

3.4 Energie

Le système énergétique, constitué de la mise à disposition et de l'utilisation d'énergie, génère aujourd'hui 75 pour cent des émissions mondiales de gaz à effet de serre et 80 pour cent de celles de la Suisse. La réalisation des objectifs de réduction de ces gaz dépend donc essentiellement de la réussite d'une conversion vers un système énergétique à faibles émissions de CO₂. Une grande partie des émissions mondiales de gaz à effet de serre est causée par la production d'électricité, et s'il n'y a pas de contre-mesures, il faut s'attendre ici à un doublement des rejets de CO₂. Ces émissions pourraient être pratiquement éliminées en passant à du courant généré essentiellement à partir de sources renouvelables et à faible intensité de carbone. Une utilisation plus efficace de l'énergie permettrait également d'abaisser les émissions du secteur industriel de moitié au niveau mondial. En Suisse, où l'électricité est produite déjà aujourd'hui presque sans émissions de CO₂, la réduction des émissions de gaz à effet de serre ne vise que l'utilisation d'énergie: les domaines du bâtiment et des transports offrent les plus importants potentiels de réduction.

Alexander Wokaun (PSI), Christoph Ritz (ProClim/SCNAT)

Le système énergétique joue un rôle déterminant dans l'évolution du climat

La disponibilité d'énergie est essentielle pour le bien-être social de la population du globe, et l'énergie est un facteur de production capital de l'économie mondiale. En 2010, la mise à disposition d'énergie, basée aujourd'hui dans une large mesure sur l'exploitation thermique d'agents énergétiques fossiles, a produit 37 des 49 gigatonnes d'équivalents de CO₂ rejetés au total dans le monde. L'utilisation et la mise à disposition d'énergie sont responsables de la part dominante (75 pour cent) des émissions mondiales de gaz à effet de serre; 65 pour cent sont rejetés sous forme de CO₂ et 5 pour cent en tant que méthane. Etant donné la grande persistance du CO₂ dans l'atmosphère (temps de séjour de plusieurs siècles à des millénaires [Solomon 2009]), le système énergétique joue un rôle central dans les efforts pour limiter à long terme le changement climatique (IPCC 2014/WGIII/Chap.7).

En Suisse, 80 pour cent des émissions de gaz à effet de serre proviennent du système énergétique (41,5 des 52,6 mégatonnes d'équivalents de CO₂ émis au total en 2013). La principale raison de cette proportion élevée en comparaison mondiale est la faible part des émissions de l'agriculture. Vu que le processus de mise à disposition (extraction, raffinage et transport) des agents énergétiques fossiles a lieu à l'étranger et que la production d'électricité hydraulique et nucléaire dégage très peu de CO₂, des réductions de gaz à effet de serre émis par les activités énergétiques ne sont réalisables en Suisse pratiquement que pour l'utilisation de l'énergie (OFEV 2015).

Le système énergétique: émissions de gaz à effet de serre par secteurs

Les émissions de gaz à effet de serre générées par la mise à disposition et l'utilisation d'énergie se répartissent entre

Le système énergétique et ses émissions de gaz à effet de serre

Pour comprendre d'où proviennent les gaz à effet de serre, il est judicieux de considérer l'ensemble du système énergétique. Celui-ci se compose de la mise à disposition d'énergie et de l'utilisation d'énergie:

La mise à disposition d'énergie:

