



**Systeme énergétique suisse 2050 :
pistes pour assurer le « zéro émission nette »
de CO₂ et la sécurité de l’approvisionnement**

Rapport de synthèse

Contenu

1	Introduction.....	5
2	Situation actuelle.....	5
3	Perspectives.....	9
4	Que faire et comment? [4-13].....	14

MENTIONS LÉGALES

EDITTRICE ET CONTACT

Académies suisses des sciences (a+)
Commission élargie de l'énergie
Maison des Académies • Laupenstrasse 7 • Postfach • 3001 Berne • Suisse
+41 31 306 93 52 • urs.neu@scnat.ch • energie.akademien-schweiz.ch

PROPOSITION DE CITATION

Boulouchos K, Neu U et al. (2022) Système énergétique suisse 2050 : pistes pour assurer le « zéro émission nette » de CO₂ et la sécurité de l'approvisionnement. Rapport de synthèse. Swiss Academies Reports 17 (3)

AUTEURES ET AUTEURS

Konstantinos Boulouchos, EPF de Zurich • Urs Neu, ProClim (SCNAT) • Andrea Baranzini, HEG Genève, HES-SO • Oliver Kröcher, Paul Scherrer Institut • Nicole Mathys, Office fédéral du développement territorial ARE • Joëlle Noilly, Centre for International Environmental Studies Genève • Jean-Louis Scartezzini, EPF de Lausanne • Rolf Schmitz, Office fédéral de l'énergie • René Schwarzenbach, SCNAT • Michael Stauffacher, EPF de Zurich • Evelina Trutnevyte, Université de Genève

CONCEPT ET PROJET DE TEXTE

Wissdoc, St. Gallen

RÉDACTION

Urs Neu, SCNAT

TRADUCTION

Translingua

LECTORAT

Jean-Louis Scartezzini

MISE EN PAGE

Olivia Zwygart, SCNAT

PAGE DE COUVERTURE

Gion Huonder/Movemedia GmbH

La présente version synthétique se fonde sur un rapport de base plus long des Académies suisses des sciences, qui contient des informations plus détaillées et des références bibliographiques. À la fin de chaque section, le chapitre correspondant du rapport de base est indiqué entre crochets.

1^{er} tirage, 2022

Le rapport de base et le rapport de synthèse sous forme électronique sont disponibles sous energie.akademien-schweiz.ch/publikationen/factsheets-und-reports

ISSN (print) 2297-1564
ISSN (online) 2297-1572

DOI: doi.org/10.5281/zenodo.6967090



Par cette publication, les Académies suisses des sciences fournissent une contribution aux ODD 7, 12 et 13.

> un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals

> eda.admin.ch/agenda2030/de/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung.html

L'essentiel en quelques mots

1. Nous ne pourrions réaliser l'objectif de **zéro émission nette de CO₂** à l'horizon 2050 qu'en matérialisant ces **cinq facteurs** : réduire la demande de services énergétiques, accroître l'efficacité énergétique, remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables, réutiliser les matériaux et extraire le CO₂ résiduel de l'atmosphère (cf. chap. 4).
2. L'efficacité passe (chronologiquement) avant le remplacement (« **Efficacité d'abord** »). Par exemple : isoler d'abord l'enveloppe du bâtiment, installer ensuite une pompe à chaleur. Ou freiner la surmotorisation et le surdimensionnement des véhicules privés (par un système de bonus/malus), et électrifier ensuite (cf. chap. 4).
3. Les principaux piliers du futur approvisionnement en électricité sont l'**hydroélectricité** et le **photovoltaïque**, accompagnés par la production d'électricité et de chaleur issue de combustibles renouvelables. Il faudrait considérablement accélérer l'offre en électricité, notamment par le biais du **photovoltaïque**, afin de produire **au moins chaque année 1 GW_a de plus**. L'énergie éolienne doit y être ajoutée ainsi qu'éventuellement la géothermie profonde en petites quantités. Si le développement (continu) de nouvelles technologies d'énergie nucléaire est à poursuivre, il est toutefois peu probable que ces dernières contribuent notablement à l'alimentation électrique avant 2050 (cf. chap. 4).
4. **L'association de différentes sources d'énergie** et de réseaux énergétiques va gagner en importance. L'électricité, la chaleur et les carburants requièrent une approche globale. Stockage d'énergie, offre en électricité hivernale et capacités de production sur demande sont des éléments essentiels de la transition énergétique. Des systèmes de stockage chimique de longue durée sous forme d'hydrogène ou de méthane, produits à l'aide d'électricité vont jouer un rôle majeur dans le futur approvisionnement énergétique (cf. chap. 3 Couplage des secteurs).
5. Seule une meilleure intégration de la Suisse dans le marché international de l'énergie (**notamment accords avec l'UE sur l'électricité**) est économiquement rentable. Un approvisionnement en électricité qui ne dépende pas en hiver d'importations serait certes possible mais trop coûteux. Les carburants de synthèse, qui sont indispensables au transport aérien et au trafic des poids lourds, ne peuvent pas être produits en Suisse dans les quantités requises. Il convient donc de mettre, dès aujourd'hui, en place des **coopérations** avec certains états pour assurer **les futures livraisons d'hydrogène et de carburants et combustibles de synthèse** (cf. chap. 3 Couplage des secteurs et encadré Carburants de synthèse).
6. Dans le cadre d'un approvisionnement pauvre en CO₂ et malgré l'importation d'importants volumes d'agents énergétiques de synthèse renouvelables, **la dépendance énergétique vis-à-vis de l'étranger diminue environ de moitié, voire de deux tiers**, et se répartit sur davantage de pays qu'aujourd'hui. **La sécurité de l'approvisionnement** s'améliore, l'énergie importée pouvant être stockée (cf. chap. 3 Couplage des secteurs).
7. L'application d'un **mécanisme de tarification du carbone** à tous les secteurs énergétiques constitue une étape importante de la transformation. **Le système européen d'échange de quotas d'émission (ETS)** est un outil approprié à cet effet. Il importe d'éviter que les ménages à faibles revenus et les zones rurales soient défavorisés (en prévoyant, notamment, des taxes d'incitation avec redistribution) (cf. chap. 4).
8. Pour l'économie, les investisseurs et les propriétaires fonciers, **des mesures politiques sont à prévoir s'inscrivant dans le long terme**. Il s'agit, dans la mesure du possible, de définir sur le long terme quelles mesures sont à prendre à quel moment et le cas échéant dans quelles conditions (notamment en cas d'objectifs intermédiaires qui ne seraient pas atteints). Parallèlement, il doit être possible d'adapter les mesures en fonction du développement effectif des divers secteurs, et par exemple du niveau de maturité des technologies.
9. Il vaut mieux, en principe, fixer **des trajectoires de réduction (d'émissions)** pour les adapter régulièrement par la suite aux évolutions technologiques, plutôt que de prohiber formellement certaines technologies. Les interdictions peuvent être judicieuses s'il existe des solutions de remplacement convaincantes (du point de vue financier et technique), et si celles-ci induisent une réduction durable des émissions sans pour autant engendrer des coûts excessifs.
10. Certains secteurs et métiers vont quasiment disparaître ou changer radicalement, d'autres doivent être rapidement créés et de nouveaux acteurs professionnels à former. Il va falloir accompagner ces changements (cf. chap. 4).
11. Il est recommandé de définir **un concept global d'aménagement territorial** qui définit les zones pour lesquelles une haute priorité à la construction d'infrastructures énergétiques est accordée, ainsi que celles pour lesquelles les intérêts de la biodiversité et du paysage sont prioritaires.
12. Le besoin en **matières premières et matériaux** – majoritairement importés – doit être limité en minimisant les déchets et en favorisant le recyclage sur tout le territoire, ainsi que la réutilisation et la diversification.
13. **La recherche** sur des technologies à faibles émissions de CO₂ et à émissions négatives doit encore être **accrue** (avec encouragement des installations pilotes), notamment celle portant sur le stockage de longue durée, la mise à l'échelle de nouvelles technologies et les solutions dédiées aux industries du ciment et de l'acier, gourmandes en énergies. Il est également important de mieux comprendre **les processus sociaux et économiques** (prix, acceptation, changements de comportement), de même que les possibilités d'agir sur ces derniers.

1 Introduction

Ce rapport de synthèse s'appuie sur une étude menée par les Académies suisses des sciences. En fin de paragraphe, le chapitre correspondant du rapport détaillé est indiqué entre crochets, ainsi que des informations et références supplémentaires.

Le rapport de la Commission élargie de l'énergie des Académies suisses des sciences fait le point sur la situation actuelle de l'approvisionnement énergétique de la Suisse et formule des recommandations permettant au système énergétique de fonctionner sans émission nette de CO₂ d'ici 2050. Cet objectif a été fixé par le Conseil fédéral, conformément à l'Accord de Paris sur le climat ratifié par la Suisse. L'objectif zéro émission nette de CO₂ signifie que les émissions qui ne peuvent être évitées soient compensées en éliminant les gaz à effet de serre de l'atmosphère par des moyens techniques ou de manière naturelle par le reboisement. A cela s'ajoute le fait que la population suisse s'est prononcée en 2017 en faveur d'une sortie progressive du nucléaire.

