	0
- Renewables	224	215	227	312	384	473	513	528	534
- Hydro	140	136	145	146	147	148	148	148	148
- Wind	0	0	1	5	14	18	20	21	21
- Solar	11	12	12	71	100	144	174	183	204
- Biomass (& re-newable waste)	72	67	68	77	106	106	111	113	101
- Geothermal	0	0	1	13	17	56	60	63	60
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- of which non-energy use	19	18	16	14	14	13	12	12	11
- Total RES	220	219	227	312	384	473	513	528	531
- RES share	22%	24%	23%	41%	60%	84%	93%	101%	100%

Tableau 22: Final Energy Demand [PJ/a]

¹ Estimation GDP decrease ² No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total (incl. non-energy use)	759	705	747	599	494	442	417	383	378
Total energy use 1)	740	688	731	585	480	429	404	371	366
Transport	238	221	231	190	143	86	80	73	70
- Oil products	219	204	214	166	103	13	7	0	0
- Natural gas	1	1	0	0	0	0	0	0	0
- Biofuels	7	6	2	2	3	4	5	5	4
- Synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Electricity	11	10	15	21	36	69	65	64	61
RES electricity	7	7	10	19	36	69	65	64	61
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	2	4	5
RES share Transport	6%	6%	5%	11%	27%	84%	91%	100%	100%
Industry	145	134	139	120	115	114	110	104	103
- Electricity	62	58	64	61	57	65	65	61	64
RES electricity	39	39	44	56	56	65	65	61	64
- Public district heat	7	7	6	5	5	3	0	0	0
RES district heat	1	1	1	1	1	1	0	0	0
- Hard coal & lignite	14	13	18	9	6	0	0	0	0
- Oil products	12	11	17	11	9	5	0	0	0
- Gas	39	37	25	21	18	14	13	10	9
- Solar	0	0	0	3	9	3	4	6	6
- Biomass	10	9	9	7	7	10	12	11	10
- Geothermal	0	0	0	2	3	15	16	15	14
- Hydrogen	0	0	0	0	0	3	7	8	9
RES share Industry	34%	36%	39%	57%	67%	84%	94%	98%	100%
Other Sectors	357	332	361	275	223	228	214	195	193
- Electricity	134	125	136	131	103	96	100	94	103
RES electricity	84	84	93	119	102	96	100	94	103
- Public district heat	13	12	12	13	13	14	13	12	12
RES district heat	2	2	4	7	7	11	11	11	12
- Hard coal & lignite	2	2	2	0	1	0	1	0	0
- Oil products	104	97	108	11	11	5	0	0	0
- Gas	72	67	72	56	29	23	10	0	0
- Solar	2	2	2	23	23	31	29	27	28
- Biomass	29	27	29	31	30	17	16	16	6
- Geothermal	0	0	0	10	13	41	44	46	44
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Other Sectors	33%	35%	36%	69%	78%	86%	94%	99%	100%
Total RES	181	177	194	281	290	364	377	368	366
RES share	24%	26%	27%	48%	60%	85%	93%	99%	100%
Non energy use	19	18	16	14	14	13	12	12	11
- Oil	19	18	16	14	14	13	12	12	11
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Coal	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bilan mensuel de l’approvisionnement électrique dans le scénario ADV

Illustration A1 : Bilans mensuels de la production et de la consommation pour le scénario ADV en 2025. (Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)