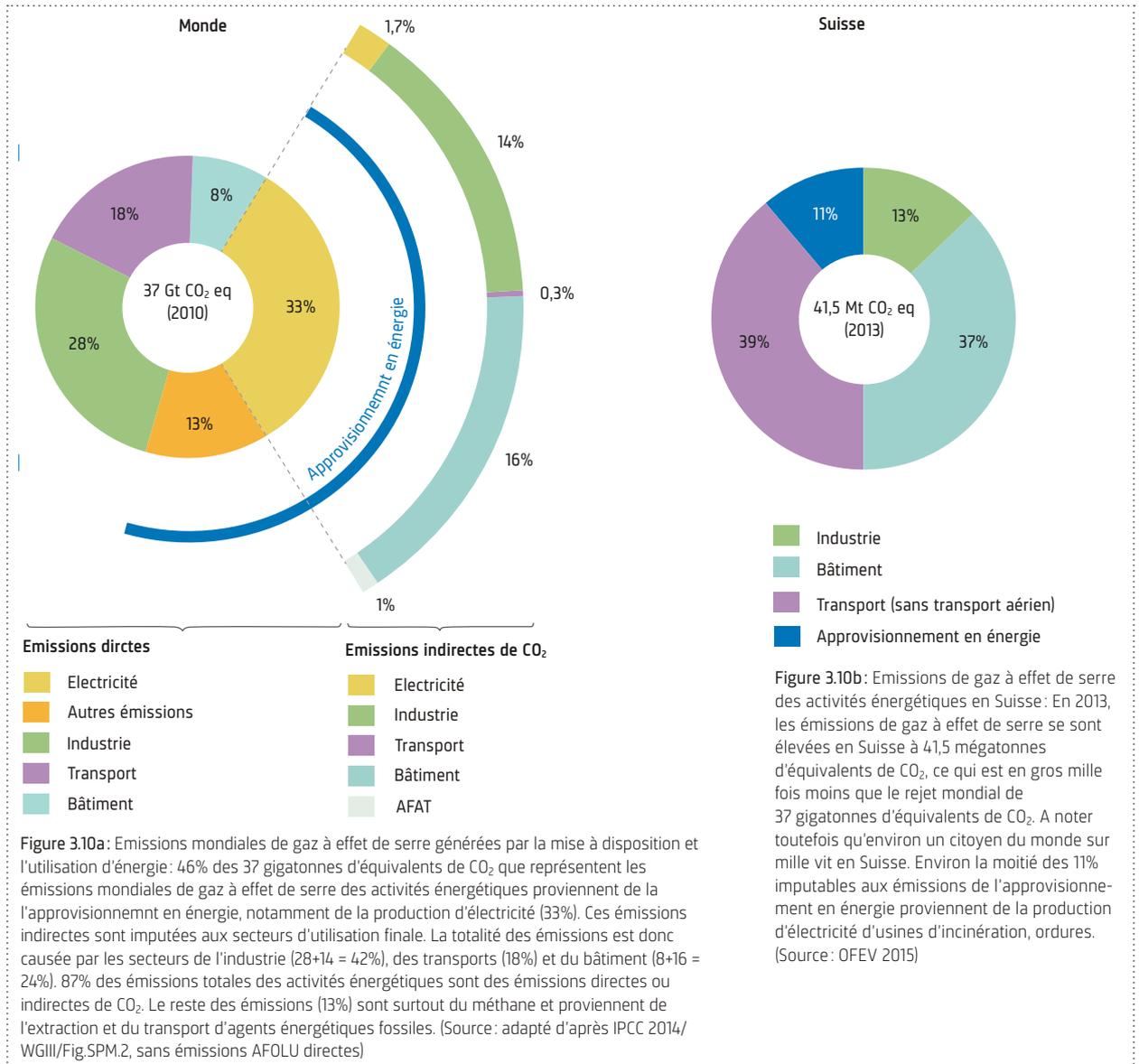
- l'acquisition des énergies primaires (par exemple charbon, combustible nucléaire, eau, vent),
- leur transformation en énergie secondaire (par exemple dans des raffineries, des centrales électriques à combustible fossile, des centrales hydrauliques; au moyen d'éoliennes, de cellules solaires),
- le transport de l'énergie secondaire au moyen de bateaux, pipelines et réseaux électriques, jusqu'aux clients auxquels elle est fournie comme énergie finale.

L'utilisation d'énergie:

- la transformation de l'énergie finale en énergie utile (par exemple énergie motrice, chaleur) pour des services énergétiques (tels que le transport de marchandises et de personnes, le séchage de produits).