Le rapport met l'accent sur la lutte contre les changements climatiques, qui constitue le grand défi de la transformation de notre approvisionnement énergétique (transition énergétique). Les interactions avec d'autres objectifs de développement durable de l'ONU (ODD) sont en partie mentionnées, sans commentaires toutefois afin de ne pas dépasser le cadre de ce rapport. Plus de 98% des émissions de gaz à effet de serre (GES), produites par le système énergétique national, sont constituées de CO₂. Les autres GES, comme le méthane (CH₄) ou le gaz hilarant (N₂O), ne résultant pas de la combustion de carburants ou de combustibles fossiles, n'ont donc pas été pris en compte. Le rapport porte essentiellement sur les émissions nationales, définies selon l'inventaire de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. La part importante des émissions engendrées à l'étranger pour nos produits d'importation est mentionnée, mais ne fait pas l'objet de ce rapport. Ce dernier inclut toutefois les émissions du trafic aérien international, bien que la Convention-cadre sur les changements climatiques n'en tienne pas compte. [1]

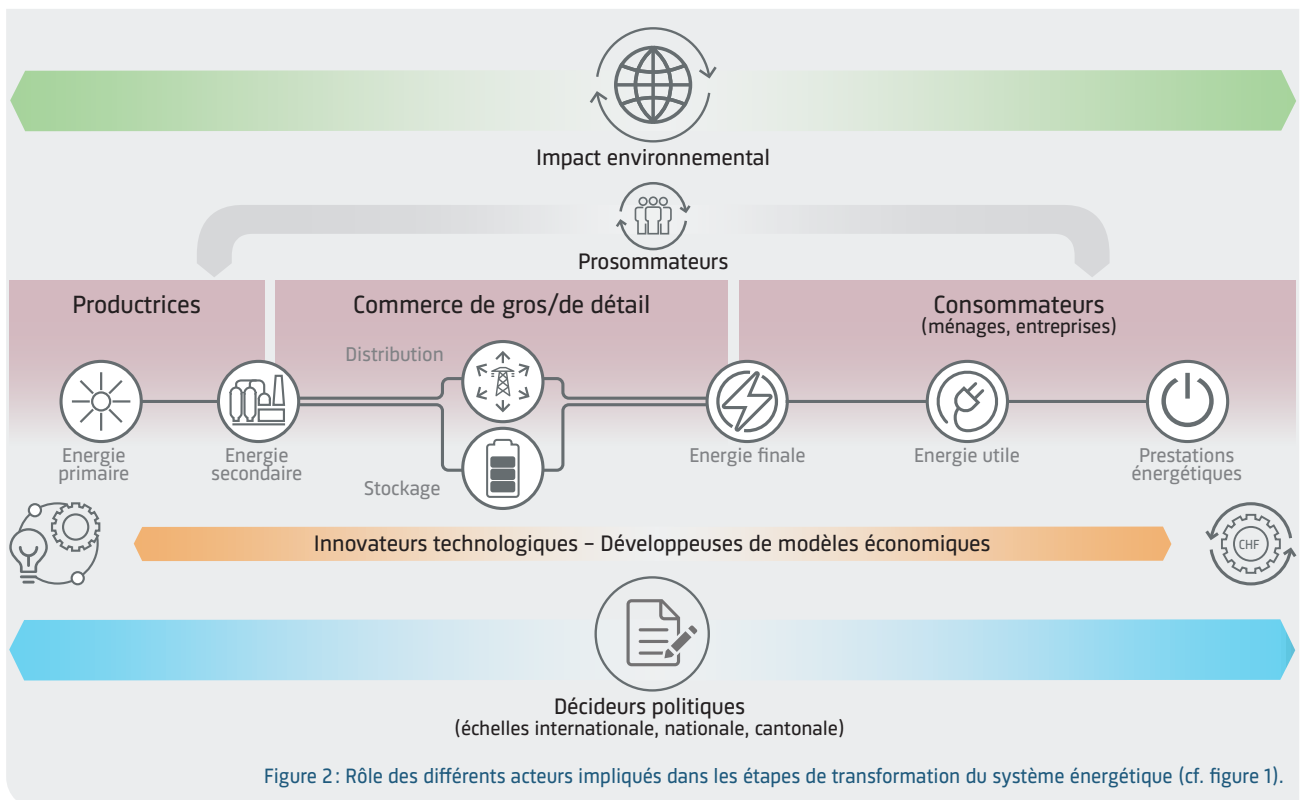
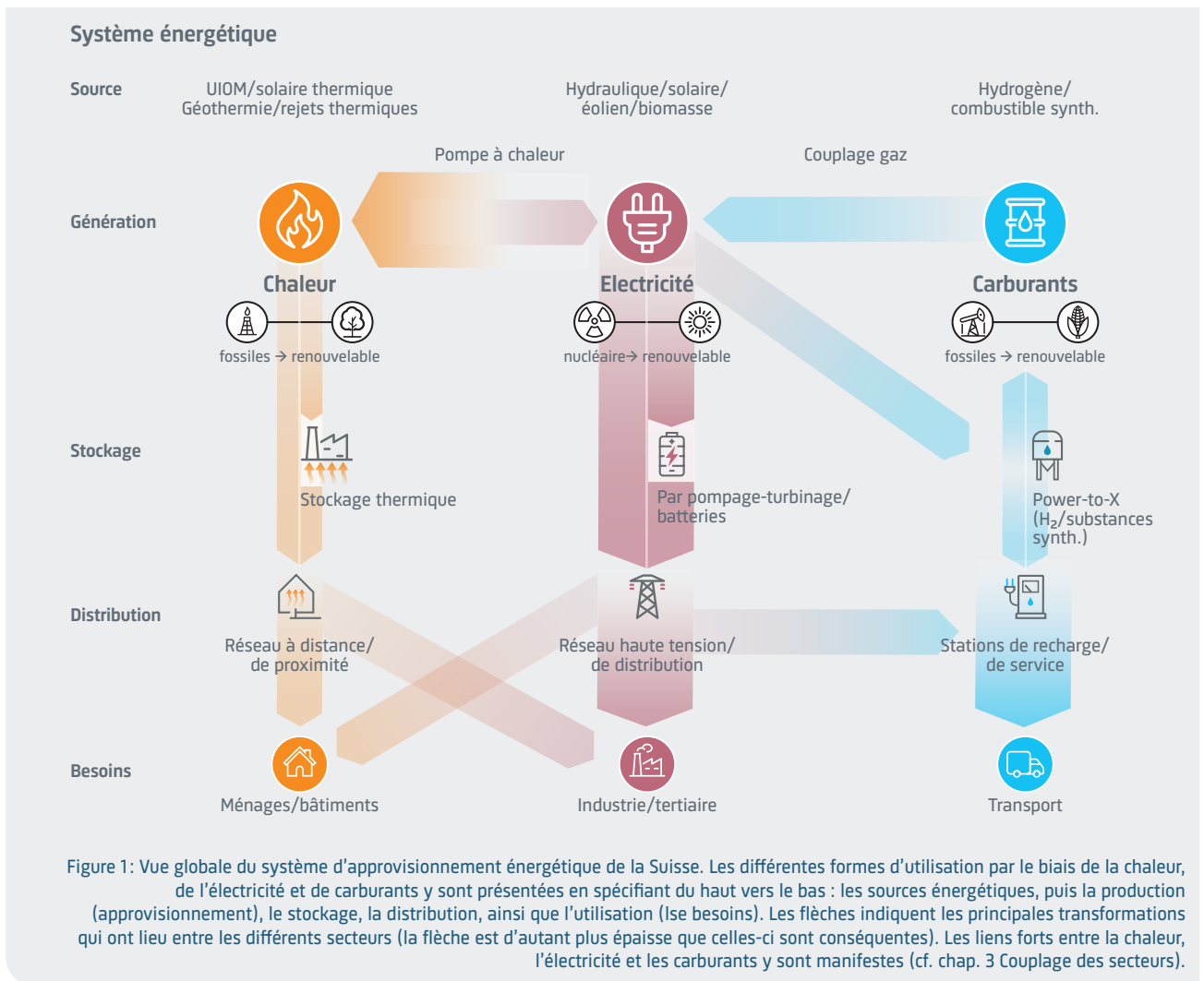
2 Situation actuelle

Malgré la forte augmentation de la population et du produit intérieur brut lors de ces 30 dernières années, la consommation énergétique est restée quasiment constante, alors que les émissions de CO₂ ont baissé de plus de 10% ces dix dernières années (cf. tableau 1 et figure 3). [1]

Tableau 1: Indicateurs du développement de la Suisse (1990–2019)

Population	+26%
Produit intérieur brut	+61% (par tête : +28%)
Consommation en énergie finale	~0% (225 TWh par an; plus ou moins stable depuis 20 ans)/par tête : -21%
Émissions de CO ₂	-12% (plus ou moins stable jusqu'en 2010 environ; puis baisse jusqu'en 2019 de 12% environ)/par tête -33%

Le système énergétique suisse se décline en une cascade de différentes étapes de conversion lors de sa mise en oeuvre: les sources primaires (pétrole, charbon, gaz naturel, énergies renouvelables) sont transformées en énergie secondaire (électricité, mazout, biogaz), et parviennent, via un système de distribution et de stockage (réseau d'électricité, de chaleur et de gaz, stockage par pompage-turbinage, batterie, etc.), jusqu'aux consommateurs finaux des ménages, de l'industrie et des transports (cf. figures 1 et 2). L'énergie est ainsi accessible à tout moment et en tout lieu. [2]



Malgré la forte augmentation de la population et du produit intérieur brut lors de ces 30 dernières années, la consommation énergétique est restée quasiment constante, alors que les

émissions de CO₂ ont baissé de plus de 10% ces dix dernières années (cf. tableau 1 et figure 3). [1]

Tableau 2 : Parts des différents secteurs dans la consommation finale d’énergie et d’électricité, ainsi que dans les émissions de CO₂ (valeurs absolues entre parenthèses) et évolution relative des émissions de CO₂ de 1990 à 2019 (chiffres arrondis).