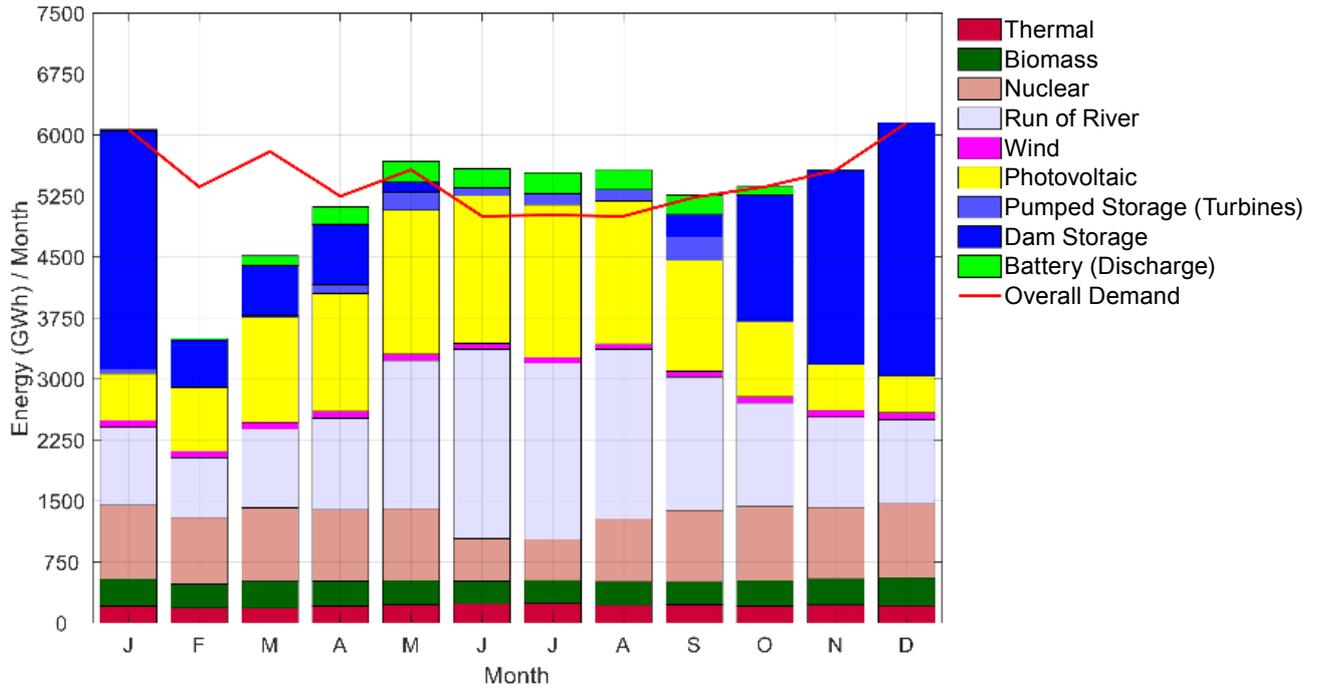


Illustration A2 : Bilans mensuels de la production et de la consommation pour le scénario ADV en 2030. (Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)