Les émissions qui en résultent peuvent être directes ou indirectes:

- **Les émissions directes** sont celles produites sur place lors de l'utilisation de l'énergie (par exemple lors de la conduite d'un véhicule actionné par un moteur à essence ou lors de la combustion de mazout dans une installation de chauffage).
- **Les émissions indirectes** découlent de l'utilisation de biens ou d'électricité dont la production en un autre lieu ou dans un autre pays a généré des émissions (par exemple l'alimentation d'un véhicule électrique avec du courant provenant d'une centrale à charbon).
- **Les émissions grises** sont des émissions indirectes qui ont été produites à l'étranger et importées en Suisse avec les biens et leur transport ou qui proviennent du trafic aérien.



les quatre secteurs de l'industrie, des transports, du bâtiment et des différentes utilisations du sol au niveau mondial et en Suisse (fig. 3.10a et 3.10b).

La situation mondiale

La figure 3.10a montre les émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre générées dans le monde par les principaux secteurs. Presque la moitié (46 pour cent) des gaz à effet de serre émis par les activités énergétiques proviennent de la **l'approvisionnement en énergie**, en majeure partie de la production (ou mise à disposition, voir encadré) d'électricité de centrales thermiques fossiles, avant tout à charbon (33 pour cent du total). Le plus souvent, les rejets

de chaleur des centrales thermiques ne sont pas utilisés. Les autres 13 pour cent sont imputables à l'extraction des agents énergétiques fossiles, à leur traitement dans des raffineries et à leur transport jusqu'aux utilisateurs finaux.

Pour l'**utilisation d'énergie**, l'industrie est, avec une part de 42 pour cent, la principale source de gaz à effet de serre. Elle consomme presque la moitié de l'électricité produite dans le monde et cause ainsi des émissions indirectes de CO₂ considérables. Les émissions directes de l'industrie proviennent, pour la moitié environ, de la génération de chaleur pour la production de ciment et de métaux et pour l'industrie chimique. Le secteur du bâtiment est responsable de 24 pour cent et celui des transports de 18 pour cent des émissions mondiales. A noter que deux tiers