Situation en 2019	Ménages	Industrie	Tertiaire	Transports routiers/ferroviaires	Trafic aérien
Part dans la consommation finale globale d’énergie	27% (64 TWh)	18% (42 TWh)	16% (38 TWh)	27% (64 TWh)	10% (23 TWh)
Part dans la consommation globale d’électricité	33% (19 TWh)	30% (17 TWh)	30% (17 TWh)	5% (3 TWh)	-
Part annuelle dans les émissions totales de CO ₂ (trafic aérien compris)	18% (7,6 Mt)	27% (11,3 Mt) ¹	8% (3,5 Mt)	35% (14,7 Mt) ²	13% (5,7 Mt)
Évolution des émissions de CO ₂ de 1990 à 2019	-35%	-30%	-30%	~0% ³	⁴

- 1 11% (4,7 Mt) provenant de la consommation d’énergie (le reste étant dû aux processus industriels et à l’incinération des déchets)
- 2 25% (10,8 Mt) provenant des voitures de tourisme
- 3 Hausse de 1990 à environ 2008, puis baisse au niveau d’environ 1990
- 4 De 1990 à 2000 hausse de 50%, puis légère baisse jusqu’en 2010 (due à « 9/11 » et à la crise financière), de 2010 à 2019 hausse de 35%

Brève esquisse des principaux changements et tendances constatés dans les différents secteurs :

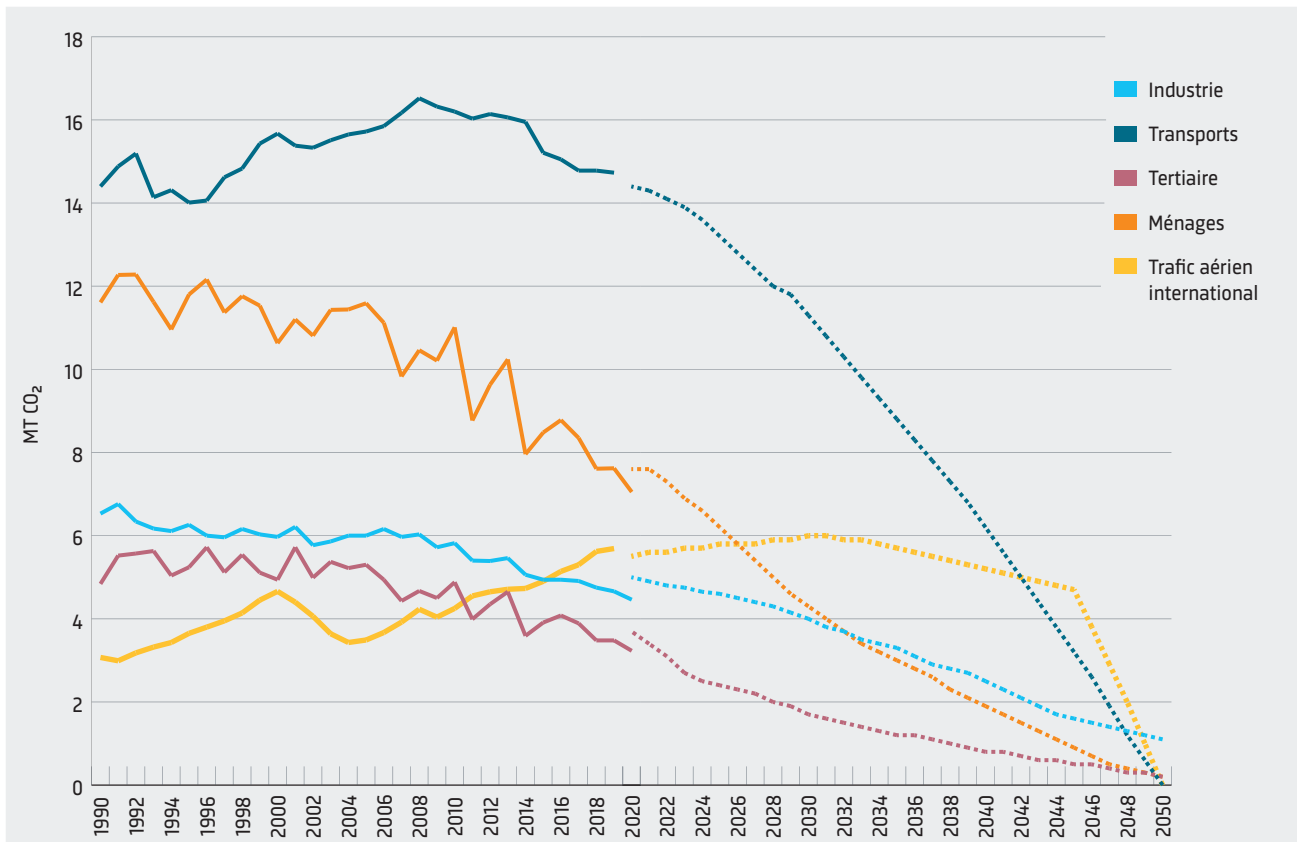


Figure 3 : Évolution des émissions de CO₂ par secteur due à la consommation d’énergie (sans les émissions provenant de processus industriels) d’après l’inventaire des gaz à effet de serre (lignes continues), ainsi que l’évolution possible en vue de la réalisation de l’objectif Zéro GES fixé par les Perspectives énergétiques 2050+ (scénario « ZERO A »)⁵

⁵ Évolution des émissions découlant du trafic aérien international selon les Perspectives énergétiques 2050+, le remplacement du kérosène fossile devrait toutefois s’avérer plus lent ou l’objectif de zéro émission être atteint bien plus tard qu’en 2050. Les valeurs observées pour le transport et le trafic aérien international de l’année 2020 ne sont pas prises en compte en raison du fort impact de la pandémie.

Ménages et bâtiments

L'augmentation des surfaces chauffées dans les bâtiments (+48%), observée ces dernières décennies en raison de la croissance démographique et économique, est en voie de stabilisation. L'efficacité énergétique et le bilan carbone se sont nettement améliorés dans les nouveaux bâtiments, grâce aux normes actuelles imposant une isolation thermique poussée et aux pompes à chaleur plus performantes fonctionnant à l'électricité renouvelable. Néanmoins, cette situation n'est pas encore la norme pour le parc immobilier existant. Le taux d'assainissement des bâtiments, qui est encore bien trop bas (actuellement environ 1% par an), devrait être fortement augmenté, si l'on veut atteindre les objectifs fixés en matière de réduction des émissions GES. En raison des changements climatiques, il faut certes s'attendre à une diminution des besoins de chauffage en hiver, mais également à une augmentation significative des besoins en énergie pour le refroidissement en été. A cela s'ajoute le fait que la demande hivernale en électricité va également croître en raison de la généralisation des pompes à chaleur. [4.1]

Industrie

La production de la chaleur industrielle est très largement responsable des émissions directes de CO₂ de l'industrie, auxquelles contribue également le chauffage des bâtiments industriels. Si, grâce aux mesures de modernisation engagées, l'industrie a pu continuellement réduire ses émissions de CO₂ entre 1990 et 2015, la diminution relative est toutefois bien plus faible que pour les ménages (figure 3). L'augmentation du prix du CO₂ pour les combustibles a incité l'industrie à renforcer les mesures prises. Les branches gourmandes en énergie, comme les industries du ciment et de l'acier, sont en bonne partie passées du pétrole au gaz naturel, réduisant ainsi leurs émissions de CO₂. [4.2]

Tertiaire

L'efficacité croissante du chauffage des locaux a été partiellement contrebalancée par l'expansion qu'a connu le secteur tertiaire au cours de ces 30 dernières années. La tendance actuelle à l'encouragement du télétravail pourrait cependant contribuer à réduire les surfaces chauffées dans les bâtiments tertiaires. Ces dernières ont augmenté de 32% depuis 1990, alors que les émissions de CO₂ n'ont cessé de baisser (cf. figure 3). L'énergie électrique joue un rôle de plus en plus important dans ce secteur, mais un peu moins que dans les ménages. [4.2]

Transport et mobilité

Le transport des marchandises et des personnes ne cesse d'augmenter et continuera de croître à l'avenir. L'efficacité énergétique du transport individuel (meilleur rendement des moteurs, réduction du poids des véhicules, etc.) s'est certes améliorée au cours des 25 dernières années, mais la demande croissante et le grand attrait pour les véhicules surpuissants ont malheureusement compensé cet effet. Les émissions de CO₂ de ce secteur commencent toutefois à diminuer progressivement, mais de manière très lente.