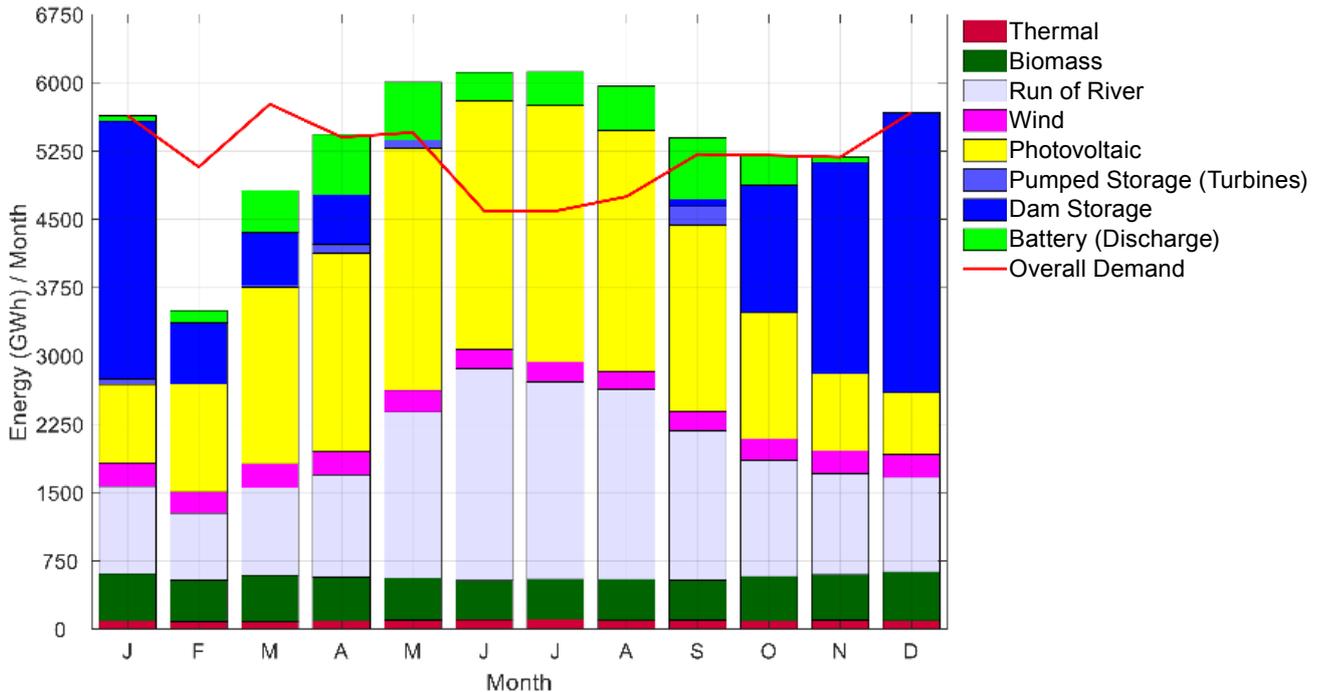


Illustration A3 : Bilans mensuels de la production et de la consommation pour le scénario ADV en 2040. (Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)