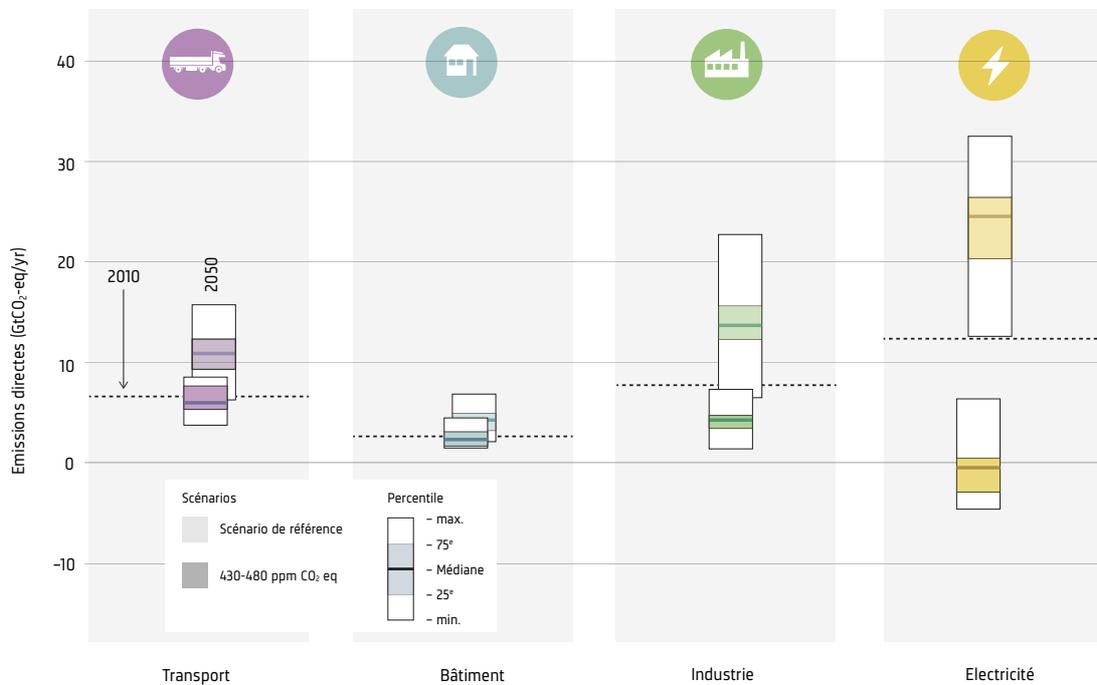


Figure 3.11: Emissions mondiales directes de gaz à effet de serre par secteurs. Les émissions de 2010 sont représentées par une ligne pointillée (elles correspondent aux valeurs de la fig. 3.10a). Dans l'hypothèse « Poursuite de la politique énergétique actuelle » (RCP8,5, barres faiblement colorées), les émissions directes augmentent massivement jusqu'en 2050 par rapport à aujourd'hui dans les secteurs des transports, de l'industrie et de la production d'électricité. Elles restent à peu près au niveau actuel dans le secteur du bâtiment. Pour atteindre l'objectif des 2 degrés Celsius (barres en couleurs intenses), il faut notamment que le bilan en CO₂ du secteur de l'électricité devienne neutre. Les changements des besoins d'électricité des différents secteurs (c'est-à-dire les émissions indirectes) sont attribués au secteur de l'électricité. (Source : adapté d'après IPCC 2014/SYR/Fig.SPM.14)

des émissions des bâtiments sont indirectes, car dues à la consommation d'électricité.

La situation en Suisse

En Suisse (fig. 3.10b), les émissions de gaz à effet de serre en matière d'**approvisionnement en énergie** sont faibles, de 11 pour cent seulement, ce qui tient surtout au fait que l'électricité est produite pratiquement sans émissions de CO₂, par la force hydraulique (60%) et par l'énergie nucléaire (40%).

En matière d'**utilisation d'énergie**, les émissions proviennent en premier lieu des transports (39%) et du secteur du bâtiment (37%). Les émissions de l'industrie sont relativement faibles, de 13 pour cent seulement. Le pourcentage des émissions du secteur des transports est ainsi environ deux fois plus élevé en Suisse qu'au niveau mondial.

Objectifs et mesures

Les objectifs généraux de réduction des émissions au niveau mondial s'appliquent également à la Suisse et concernent en premier lieu le domaine de l'énergie. Ce sont :

- La substitution des agents fossiles par des énergies à faibles émissions de CO₂, qui entraînent peu de nuisances pour l'environnement et
- une réduction de l'utilisation d'énergie grâce à une plus grande efficacité énergétique et à une adaptation du comportement (cf. chap. 3.3 Réduction des émissions – changements de comportement, p. 164).

Au niveau mondial

La l'approvisionnement en énergie

Dans le scénario sans mesures explicites de protection du climat (dit scénario de référence) RCP8,5, l'on s'attend à ce que les besoins mondiaux d'énergie primaire doublent presque d'ici 2050 (fig. 3.11). Une réduction des émissions de gaz à effet de serre nécessite donc une transformation du système énergétique telle que discutée dans les différents scénarios climatiques (cf. chap. 1.5 Scénarios pour les futures émissions de gaz à effet de serre, p. 38). L'**électricité** est considérée comme une importante alternative à d'autres énergies finales, car il est plus facile et moins coûteux de décarboniser des grandes centrales électriques que les secteurs du bâtiment, des transports et de l'industrie. Indépendamment du scénario, la décarbonisation de la produc-