Le trafic des poids lourds s'est accru d'environ 50% au cours de ces 25 dernières années, une augmentation qui s'avère toutefois plus faible au niveau de ses émissions de CO₂ (+23%). Le potentiel en efficacité énergétique est néanmoins quasiment épuisé. Grâce à la RPLP, le transport routier de marchandises a gagné en efficacité et s'est en partie transféré sur les rails. Le carburant représente toutefois une part considérable des frais d'exploitation. [4.3]

Encadré : Numérisation

La numérisation joue un rôle particulier dans l'approvisionnement énergétique. D'une part, la consommation d'électricité des infrastructures de stockage et d'échanges de données, ainsi que celle des nouvelles applications numériques et des transactions financières (p. ex. la crypto-monnaie), augmente chaque année. D'autre part, la numérisation permet d'assurer un approvisionnement énergétique moderne et efficace (gestion intelligente de l'énergie). Il est difficile de prévoir la future demande en électricité dans ce secteur, peu d'études existant à ce sujet. L'amélioration de l'efficacité énergétique des centres de données (techniques de refroidissement durables) jouera un rôle important à l'avenir, mais elle requiert une réglementation appropriée et nécessite des incitations économiques. [10]

3 Perspectives

Couplage des secteurs

La décarbonisation de l’approvisionnement énergétique exige, d’une part, l’électrification des chauffages (par le biais de pompes à chaleur), des transports et des processus industriels et une interaction flexible entre l’électricité et les agents énergétiques chimiques, comme l’hydrogène et le méthane, d’autre part. Seul le couplage de la production d’électricité, de la force motrice et de la chaleur apporte la flexibilité indispensable à un approvisionnement énergétique stable. Afin de soulager le réseau électrique, il est envisageable d’utiliser l’électricité solaire excédentaire produite en été pour faire fonctionner des pompes à chaleur basse température ou des installations de production de froid. Les pointes de production des installations photovoltaïques autour de midi peuvent être utilisées pour recharger les batteries des véhicules électriques à l’arrêt. Il est nécessaire toutefois de disposer, à cet effet, de l’infrastructure et de la logistique appropriées.

La production de carburants de synthèse est indispensable, car l’aéronautique et le transport par poids lourds ont besoin de carburants à haute densité énergétique. Les batteries sont actuellement trop lourdes pour équiper des avions ou des poids lourds. Néanmoins, la production de carburants de synthèse demande de grandes quantités d’électricité renouvelable qui, pour des raisons climatiques, ne sauraient être produites uniquement en Suisse et en Europe centrale. Les pays à fort ensoleillement ou à forts vents s’y prêtent beaucoup mieux en raison d’un nombre bien plus élevé d’heures à pleine charge permettant à des électrolyseurs de fonctionner à plein régime. Les combustibles et carburants de synthèse peuvent être produits à un coût bien plus favorable dans des régions comme l’Afrique du Nord, le Moyen-Orient ou l’Amérique du Sud. De plus, ceux-ci peuvent être transportés sur de longues distances au moyen de pipelines et de navires qu’il suffirait de réactiver. D’où l’importance, non seulement du couplage des divers secteurs, mais également de la mise

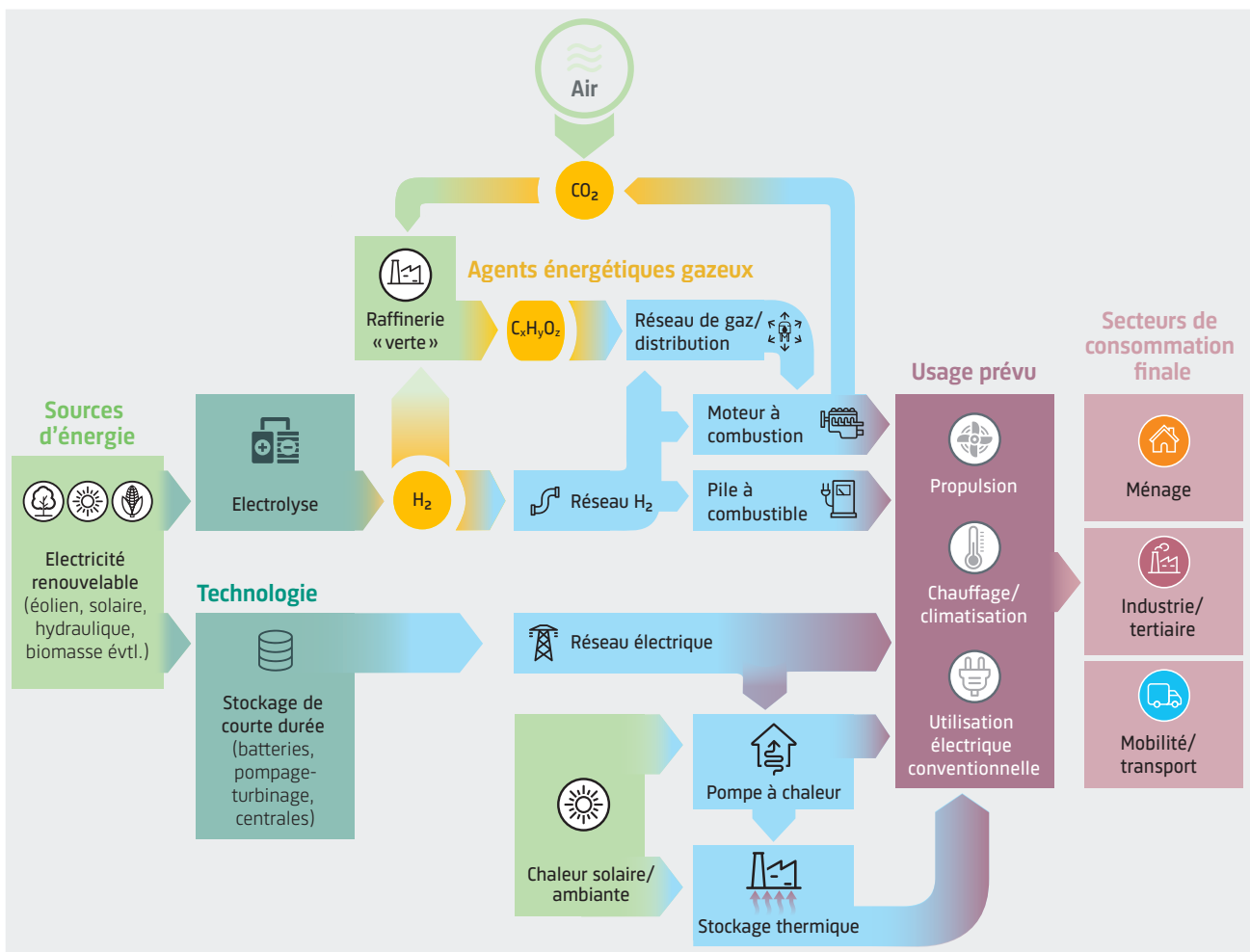


Figure 4 : Couplage des différents secteurs : électrification directe et indirecte (via des agents énergétiques chimiques) des domaines d’utilisation de l’énergie finale. Ce schéma montre les interactions entre l’électricité et les combustibles et carburants dans l’optique d’un stockage de longue durée, ainsi que le rôle joué par les réseaux de distribution.

sur pied d'un réseau de coopération international avec les pays producteurs potentiels.

Le couplage des secteurs est complexe. Il requiert une coopération étroite entre les autorités, l'industrie, le commerce, l'artisanat et les propriétaires privés. En outre, des progrès technologiques sont nécessaires pour pouvoir commercialiser des électrolyseurs, des installations de méthanisation, des raffineries pour agents énergétiques de synthèse et des piles à combustible de grande capacité. Les fournisseurs régionaux d'énergie pourraient ici jouer un rôle particulièrement important.

Les modes de production d'électricité et de fabrication de carburants et combustibles renouvelables, ainsi que la mise en œuvre et le développement de systèmes de stockage et de réseaux de distribution, font l'objet de ce qui va suivre. [7]

Production d'électricité

En raison de la forte croissance économique, la demande en électricité en Suisse a été multipliée par 2,2 de 1970 à 2004. Depuis lors, elle reste plus ou moins constante: l'amélioration significative de l'efficacité énergétique des équipements et moteurs électriques a permis de compenser cette demande croissante.