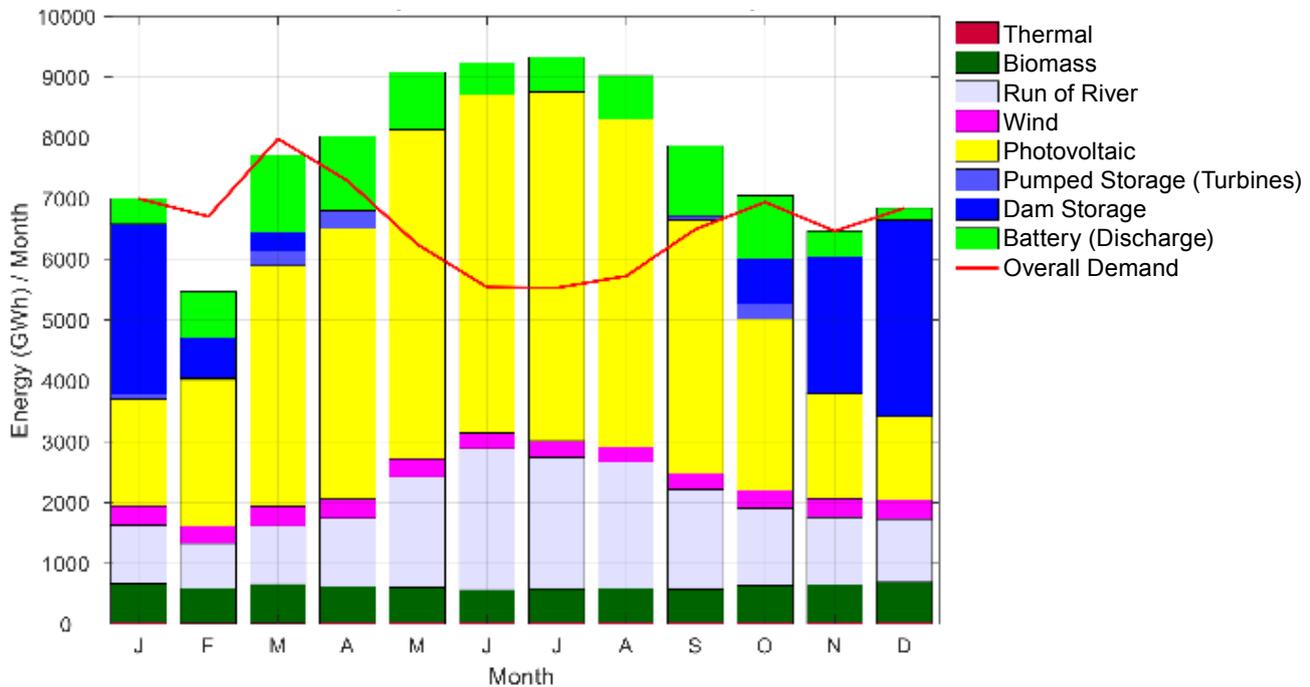
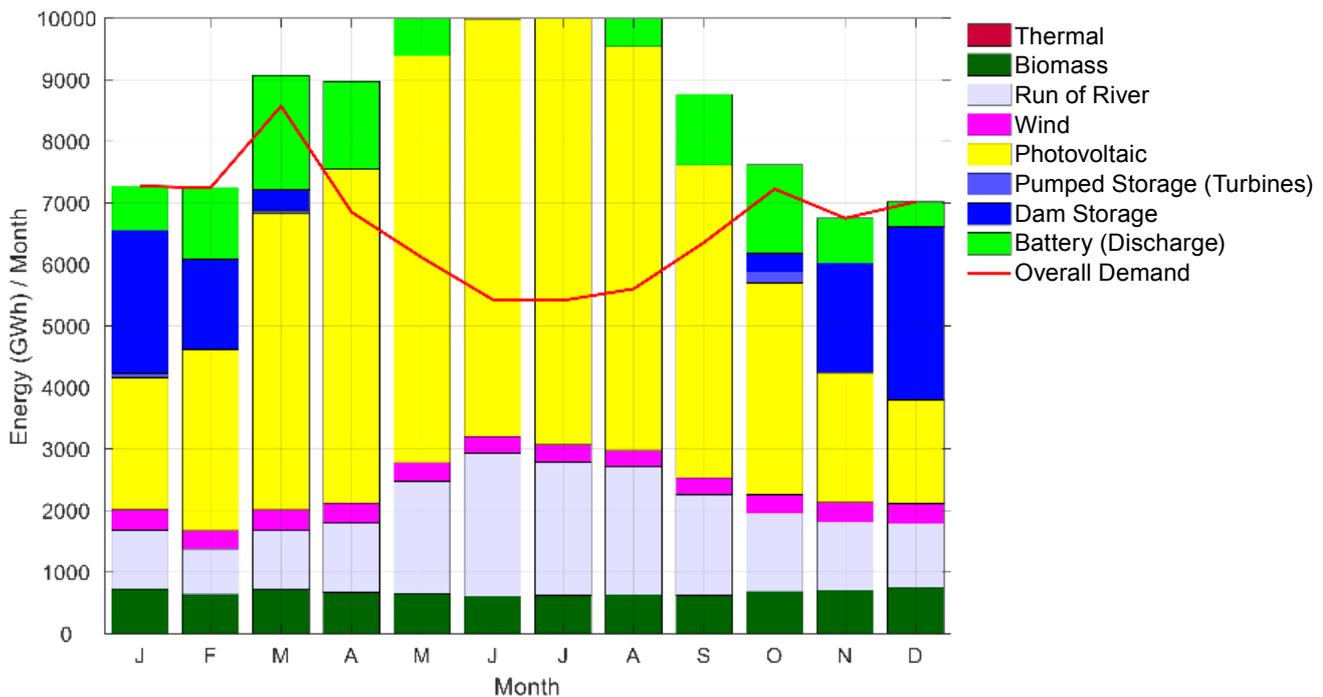


Illustration A4 : Bilans mensuels de la production et de la consommation pour le scénario ADV en 2050. (Source : modèle énergétique SCS, calculs Greenpeace)



Hypothèses de croissance de l'économie et de la population

Tableau 23: Switzerland—Population and GDP projections

	2018	2020		2025	2030	2035	2040	2045	2050
		Reduced	Stable						
GDP [billion CHF/a]	633	590	652	691	731	772	814	846	880
GDP/Person [CHF/capita]	73,472	66,636	73,613	75,272	77,045	78,682	81,464	83,578	85,836
Population [million]	8.6	8.7	9.2	9.5	9.8	10.0	10.1	10.3	
		2020		2020 – 2025	2025 – 2030	2030 – 2035	2035 – 2040	2040 – 2045	2045 – 2050
Economic growth [%/a]		-7.7%	+1.00%	1.15%	1.15%	1.10%	1.05%	0.78%	0.80%
Population growth [%/a]		0.60%		0.70%	0.68%	0.68%	0.35%	0.27%	0.26%