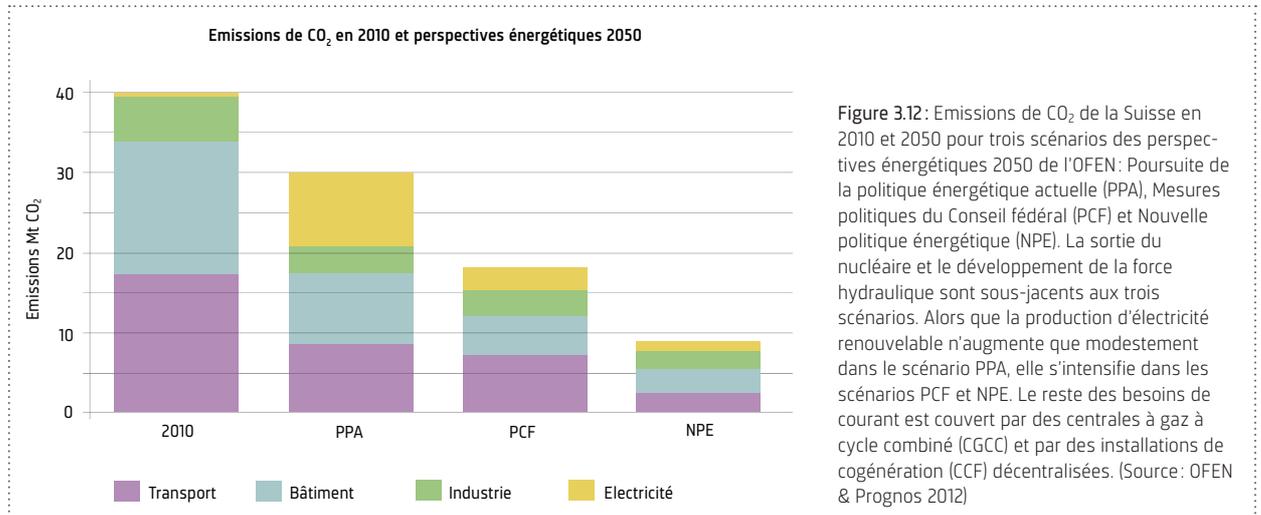


Figure 3.12: Emissions de CO₂ de la Suisse en 2010 et 2050 pour trois scénarios des perspectives énergétiques 2050 de l'OFEN: Poursuite de la politique énergétique actuelle (PPA), Mesures politiques du Conseil fédéral (PCF) et Nouvelle politique énergétique (NPE). La sortie du nucléaire et le développement de la force hydraulique sont sous-jacents aux trois scénarios. Alors que la production d'électricité renouvelable n'augmente que modestement dans le scénario PPA, elle s'intensifie dans les scénarios PCF et NPE. Le reste des besoins de courant est couvert par des centrales à gaz à cycle combiné (CGCC) et par des installations de cogénération (CCF) décentralisées. (Source: OFEN & Prognos 2012)

tion de courant est urgente, vu que la demande d'électricité augmente au niveau mondial. En principe, les possibilités suivantes sont à disposition:

- Un développement intense des énergies renouvelables, en particulier des installations éoliennes et photovoltaïques. L'exploitation énergétique de la biomasse peut apporter une contribution supplémentaire substantielle. Des centrales géothermiques et l'énergie de l'océan (marées, vagues) sont également mentionnées,
- le remplacement de centrales à charbon par des centrales à gaz à cycle combiné à haut rendement (de plus de 60 pour cent),
- la séparation du CO₂ des gaz de combustion de centrales à charbon et à gaz et stockage géologique (Carbon Capture and Storage, CCS) et
- le recours à l'énergie nucléaire pour autant que les exigences en matière de sécurité, cycle du combustible et gestion des déchets soient remplies.

Les auteurs du GIEC estiment que *toutes* ces mesures sont nécessaires pour stabiliser le climat; c'est pourquoi le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC ne fixe aucune priorité à ce sujet. Les mesures doivent être choisies dans ce portefeuille en fonction des spécificités du pays, d'une optimisation économique et de préférences politiques et sociales.

L'utilisation d'énergie

Une condition essentielle pour atteindre tout objectif de stabilisation du climat est que l'efficacité énergétique augmente, vu qu'elle influence de façon déterminante la demande d'énergie primaire. Les possibilités d'améliorer cette efficacité diffèrent d'un secteur à un autre, comme le montre la figure 3.11.

Dans le **secteur des transports**, les émissions directes (surtout de CO₂) dues à la consommation de carburant dominant.