Les besoins en électricité vont considérablement augmenter lors des prochaines décennies, car:

- La population suisse et l'activité économique continuent à croître;
- Les transports et la production de chaleur doivent être électrifiés, afin de réduire massivement les émissions de CO₂ conformément à l'objectif de «zéro émission nette» d'ici 2050 du Conseil fédéral;
- La numérisation (exploitation et refroidissement des centres de calcul) avance à grands pas.

La décarbonisation de l'approvisionnement énergétique et la sortie du nucléaire vont modifier la structure de l'approvisionnement énergétique de notre pays:

- L'énergie nucléaire sera principalement remplacée par l'énergie solaire. Ce changement, qui s'effectuera dans les 10 à 25 prochaines années, réduira la capacité de production d'électricité pendant les mois d'hiver. A l'heure actuelle, l'électricité d'origine nucléaire représente 57% de la production hivernale et 43% de la production estivale. La production d'électricité par les installations photovoltaïques se répartit différemment en raison des conditions météorologiques: deux tiers en été, un tiers en hiver. Cela signifie que l'offre d'électricité renouvelable sera plus faible en hiver, induisant de ce fait une disparité saisonnière. Ce déficit pourrait être comblé par une augmentation de la production nationale ou de l'importation d'électricité éolienne provenant de l'UE. Il existe toutefois une autre possibilité, certes relativement coûteuse, de se passer d'importation d'électricité (cf. Scénarios énergétiques).
- L'importation d'électricité en période hivernale s'élève à environ 6 TWh_{an} ces dernières années. Il est difficile de prévoir quelle quantité d'électricité pourra être importée à l'avenir

en raison de l'absence, à ce jour, d'un accord sur l'électricité avec l'UE, qui règlemente le marché de l'électricité et la coopération technique (intégration dans le réseau électrique européen). L'approvisionnement de la Suisse en électricité court ainsi le risque de connaître des difficultés, du fait que l'UE prévoit de limiter fortement ses exportations d'électricité en cas de pénurie.

- Le déficit hivernal en électricité pourrait être atténué par le développement de l'énergie éolienne et éventuellement de la géothermie profonde. Dans ce contexte, les centrales à accumulation joueront un rôle prépondérant en hiver. Le stockage sous forme chimique de l'électricité solaire excédentaire d'été représente également un enjeu pour l'hiver (cf. chap. 3 Couplage des secteurs/Scénarios énergétiques).
- L'équilibre entre l'offre et la demande en électricité doit toujours être assuré au sein du réseau. L'énergie hydraulique demeure donc la source la plus importante comme énergie de ruban, mais elle est également déterminante par sa flexibilité pour la stabilité du réseau (centrales à pompage-turbinage). Cela sera d'autant plus important, à l'avenir, que l'énergie solaire est soumise à de fortes fluctuations en fonction des conditions météorologiques: le surplus d'électricité solaire à midi peut ainsi être stocké pour la nuit grâce à des centrales de pompage-turbinage.
- Les centrales à gaz à cycle combiné, ainsi que les centrales de cogénération, constituent une autre option susceptible de rendre plus sûr notre approvisionnement en électricité. Toutefois, sur la voie d'un approvisionnement énergétique post-fossile, ces sources d'énergie ne peuvent être considérées que comme des solutions de transition, tant qu'elles fonctionnent au gaz naturel. Ces deux types de centrales pourraient également utiliser du biogaz ou de l'hydrogène (cf. chap. 3 Couplage des secteurs). Il est prévu de recourir à ces deux options au cas où le développement de l'énergie solaire photovoltaïque et du stockage d'électricité n'est pas suffisamment rapide au cours des prochaines décennies.
- Si les développements technologiques de l'énergie nucléaire sont à poursuivre, il reste néanmoins peu probable que celle-ci apporte une contribution notable d'ici 2050, et ce pour différentes raisons (absence d'investisseurs, hausse des coûts, acceptation sociale incertaine, nouvelles technologies, etc.).

De nos jours, la production annuelle d'électricité en Suisse s'élève à env. 60 térawattheures TWh (57 TWh en 2020). Selon les différents scénarios, elle sera comprise entre 64 et 97 TWh en 2050 (cf. Scénarios énergétiques).

L'énergie hydraulique et l'énergie solaire photovoltaïque seront les principales sources d'approvisionnement en électricité à l'avenir. Mais, en fin de compte, un portefeuille de différents types de production est nécessaire pour couvrir les besoins supplémentaires en électricité. Les sources d'électricité envisageables disposent de différents potentiels en Suisse et présentent à la fois des avantages et inconvénients (cf. tableau 3). [4.4]

Tableau 3 : Vue d’ensemble du potentiel, ainsi que des avantages et inconvénients, des différents types de production d’électricité dans le contexte suisse [4.4]

	Potentiel	Avantages	Inconvénients
Hydroélectricité	Aujourd’hui 35 TWh _{el} +10% possible	<ul style="list-style-type: none"> – Fournit l’énergie en ruban – Utilisation flexible assurant la stabilité du réseau électrique – Emissions : 5–15 g CO₂/kWh_{el} 	<ul style="list-style-type: none"> – Développement limité (faible acceptation de nouvelles centrales électriques; courbe d’apprentissage limitée sur d’efficacité et de coûts) – Impact sur les écosystèmes
Photovoltaïque	25–67 TWh _{el} (en fonction de son implantation en façades et dans de grandes installations alpines)	<ul style="list-style-type: none"> – Faibles frais d’installation – Haute acceptation des installations PV sur le Plateau suisse – Emissions : 7–71 g CO₂/kWh_{el} 	<ul style="list-style-type: none"> – Fluctuations de la production (journalière, saisonnière), dépendant de la météo – Requiert d’importants systèmes de stockage (batteries) pour assurer la stabilité du réseau
Éolien	Jusqu’à 5 TWh _{el}	<ul style="list-style-type: none"> – Avantage pour l’électricité hivernale (2/3 de la production au semestre d’hiver) – Emissions : 5–30 g CO₂/kWh_{el} 	<ul style="list-style-type: none"> – Fluctuations de la production – Requiert un système de stockage – Faible acceptation (bruit, impact environnemental)
Géothermie	Moins de 5 TWh _{el}	<ul style="list-style-type: none"> – Potentiel pour l’énergie de ruban – Emissions : 27–84 g CO₂/kWh_{el} 	<ul style="list-style-type: none"> – Faible acceptation de la géothermie profonde – Risque en cas de petits séismes – Risque d’investissement élevé
Centrale à gaz à cycle combiné	5 TWh par centrale	<ul style="list-style-type: none"> – Utilisation flexible assurant la stabilité du réseau électrique – Utilisable pour les pointes de la demande – Adaptable pour H₂ et biogaz – Emissions : 70–100 g CO₂/kWh_{el}, en cas de capture et stockage du CO₂ (CCS) 	<ul style="list-style-type: none"> – Avec le gaz naturel environ 360 g CO₂/kWh_{el} – Faible acceptation en Suisse – Frais d’exploitation dépendant du prix du gaz – Exploitation avec H₂ et méthane de synthèse : quantité suffisante seulement dans le long terme – Dépendance géopolitique
Centrale à énergie totale équipée décentralisée	TWh à un chiffre	<ul style="list-style-type: none"> – Utilisation rapide et efficace pour assurer la stabilité du réseau électrique – Faibles coûts d’investissement – Production d’électricité et de chaleur (également pour l’industrie) – Faibles émissions de CO₂ avec des gaz renouvelables (H₂, biogaz, méthane) 	<ul style="list-style-type: none"> – Uniquement appropriée si près de réseaux de chauffage locaux ou à distance – Frais d’exploitation dépendant du prix des combustibles – Grandes quantités de gaz renouvelables uniquement disponibles à long terme – Avec gaz naturel : 340–468 g CO₂/kWh_{el}
Nucléaire	Jusqu’à 10 TWh _{el} pour chaque grande centrale	<ul style="list-style-type: none"> – Fournit l’énergie en ruban – Centrales requérant peu de surface au sol – Emissions : 5–40 g CO₂/kWh_{el} – Possibilité du suivi de charge 	<ul style="list-style-type: none"> – Coûts d’investissement élevés – Nouvelle génération III+ : Gros retards de construction et dépassements du budget dans les pays occidentaux – Produit des déchets radioactifs – Nouvelles technologies non encore commercialisables – Contraire à la volonté de la population (votation 2017)
Importation	Jusqu’à 10 TWh _{el} actuellement	<ul style="list-style-type: none"> – Une bonne option en principe en cas de manque d’électricité en hiver – Electricité européenne renouvelable et pauvre en CO₂ à l’avenir 	<ul style="list-style-type: none"> – Emissions actuelles de la production européenne d’électricité : 275 g CO₂/kWh_{el} – Importations aléatoires en absence d’un accord sur l’électricité