Tableau 24: Switzerland: Development of GDP shares by industry sector and province (canton) (2018)

Cluster Name	Canton	GDP 2017 [Million CHF]	Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei		Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, Herstellung von Waren, Bau		Gesundheitswesen, Finanzdienstleistungen Kunst, Kultur, Öffentliche Verwaltung, private Haushalte als Hersteller	
			Agriculture	Agriculture [%]	Industry	Industry [%]	Service	Service [%]
West (1)	Freiburg	18,154	293	1.6%	5,230	29%	12,632	70%
West (1)	Waadt	52,207	552	1.1%	9,730	19%	41,925	80%
West (1)	Neuenburg	14,993	88	0.6%	7,060	47%	7,844	52%
West (1)	Genf	47,970	122	0.3%	6,619	14%	41,230	86%
Wallis (South West) (2)	Wallis	17,907	262	1.5%	4,444	25%	13,201	74%
Bern-Basel (Centre West) (3)	Bern	75,920	657	0.9%	16,752	22%	58,511	77%
Bern-Basel (Centre West) (3)	Solothurn	17,223	80	0.5%	4,917	29%	12,227	71%
Bern-Basel (Centre West) (3)	Basel-Stadt	34,584	4	0.0%	17,094	49%	17,486	51%
Bern-Basel (Centre West) (3)	Basel- Landschaft	19,808	70	0.4%	4,613	23%	15,124	76%
Bern-Basel (Centre West) (3)	Jura	4,509	57	1.3%	1,998	44%	2,454	54%
Centre North (4)	Luzern	26,153	407	1.6%	7,423	28%	18,323	70%
Centre North (4)	Uri	1,861	6	0.3%	605	33%	1,250	67%
Centre North (4)	Schwyz	9,150	51	0.6%	2,446	27%	6,654	73%
Centre North (4)	Obwalden	2,434	29	1.2%	1,003	41%	1,402	58%
Centre North (4)	Nidwalden	2,952	18	0.6%	1,127	38%	1,806	61%
Centre North (4)	Zug	18,160	44	0.2%	4,651	26%	13,466	74%
Centre North (4)	Aargau	40,316	303	0.8%	10,702	27%	29,312	73%
Tessin (South) (5)	Tessin	27,614	80	0.3%	6,872	25%	20,662	75%
Graubünden (South) (6)	Graubünden	13,589	85	0.6%	3,137	23%	10,366	76%
Zürich & Centre North East (7)	Zürich	138,168	392	0.3%	18,888	14%	118,888	86%
Zürich & Centre North East (7)	Glarus	2,681	12	0.5%	1,033	39%	1,635	61%
Zürich & Centre North East (7)	Schaff- hausen	6,723	62	0.9%	2,822	42%	3,839	57%
Zürich & Centre North East (7)	Appenzell I. Rh.	960	21	2.2%	341	35%	598	62%
Zürich & Centre North East (7)	Appenzell A. Rh.	3,010	33	1.1%	1,113	37%	1,864	62%
Zürich & Centre North East (7)	St. Gallen	35,676	274	0.8%	12,364	35%	23,038	65%
Zürich & Centre North East (7)	Thurgau	15,901	389	2.4%	5,585	35%	9,927	62%

Hypothèses sur les coûts de l'énergie et des technologies

Tableau 25: Hypothèse d'évolution des coûts de le l'énergie dans tous les scénarios

Development projections for fuel prices						
All Scenarios		2017	2020	2030	2040	2050
Biomass	\$/GJ	7.70	13.65	20.00	26.00	30.00
Synthetic Fuels	\$/GJ	–	–	20.00	26.00	30.00
Oil	\$/GJ	8.5	12.3	21.5	24.2	35.1
Gas	\$/GJ	2.5	3.3	5.5	6.2	8.9
Coal	\$/GJ	2.9	3.3	4.2	4.4	5.3