Pour abaisser ici les besoins d'énergie, des changements du comportement d'utilisation sont nécessaires en plus des mesures techniques. Il faut notamment que les distances parcourues par les personnes et les marchandises diminuent et que l'on évite des courses à vide ou des déplacements individuels parallèles sur un même parcours. Le développement doit aller dans le sens d'un système coordonnant plusieurs moyens de transport. Des mesures à cette fin peuvent être prises aux différents niveaux suivants:

- Un aménagement du territoire visant à abaisser les besoins de mobilité et à optimiser la répartition du trafic entre différents modes de transport,
- des changements de comportement et le recours aux télécommunications et aux techniques de l'information pour diminuer le nombre des transports physiques,
- la promotion des produits locaux/régionaux et l'incitation à produire des marchandises dans un périmètre géographique réduit en appliquant à leur transport un prix adéquat pour le CO₂,
- l'augmentation de l'efficacité des infrastructures de transport,
- l'augmentation de l'efficacité des moyens de transport et
- le remplacement des carburants fossiles par des carburants contenant peu de carbone, en considérant toutefois la totalité de leur cycle de production.

Dans le **secteur du bâtiment**, une augmentation mondiale des besoins d'énergie utile d'environ 80 pour cent est attendue d'ici 2050; cela tient à la demande grandissante d'espace d'habitation par personne, notamment dans les pays émergents et en développement, ainsi qu'à la croissance démographique et à la hausse des exigences en matière de refroidissement. Il faut compter avec une augmentation semblable des besoins d'énergie dans les bâtiments utilisés pour des activités commerciales. Toutefois, même sans mesures de politique climatique, le changement des émissions directes

de CO₂ des bâtiments est relativement faible en comparaison des autres secteurs (barres faiblement colorées à la fig. 3.11). Les principales raisons à cela sont :

- une meilleure isolation et technique du bâtiment,
- la substitution des agents fossiles pour le chauffage et la production d'eau chaude par d'autres énergies, par exemple l'énergie solaire thermique ou la géothermie et
- la consommation croissante d'électricité du secteur du bâtiment est mise sur le compte du secteur de l'électricité.

Dans le scénario de base « poursuite de la politique énergétique actuelle », les émissions directes de gaz à effet de serre du **secteur de l'industrie** augmentent rapidement (fig. 3.11). Une partie seulement des émissions de ce secteur sont des émissions directes. Leur croissance résulte d'un besoin accru d'énergie, notamment pour produire de la chaleur destinée à des processus industriels. Le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC estime que ces émissions directes de gaz à effet de serre peuvent être réduites de moitié environ, et ceci pour l'essentiel au moyen de techniques disponibles aujourd'hui. L'industrie peut réaliser de très importantes économies également en matière d'émissions indirectes, c'est-à-dire dans la consommation d'électricité. D'autres réductions des besoins énergétiques, et donc des émissions de gaz à effet de serre, peuvent être obtenues en augmentant l'efficacité des matériaux et en recyclant ceux dont la production est gourmande en énergie. La gestion et la valorisation de flux de déchets ainsi que l'exploitation des rejets thermiques des installations de refroidissement pour produire de la chaleur industrielle sont également des moyens de réduire la consommation d'énergie dans l'industrie.

La biomasse, en particulier le bois, provenant du **secteur de l'agriculture, de l'économie forestière et d'autres utilisations du sol (AFOLU)**, était la principale source d'énergie avant le début de la révolution industrielle, mais a perdu de son importance dans les pays industrialisés à cause du bas prix des ressources fossiles. Des formes durables de l'exploitation énergétique à grande échelle de la biomasse font l'objet d'une discussion internationale intense. A part le fait que la culture de plantes à des fins énergétiques est en concurrence avec la production de denrées alimentaires, c'est avant tout le souci d'éviter des émissions de poussières fines et d'oxydes d'azote, et donc la protection de l'air, qui sont au centre du débat. En Suisse, des concepts centrés sur l'exploitation de déchets sont relativement bien avancés.