Stockage d’énergie

Le stockage d’énergie électrique a toujours joué un rôle essentiel dans notre pays : ainsi, l’énergie de ruban des centrales nucléaires et des centrales au fil de l’eau est temporairement stockée de nuit, en cas de faible demande, grâce aux centrales de pompage-turbinage pour couvrir les besoins de la journée. Le stockage d’énergie électrique sera appelé à se complexifier à l’avenir, car la production d’électricité par les installations photovoltaïques et éoliennes varie souvent de manière imprévisible en fonction des conditions météorologiques. Les infrastructures de stockage serviront donc à stocker l’électricité produite en excès pendant les moments favorables, en prévision des périodes défavorables. Dans le cas du photovoltaïque, elles vont permettre de pallier le déséquilibre de la production d’électricité entre le jour et la nuit. Le plus grand défi consiste toutefois à conserver jusqu’en hiver l’électricité solaire produite en été en recourant à un stockage de longue durée. [6]

Il existe différentes formes de stockage en fonction de la tâche à accomplir :

– Systèmes de stockage électrique

Ces dispositifs servent à compenser les différences de production d’énergie électrique entre le jour et la nuit ou à stocker l’électricité sur plusieurs jours. Ils peuvent également être utilisés pour équilibrer le réseau électrique sur quelques minutes ou sur quelques heures. Les systèmes de stockage traditionnels sont les centrales à pompage-turbinage (efficacité entre 75 et 80%) et les batteries d’accumulateurs (efficacité entre 80 et 85%). Les premières peuvent fournir une puissance allant jusqu’à 1 gigawatt. Leurs coûts d’investissement peuvent être amortis grâce à leur longue durée de vie. Les sites pouvant accueillir de nouvelles centrales à pompage-turbinage sont en revanche difficiles à trouver. Les batteries ont, en revanche, une capacité de stockage allant de quelques kilowattheures à plu-

sieurs mégawattheures ; leur durée de vie est d'environ dix ans en fonction du nombre de cycles de charge et de décharge. Si leurs coûts spécifiques restent encore élevés, ils, ont fortement diminué ces dernières années et continueront à baisser. Les batteries équipant les automobiles électriques peuvent également constituer une option de stockage de courte durée à l'avenir.

– Systèmes de stockage thermique de longue durée

En été, la chaleur peut être stockée dans le sous-sol pour être utilisée en période hivernale. Les pompes à chaleur géothermique, qui fonctionnent en été grâce à l'électricité renouvelable excédentaire (pour stabiliser le réseau d'électricité), contribuent à amener de la chaleur dans le sous-sol, provenant du processus de refroidissement des locaux. Les eaux souterraines ou celles des lacs peuvent également servir de fluide de refroidissement ou de stockage. Aujourd'hui déjà, l'eau du lac de Zurich assure le chauffage ou le refroidissement dans certains quartiers de la ville. La chaleur accumulée en été est restituée en hiver aux réseaux de chauffage à distance ou de proximité. Ces systèmes de stockage thermiques peuvent contribuer à diminuer l'importation d'électricité en hiver grâce au remplacement de pompes à chaleur par un chauffage à distance.

– Systèmes de stockage chimique longue durée

Cette forme de stockage d'énergie va jouer un rôle important à l'avenir dans la transition énergétique. Le remplacement de l'énergie nucléaire par l'énergie photovoltaïque rend une stratégie d'équilibrage des écarts énergétiques saisonniers indispensable. L'électricité solaire est produite pour les deux tiers en été sur le Plateau suisse. Selon certaines estimations, il faudrait transférer environ 10 à 15% de la production annuelle en hiver. Cette quantité pourrait être réduite, si l'on augmentait massivement la production d'énergie éolienne, dont le potentiel est limité et le degré d'acceptation par la population plutôt faible. D'un autre côté, la technologie « Power to X » permettrait de produire de l'hydrogène par électrolyse à partir de l'excédent d'électricité solaire ou hydraulique. Ce gaz peut également être utilisé comme matière première pour différents carburants et combustibles gazeux ou liquides comme le méthane, les hydrocarbures de synthèse ou le méthanol.

La question clé est alors de savoir d'où proviendra le CO₂ nécessaire à la méthanisation. Une option serait de le prélever directement dans l'atmosphère (DAC). Une autre source possible serait les UIOM qui émettent du CO₂ lors de l'incinération des déchets. Il s'agit toutefois d'une question de coût, et dans le cas du DAC, d'un problème supplémentaire de matériaux, de ressources et de surfaces requises par le DAC. Le captage direct dans l'air coûte de nos jours 600 francs par tonne de CO₂ (pour des certificats européens ETS de CO₂ d'environ CHF 80 actuellement), mais ces coûts sont appelés à diminuer fortement.

A cela s'ajoute le fait que la capacité de stockage du méthane devrait être accrue pour permettre un stockage saisonnier. Le gaz pourrait servir en hiver à la production d'électricité

dans une centrale à gaz à cycle combiné. Il serait également possible de produire des hydrocarbures, comme carburant de synthèse destiné aux transports de longue distance. En fin de compte, c'est le marché qui décidera de la voie de synthétisation pour les producteurs d'énergie.

Encadré : Carburant de synthèse ? Pour quoi et à quel prix ?

Les besoins en hydrogène et en kérosène de synthèse (pour le trafic aérien) dans une Suisse à « zéro émission nette » dépendent du scénario énergétique considéré (cf. Scénarios énergétiques). Selon la moyenne de deux scénarios, la production de carburant de synthèse serait de 39 TWh. Pour produire cette quantité de carburant de synthèse, il faut prévoir une demande supplémentaire de 90 TWh_{el} d'électricité. En Suisse, la consommation en électricité se situera en 2050 entre 64 et 97 TWh selon les divers scénarios. Cela signifie que la production de carburants de synthèse demande un surplus en électricité équivalent à la future consommation électrique de la Suisse, une quantité que, pour des raisons de coûts et d'espace, il est impossible de produire en Suisse. Il faudrait équiper pour ce faire d'énormes surfaces supplémentaires en photovoltaïque (1300 km²), alors que les électrolyseurs seraient trop peu sollicités pour pouvoir produire de l'H₂ à partir de l'eau à un prix avantageux. Les carburants de synthèse ne peuvent être produits à bas prix que dans les régions à fort ensoleillement ou très ventées. Si ces carburants sont plus onéreux que les carburants fossiles conventionnels, il en faudra toutefois nettement moins. Leur importation coûtera à peu près autant pour les ménages et les entreprises que les carburants fossiles actuels. [7]

Réseaux de distribution d'énergie

Les réseaux de distribution d'énergie ne sauraient être considérés séparément dans le cadre d'un approvisionnement énergétique à « zéro émission nette » de CO₂. Ils sont forcément liés compte tenu du rôle majeur que jouera à l'avenir le stockage de l'électricité sous forme de gaz de synthèse ou de chaleur (Couplage des secteurs). Les réseaux de biogaz et de chauffage à distance se verront attribuer des tâches supplémentaires. [5]

Réseau électrique

Jusqu'alors, les réseaux électriques transportaient le courant produit par des grandes centrales dans le réseau de distribution vers les consommateurs et consommatrices en passant par différents niveaux de tension. A l'avenir, avec le développement accru des installations photovoltaïques, des parcs éoliens, des centrales de cogénération et des petites centrales hydro-électriques, l'électricité circulera également du réseau de distribution vers le réseau haute tension. Une coordination plus poussée des différents exploitants de réseau sera donc requise pour maintenir l'équilibre du réseau électrique. Le réseau électrique suisse bénéficie de l'interconnexion au réseau européen. Sans accord sur l'électricité avec l'UE, la Suisse n'exercerait toutefois aucune influence politique et technique sur le déve-

loppement du marché de l'électricité en Europe. La sécurité de l'approvisionnement en Suisse s'en trouvera affectée, c'est la raison pour laquelle un tel accord à est absolument essentiel.

Réseau de gaz

Aujourd'hui, 20% des ménages suisses se chauffent au gaz naturel. Ce mode de chauffage faisant appel à un combustible fossile devrait toutefois être remplacé à l'avenir par des pompes à chaleur ou par un chauffage à distance ou de proximité. En d'autres termes, le réseau de distribution de gaz naturel va perdre de son importance à long terme. Néanmoins, le réseau de gaz peut jouer un rôle notable à l'avenir pour transporter du biogaz ou des gaz renouvelables, comme le méthane ou l'hydrogène. Il pourrait également servir au transport de CO₂ filtré, provenant par exemple d'UIOM, et destiné à être stocké dans le sous-sol ou pour une réutilisation.

Réseau de chaleur

Les réseaux de chaleur revêtent tout leur intérêt lorsqu'il s'agit de transporter de la chaleur renouvelable provenant notamment d'UIOM, de centrales de chauffe à biomasse ou de centrale de cogénération, ou encore de grandes quantités de chaleur provenant de centrales solaires thermiques ou du sous-sol. L'extension des réseaux de chauffage à distance et de proximité jouera un rôle important à l'avenir, surtout dans les zones d'habitation denses comme les villes, où l'utilisation de pompes à chaleur n'est possible que de manière limitée. Il convient toujours cependant d'évaluer si le gain prévu en efficacité énergétique justifie la construction d'un tel réseau.