Tableau 26: Specific investment cost assumptions (in Swiss francs) for heating technologies in the scenarios until 2050

Investment costs for heat generation plants							
		2017	2020	2030	2040	2050	
Geothermal	CHF/kW	2533	2406	2152	1908	1685	
Heat pumps	CHF/kW	1897	1844	1738	1632	1537	
Biomass heat plants	CHF/kW	636	615	583	541	509	
Residential biomass stoves, ovens	Industrialized countries	CHF/kW	890	859	806	763	721
	Industry	CHF/kW	901	869	774	689	583
Solar collectors	In heat grids	CHF/kW	1028	1028	1028	1028	1028
	Residential	CHF/kW	1124	1071	965	848	721

Tableau 27: Investment cost assumptions for power generation plants (in CHF/kW) until 2050

Assumed Investment Costs for Power Generation Plants						
		2017	2020	2030	2040	2050
CHP Coal	CHF/kW	2650	2650	2650	2650	2650
CHP Gas	CHF/kW	1060	1060	1060	1060	1060
CHP Lignite	CHF/kW	2650	2650	2650	2650	2650
CHP Oil	CHF/kW	1389	1367	1314	1251	1198
Coal power plant	CHF/kW	2120	2120	2120	2120	2120
Diesel generator	CHF/kW	954	954	954	954	954
Gas power plant	CHF/kW	638	530	530	530	710
Lignite power plant	CHF/kW	2332	2332	2332	2332	2332
Nuclear power plants	CHF/kW	6996	6360	5406	4770	4770
Oil power plant	CHF/kW	1007	986	943	912	869
Renewables						
CHP Biomass***	CHF/kW	2703	2650	2597	2491	2385
CHP Fuel cell	CHF/kW	5300	5300	2650	2650	1187
CHP Geothermal	CHF/kW	13992	11861	9423	7908	6848
Biomass power plant	CHF/kW	2544	2491	2438	2332	2237
Geothermal power plant****	CHF/kW	7004	6867	6297	5726	5156
Hydro power plant**	CHF/kW	2809	2809	2809	2809	2809
Ocean energy power plant	CHF/kW	7367	7049	4664	3286	2237
PV power plant	CHF/kW	1378	1039	774	594	498
CSP power plant*	CHF/kW	6042	5300	3922	3233	2904
Wind turbine offshore	CHF/kW	4240	3911	3381	3000	2767
Wind turbine onshore	CHF/kW	1738	1675	1601	1537	1484
Hydrogen production	CHF/kW	1463	1293	975	742	604

Costs for a system with a solar multiple of two and thermal storage for 8 h of turbine operation

**Values apply to both run-of-the-river and reservoir hydro power

*** In this research, bio-energy and synthetic fuels are considered to be interchangeable fuels for power plants, combined heat and power plants (CHP), and heating plants. Synthetic fuels produced by renewable electricity—mainly solar and wind power—will either be added to bio-energy supply or replace it.

**** IRENA (2017), Geothermal Power: Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, page 13, CAPEX for binary plants—low projection

D'autres hypothèses sont documentées dans le rapport principal en anglais

Le rapport en anglais se trouve sur le site internet de Greenpeace Suisse : www.greenpeace.ch/scenario-energetique

Editeur :
Greenpeace Suisse

Direction du projet :
Georg Klingler Heiligtag, Greenpeace Suisse

Design et mise en page :
Rebel Communication, www.rebelcom.ch

Disponible sur :
www.greenpeace.ch/scenario-energetique

Contact :
suisse@greenpeace.org

Impression climatiquement neutre sur papier
100% recyclé.

Crédits photos :
Nicolas Fojtu / Greenpeace (p.1, 4, 15, 35), Jonas Scheu / Greenpeace (p.22), Roengchai Kongmuang / Greenpeace (p.45), Paul Langrock / Greenpeace (p.47), OFC Pictures / Shutterstock (p.61)



GREENPEACE

Greenpeace Suisse
Badenerstrasse 171
Case postale
8036 Zürich
+41 44 447 41 41
suisse@greenpeace.org