En Suisse

Les scénarios des perspectives énergétiques 2050 (OFEN & Prognos 2012) constituent la base de la Stratégie énergétique 2050. Depuis leur publication, ils sont discutés au niveau politique. Le premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050, soumis au Parlement par le Conseil fédéral, correspond au scénario « Mesures politiques du Conseil fédéral » (PCF), tandis que les objectifs à long terme de la Stratégie énergétique suivent le scénario « Nouvelle politique énergétique » (NPE). Le scénario « Poursuite de la politique énergétique actuelle » (PPA) représente le développement des mesures en vigueur jusqu'ici (fig. 3.12).

– **NPE** : Scénario cible selon lequel la consommation d'énergie et la production d'électricité de la Suisse évoluent de manière à abaisser les émissions de CO₂ du domaine de l'énergie à 1 à 1,5 tonnes par habitant jusqu'en 2050. Ce scénario implique une politique d'efficacité énergétique et de réduction du CO₂ coordonnée sur le plan international.

– **PCF** : Ce scénario est axé sur la prise de mesures et met en évidence comment le premier paquet de mesures de concrétisation de la Stratégie énergétique se répercute sur la demande d'énergie et l'offre d'électricité. Dans ce scénario, l'accent porte sur des dispositions touchant à l'utilisation de l'énergie, sur l'emploi des énergies renouvelables dans les bâtiments et sur les énergies renouvelables côté offre en électricité. Ce scénario est peu dépendant de la politique énergétique internationale.

– **PPA** : Jusqu'en 2050, tous les instruments, mesures et lois en vigueur aujourd'hui en matière de politique énergétique sont maintenus pendant l'horizon temporel considéré et seulement adaptés – éventuellement avec du retard – en fonction des progrès techniques. Ce scénario ne prévoit aucun changement de comportement ou du développement de la demande.

Tous les scénarios supposent que les centrales nucléaires existantes ne seront pas remplacées au terme de leur durée d'exploitation. Si celle-ci est de 50 ans, la dernière centrale nucléaire serait mise hors service en 2034. Tous les scénarios prévoient un recours accru à la force hydraulique et un développement modéré de la cogénération (CCF). Alors que la production d'électricité renouvelable n'augmente que modestement dans le scénario PPA (variante C), elle s'intensifie nettement dans les scénarios PCF et NPE (variantes C et E). Des centrales à gaz à cycle combiné (CGCC) sont construites pour couvrir le reste des besoins de courant. Le remplacement partiel des centrales nucléaires par des installations utilisant des combustibles fossiles implique une augmentation plus ou moins forte des émissions de CO₂ dans tous les scénarios.

Seul le scénario NPE est compatible avec l'objectif des 2 degrés, arrêté au niveau politique.¹ Il prévoit une réduction des émissions de CO₂ du domaine de l'énergie de quelque 75 pour cent jusqu'en 2050 par rapport à 2010, couplée à une réduction de la demande d'énergie finale d'environ 45 pour cent pour une croissance d'environ 45 pour cent de l'économie nationale (perspectives énergétiques 2050). La part des énergies fossiles diminue massivement avant tout pour le chauffage

¹ Lors du sommet international sur le climat COP21, qui s'est tenu à Paris en décembre 2015, les pays membres ont même formulé un objectif souhaitable de 1,5 degrés.

des bâtiments – d’une part grâce à une meilleure isolation et d’autre part en raison de la substitution de combustibles fossiles par d’autres ressources énergétiques (principalement les pompes à chaleur, mais aussi la cogénération et les réseaux de chaleur à distance). Une deuxième contribution importante est l’effort visant une substitution radicale des carburants fossiles – essence et diesel – dans le secteur des transports. La production d’électricité est basée avant tout sur la force hydraulique et des énergies renouvelables. Dans ces conditions, l’ambitieux scénario NPE parvient à réduire les émissions domestiques de CO₂ d’environ 75 pour cent jusqu’en 2050 par rapport à 2010.