Approvisionnement énergétique à « zéro émission nette » – Deux scénarios sans importation directe d'électricité

Les deux scénarios suivants montrent que, dans le cas d'un approvisionnement énergétique à « zéro émission nette », il serait potentiellement possible de traverser l'hiver sans avoir à importer de l'électricité. De grandes quantités de carburants de synthèse seraient toutefois nécessaires pour produire de l'électricité en période hivernale ainsi que pour le trafic aérien. Le scénario peu réaliste d'une (totale) autarcie (« Focus domestic ») implique ainsi une énorme production d'électricité photovoltaïque. Plus réaliste mais néanmoins ambitieux, le scénario « Focus balanced » prévoit deux tiers d'électricité photovoltaïque en moins, mais une augmentation significative des quantités d'hydrogène et de carburants de synthèse destinés à l'approvisionnement énergétique et au transport aérien. Dans ces deux scénarios, la dépendance énergétique vis-à-vis de l'étranger diminue toutefois fortement. Ces scénarios tablent sur des progrès substantiels en matière d'efficacité énergétique des bâtiments (assainissements énergétiques et introduction de pompes à chaleur), de l'industrie (efficacité thermique) et de la mobilité (efficacité multipliée par un facteur 3 grâce à l'électrification). Les scénarios font toutefois également état de très grandes quantités d'électricité qu'il sera nécessaire d'user à l'étranger pour assurer la production de carburants de synthèse destinés à la Suisse.⁶ Le message clé à retenir est le suivant : un approvisionnement énergétique sûr par le biais de la coopération internationale et d'une diversification des sources énergétiques à l'étranger est bien plus réaliste qu'une (totale) autarcie. [7]

Tableau 4 : Indicateurs du système d'approvisionnement énergétique de la Suisse de 2050 pour deux « scénarios de référence » en comparaison actuelle et sur la base de calculs simplifiés.⁷ C'est le plus pessimiste des scénarios qui est retenu ici, où aucune importation d'électricité depuis l'étranger ne peut être réellement garantie en 2050. [7]

Scénario	Aujourd'hui (2019)	Focus domestic	Focus balanced
		L'ensemble des besoins de la Suisse en électricité est produit dans le pays (hiver compris), de même que l'hydrogène et le méthane pour la production d'électricité hivernale via des centrales à gaz à cycle combiné et des centrales de cogénération. Seul le kérosène de synthèse destiné au trafic aérien vient de l'étranger.	L'hydrogène renouvelable importé doit permettre de pallier le manque en électricité hivernale et de couvrir les besoins en carburant pour le trafic des poids lourds et en chaleur pour l'industrie. Il s'y ajoute l'importation du carburant de synthèse pour le trafic aérien.
Importation d'électricité hivernale	~5 TWh _{el}	0	0
Consommation totale d'électricité	57 TWh _{el}	97 TWh _{el}	69 TWh _{el}
Production du photovoltaïque	2 TWh _{el}	61 TWh _{el}	21 TWh _{el}
Importation de biomasse/biogaz	2,5 TWh	16 TWh	16 TWh
Importation de carburant de synthèse (H ₂ /e-fuel)	0	22 TWh	55 TWh
Besoin en électricité venant de l'étranger pour la production de H ₂ /e-fuel	0	59 TWh _{el}	118 TWh _{el}
Importation totale de carburant/biomasse	232 TWh	38 TWh (-84%)	71 TWh (-70%)
Consommation nette d'énergie	311 TWh	191 TWh	180 TWh
Dépendance à l'égard des importations	75%	20%	40%

6 Si les importations directes d'électricité des pays européens voisins étaient garanties, la mise en place d'une infrastructure énergétique suisse serait moins complexe pour les deux scénarios, en particulier pour celui du « focus domestic ».

7 Voir Annexe 1 du rapport de base (cf. Mentions Iléales).

4 Que faire et comment? [4-13]

La transformation énergétique qui vise à abandonner les énergies fossiles pour réaliser un approvisionnement énergétique à zéro émission de gaz carbonique d'ici 2050 nécessite une approche globale. Il existe cinq axes dans lesquels il est urgent de réaliser des progrès dans les prochaines années : cette approche est appelée en allemand « l'approche des 5R » (cf. figure 5) :

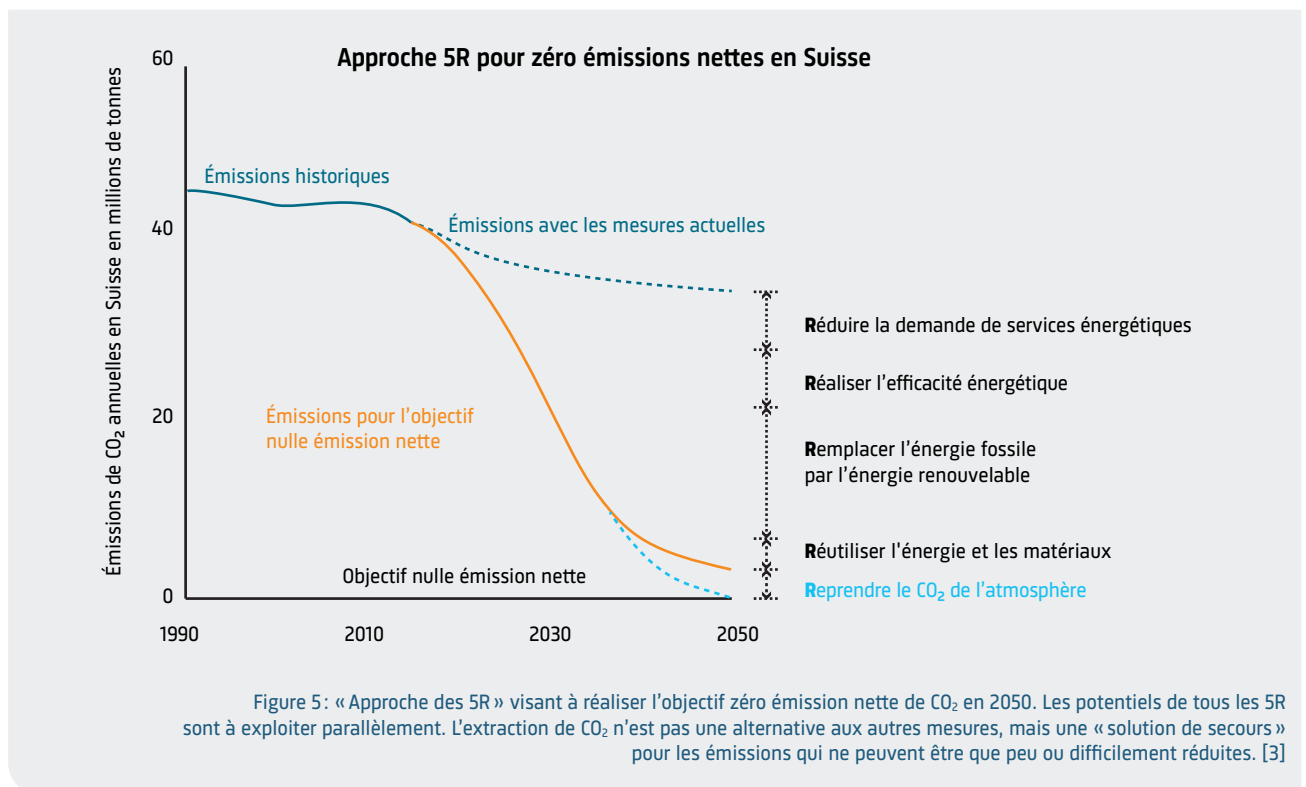
R1: Réduire la demande de services énergétiques: réduire la demande des consommateurs finaux en services énergétiques.

R2: Réaliser l'efficacité énergétique: augmenter l'efficacité de la conversion énergétique des appareils, machines, processus industriels, véhicules, etc.

R3: Remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables: remplacer les combustibles fossiles contenant du carbone par des sources d'énergie sans ou à faibles émissions nettes de GES.

R4: Réutiliser les matériaux: recycler les matériaux dans tous les secteurs; réutiliser le CO₂ capté.