Défis pour la Suisse

Le succès des mesures suisses de réduction des émissions de gaz à effet de serre dépend fortement de l’efficacité des instruments conçus pour mettre en œuvre la politique énergétique et climatique. Des défis spécifiques se présentent dans les domaines où l’horizon temporel des investissements est très long, par exemple lors du développement de centrales à accumulation ou d’infrastructures de transport.

La part importante des émissions « grises » ou indirectes (cf. encadré Le système énergétique et ses émissions de gaz à effet de serre, p. 168) de la Suisse, due au tourisme et à la grande quantité de biens importés, représente également un défi. Ces émissions ne sont pas prises en compte lors de la production dans les pays concernés et lors de transports par bateau ou par avion (Jungbluth et al. 2011).

Avec sa structure urbaine dense et ses transports en commun bien développés, la Suisse offre de bonnes conditions à un changement de la répartition entre les différents modes de déplacement et à l’utilisation de concepts de motorisation optimisés, pour autant que la production des carburants (électricité et biocarburants) dégage aussi peu de CO₂ que possible. Cependant, de nombreuses mesures en matière de transports se heurtent à des obstacles politiques.

Dans le secteur du bâtiment, les problèmes résident avant tout dans l’assainissement d’anciennes constructions, essentiel pour réduire de façon déterminante les rejets de CO₂ des chauffages utilisant des combustibles fossiles. Pour atteindre les objectifs de réduction jusqu’en 2050, il faudrait au moins doubler le taux de ces assainissements, qui est actuellement de un pour cent environ par an.

La réduction massive projetée de la consommation d’agents énergétiques fossiles diminue la dépendance de l’étranger et ses implications géopolitiques relatives à l’importation de matières premières. Par contre, elle confère à l’électricité un rôle encore plus important que jusqu’ici, ce qui implique une bonne intégration de la Suisse dans le réseau

électrique européen. D’énormes distorsions du marché existent notamment pour le courant importé; elles sont causées par l’électricité produite dans des installations éoliennes et photovoltaïques, qui est bon marché en raison de rétributions accordées à l’étranger pour le courant injecté, ainsi que dans des centrales à charbon, qui ne paient aujourd’hui qu’un droit d’émission négligeable par tonne de CO₂. Ceci conduit à des problèmes de rentabilité pour la force hydraulique suisse, qui sera la principale source indigène de courant après l’arrêt des centrales nucléaires et qui permet de surcroît le stockage saisonnier de l’électricité.

L’exploitation accrue de sources variables d’énergie renouvelable nécessite davantage de redondances dans le réseau électrique suisse. Les petits réseaux indépendants (« micro-grids ») de production autonome de courant présentent un risque de pannes et de désolidarisation. A l’avenir, l’approvisionnement en électricité pourrait être critique surtout en hiver, saison pendant laquelle la production des centrales au fil de l’eau et des installations photovoltaïques est réduite, tandis que la demande de chaleur et de courant augmente.

Un autre défi pour la production d’électricité est la transition du nucléaire aux énergies renouvelables. Ces dernières ne se développeront probablement pas assez vite pour remplacer à temps la production d’électricité des centrales nucléaires mises hors service. Si des centrales à gaz devaient être utilisées pendant une période de transition, il faudrait compenser leurs émissions dans d’autres secteurs, par exemple en recourant davantage aux pompes à chaleur pour le chauffage des bâtiments.

Bibliographie

- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII)*. Chapter 7 «Energy Systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg3
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII)*. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg3
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report (SYR)*. www.ipcc.ch/report/ar5/syr
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report (SYR)*. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/syr
- Jungbluth N, Nathani C, Stucki M, Leuenberger M (2011) *Environmental Impacts of Swiss Consumption and Production*. A combination of input-output analysis with life cycle assessment. Federal Office for the Environment, Bern. Environmental studies 1111: 171.
- OFEN, Prognos (2012) *Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000–2050*. Perspectives énergétiques 2050.
- OFEV (2015) *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre 2015*. www.bafu.admin.ch/inventaire-gas-serre
- Solomon S, Plattner GK, Knutti R, Friedlingstein P (2009) *Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions*. PNAS 106: 1704–1709.