R5: Reprendre le CO₂ résiduel de l'atmosphère: utiliser des technologies, qui par le biais de processus chimiques ou biologiques suppriment le CO₂ de l'air et le stockent de manière permanente. [3]



Un panel de mesures les plus importantes et des partenaires concernés (entre parenthèses) est donné ci-dessous :

Ménages et bâtiments [4.1]	
R1	<ul style="list-style-type: none"> – Abaisser la température des pièces, réduire les surfaces chauffées (population) – Éviter les déchets (aliments, par exemple) (population)
R2/R3	<ul style="list-style-type: none"> – Le taux annuel d'assainissement énergétique des bâtiments, qui s'élève actuellement à 1% par an, est bien trop faible : il devrait passer à 2-3% par an. Une attention toute particulière est à porter aux immeubles locatifs, où les locataires n'ont aucune influence sur l'assainissement. Les mesures d'incitation devraient garantir aux propriétaires un retour sur investissement à moyen terme, sans porter préjudice aux locataires (politique) – Les valeurs-limites d'émission de CO₂ applicables aux chauffages et bâtiments (de nos jours fixés par les « Modèles de Prescriptions Énergétiques des Cantons » - MoPEC) sont à adapter régulièrement en fonction des progrès techniques. Cette adaptation doit être préférée à l'interdiction de technologies (politique, normes SIA en architecture) – Augmenter la taxe sur le CO₂ des combustibles fossiles (politique) – Rendre plus transparente la réglementation sur la priorisation à accorder entre protection de l'environnement et du patrimoine, approvisionnement énergétique et protection du climat (politique)
R4	<ul style="list-style-type: none"> – Réglementer la réutilisation des matériaux de construction (politique, normes sur la construction)
Industrie et tertiaire [4.2]	
R2/R3	<ul style="list-style-type: none"> – Augmenter la taxe sur le CO₂ des combustibles fossiles (politique) – Promouvoir le transfert de connaissances sur l'amélioration de l'efficacité énergétique au sein de l'industrie (associations industrielles) – Optimiser les processus de refroidissement et l'utilisation de la chaleur résiduelle pour le chauffage des locaux dans les centres de données (normes SIA en architecture) – Remplacer les énergies fossiles générant la chaleur industrielle par des énergies renouvelables comme la biomasse (industrie) – Encourager la mise en œuvre du filtrage et du stockage du CO₂ dans le sous-sol (Carbon Capture and Storage CCS) (politique, industrie, recherche) – Encourager la formation de spécialistes pour les technologies émergentes ; reconverter la main d'œuvre des secteurs en voie de disparition (industrie pétrolière, mécanique auto) (économie, formation professionnelle)
R4	<ul style="list-style-type: none"> – Éviter les déchets (recherche, développement) – Développer des technologies qui facilitent le recyclage (recherche, innovation) – Généraliser des technologies qui réutilisent les rejets thermiques industriels (économie)
Transport et mobilité [4.3]	
R1	<ul style="list-style-type: none"> – Encourager la mobilité douce, le télétravail et les conférences téléphoniques (population, patronat) – (Les taxes modérées sur le carburant n'ont un effet incitatif que limité, car la propension à payer la mobilité au prix fort est relativement élevée. Les taxes élevées sont mal acceptées)
R2/R3	<ul style="list-style-type: none"> – Augmenter l'attrait de l'achat de véhicules légers à faible consommation de carburant, également pour les véhicules électriques (système de bonus/malus, taxe d'incitation, etc.) (politique) – Optimiser le transport de marchandises (associations de transport) – Améliorer la RPLP : modifier la base de calcul pour les poids lourds (tenant également compte des émissions de CO₂) ; prévoir la possibilité de relever le taux ; l'étendre aux véhicules de livraison (politique) – Accélérer l'électrification du transport individuel en promouvant la construction de stations de recharge auprès des bâtiments (politique, propriétaires fonciers) – Encourager le développement de carburants de synthèse pour les poids lourds, avions et bateaux (via taux de mélange) (politique, recherche)
R4	<ul style="list-style-type: none"> – Promouvoir le recyclage des batteries de véhicules électriques (technologie et infrastructures (recherche et politique)
Production d'électricité [4.4]	
R1	<ul style="list-style-type: none"> – Internaliser les coûts externes de la production, du stockage et de la distribution d'énergie (politique)
R2	<ul style="list-style-type: none"> – Créer une structure de marché de l'électricité qui récompense le développement de capacités de stockage (par exemple hydroélectricité) (politique) – Améliorer l'adéquation entre la demande et l'offre en énergies renouvelables par une gestion intelligente de l'énergie (entreprises énergétiques, économie)
R3	<ul style="list-style-type: none"> – Accroître massivement la construction de nouvelles installations photovoltaïques, en prévoyant au minimum la pose de 1 GW_{st} de plus par an (politique, économie, propriétaires fonciers) – Améliorer les informations aux consommateurs et pro-sommateurs sur les avantages d'installer du photovoltaïque (entreprises énergétiques, politique) – Développer des réglementations/mesures politiques envisageables en politique européenne afin de garantir une sécurité politique aux investisseurs (politique) – La construction de grands parcs solaires et également en partie éoliens offshore est en principe moins onéreuse par kWh que les solutions suisses, mais encore faut-il que la Suisse soit intégrée dans l'approvisionnement énergétique européen, autant sur le plan technique que politique (politique)
R4	<ul style="list-style-type: none"> – Planification du recyclage des installations de production d'énergie (photovoltaïque, éolien)

Stockage d'énergie [6]	
R3	<ul style="list-style-type: none"> – Augmenter les capacités de stockage de courte durée (batteries) chez les fournisseurs d'énergie et exploitants de réseaux ,mais également pour l'usage domestique (entreprises énergétiques, propriétaires fonciers, Swissgrid) – Développer les systèmes de stockage de longue durée pour permettre un stockage saisonnier (recherche) – Augmenter le volume de stockage des barrages de 9 à 11 TWh au moins (entreprises énergétiques, politique, recherche) – Créer des mesures d'incitation pour construire davantage de stocks thermiques saisonniers, permettant d'augmenter la part des énergies renouvelables dans le secteur de la chaleur et soulager la production d'électricité (politique)
R4	<ul style="list-style-type: none"> – Recycler (également) les batteries stationnaires
Réseaux de distribution d'énergie [5]	
R2	<ul style="list-style-type: none"> – Préserver les infrastructures de base du réseau de gaz (ou le réaffecter à l'hydrogène) (réseau de transport), dans la mesure où elles sont adaptées au futur transport de biogaz, de gaz de synthèse/d'hydrogène ou encore de CO₂ destinés au stockage dans le sous-sol ou à la réutilisation (entreprises énergétiques) – Améliorer la coordination entre les exploitants du réseau de transport et des réseaux de distribution (Swissgrid, entreprises énergétiques régionales)
R3	<ul style="list-style-type: none"> – Promouvoir le développement des réseaux de chauffage à distance et de proximité (entreprises énergétiques) – Activer l'intégration dans le système énergétique de l'UE (politique)
Couplage des secteurs [7]	
R2	<ul style="list-style-type: none"> – Créer des mesures d'incitation pour encourager les fournisseurs d'énergie des différents secteurs (gaz, électricité, etc.) à coopérer ensemble (politique)
R3	<ul style="list-style-type: none"> – Développer de nouveaux modèles économiques pour les fournisseurs d'énergie régionaux (contracting, par exemple) et les soutenir (politique) – Promouvoir la coopération et la production inter-frontières d'hydrogène et de carburants de synthèse, ainsi que l'exploitation de systèmes de stockage de longue durée (politique, entreprises énergétiques) – L'économie et les investisseurs doivent recevoir le plus rapidement possible des indications sur les technologies et infrastructures qui ne doivent plus être soutenues ou sont à remplacer dans le contexte d'un approvisionnement à zéro émission nette (empêcher les « stranded assets ») (politique)
Emissions négatives [8]	
R5	<ul style="list-style-type: none"> – Il est impossible de réduire à zéro les émissions de CO₂ dans tous les secteurs de l'énergie. Afin de compenser les émissions restantes, il faut capter le CO₂ contenu dans l'air, soit par des moyens techniques, soit de manière naturelle notamment par le reboisement. Il y a lieu de développer à cet effet des technologies adéquates et d'en prévoir la gestion sur les plans national et international (recherche, politique)

Qui sommes-nous?

Les **Académies suisses des sciences (a+)** regroupent les quatre académies scientifiques suisses, l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT), l'Académie suisse des sciences humaines et sociales (ASSH), l'Académie suisse des sciences médicales (ASSM), l'Académie suisse des sciences techniques (SATW) et la Jeune Académie Suisse (JAS). Elles comprennent en outre les centres de compétences TA-SWISS et Science et Cité ainsi que d'autres réseaux scientifiques. Les Académies suisses des sciences promeuvent la collaboration entre les scientifiques à l'échelon régional, national et international. Elles représentent la communauté scientifique aussi bien sur le plan des disciplines qu'au niveau interdisciplinaire et indépendamment des institutions et des branches spécifiques. Leur activité est orientée vers le long terme et vise l'excellence scientifique. Elles se fondent sur les savoirs scientifiques pour conseiller les politiques et le public sur des questions touchant de près la société.

La **Commission élargie de l'énergie des Académies suisses des sciences** encourage et coordonne la discussion et l'échange de connaissances sur les thèmes de l'énergie et de l'utilisation durable des ressources au sein de la communauté scientifique et entretient le dialogue avec la politique et la société. Elle cherche la collaboration avec les hautes écoles et les hautes écoles spécialisées suisses et entretient un réseau de la communauté scientifique suisse sur le thème de l'énergie.

