Photo : gettyimages

Partie 3 : Atténuation

Auteures et auteurs

Daniel Bretscher
Collaborateur scientifique, groupe de recherche « Climat et hygiène de l'air » d'Agroscope, Zurich

Dr Peter de Haan
Partenaire et chef du groupe Politique énergétique et mobilité, Ernst Basler + Partner, Zollikon

Prof. Dr Adrienne Grêt-Regamey
Professeure en aménagement du paysage et des systèmes urbains à l'Institut développement du territoire et du paysage (IRL) de l'EPF de Zurich

Prof. Dr Reto Knutti
Professeur de physique climatique à l'Institut pour l'atmosphère et le climat (IAC) de l'EPF de Zurich

PD Dr Jens Leifeld
Chercheur sénior, groupe de recherche « Climat et hygiène de l'air » d'Agroscope, Zurich

Prof. Dr Dirk Messner
Directeur de l'Institut allemand de politique de développement, Bonn

Dr Christoph Ritz
Jusqu'en mars 2016 : Directeur de ProClim – Forum pour le climat et les changements globaux de l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT), Berne

Dr Carmenza Robledo Abad
Chercheuse sénior associée, USYS-TdLab (laboratoire interdisciplinaire) et groupe Protection du climat et adaptation, EPF de Zurich

Dr Joeri Rogelj
Chercheur boursier, programme Energie, Institut international d'analyses des systèmes appliqués (IIASA), Laxenbourg
Jusqu'en juin 2014 : Post-doctorant, Institut pour l'atmosphère et le climat (IAC) de l'EPF de Zurich

Dr Regine Röthlisberger
Cheffe de la section Rapports climatiques et adaptation de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Ittigen

Prof. Dr Jean-Louis Scartezzini
Professeur de physique du bâtiment, chef du Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment (LESBat) de l'EPF de Lausanne

Prof. Dr Renate Schubert
Professeure d'économie nationale à l'Institut pour les décisions environnementales (IED) de l'EPF de Zurich

Prof. Dr Philippe Thalmann
Professeur d'économie de l'environnement naturel et construit, Institut d'architecture et de la ville (IA) de l'EPF de Lausanne

Prof. Dr Alexander Wokaun
Responsable du domaine de recherche « Energie et environnement » de l'Institut Paul Scherrer (PSI), Villigen

La décarbonisation – transformation vers la compatibilité climatique

Le réchauffement planétaire ne peut être ralenti que grâce à une coopération internationale et à une économie mondiale compatible avec le climat, et donc à faibles émissions de carbone. La conversion vers une telle économie mondiale va au-delà de l'évolution structurelle d'une économie de marché et implique des processus de transformation en profondeur. Il y a différentes raisons de parler d'une « grande mutation » – comparable peut-être aux seules révolutions néolithique et industrielle, les deux poussées majeures de la civilisation dans l'histoire de l'humanité.

Dirk Messner (Deutsches Institut für Entwicklungspolitik)

Des réductions radicales des émissions de gaz à effet de serre des Etats membres de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) ne suffisent plus pour respecter l'objectif des edeux degrés. De 1990 à 2013, les émissions annuelles de gaz à effet de serre de ce groupe des nations industrialisées ont passé d'un peu plus de 11 à environ 13 gigatonnes de CO_2 et stagnent depuis lors à peu près à ce niveau. Pendant la même période, celles des pays non-membres de l'OCDE ont évolué de 10 à 20 gigatonnes, surtout en raison de la forte croissance des pays émergents (OECD 2010; Kaplinsky & Messner 2008). Si les tendances actuelles se poursuivent, les émissions annuelles des pays de l'OCDE devraient se stabiliser, entre 2010 et 2040, à un niveau d'environ 12 à 13 gigatonnes, alors que dans le même intervalle de temps, celles des Etats non-OCDE passeront de 20 à une bonne trentaine de gigatonnes (IPCC 2014/WGIII/Chap.7). C'est pourquoi le réchauffement planétaire ne peut être ralenti que par un effort conjugué des pays industrialisés et émergents (fig. 3.1). Une protection efficace du climat n'est encore possible que si les modèles de croissance de l'économie mondiale sont définis en conséquence.

Une économie mondiale à faibles émissions de carbone

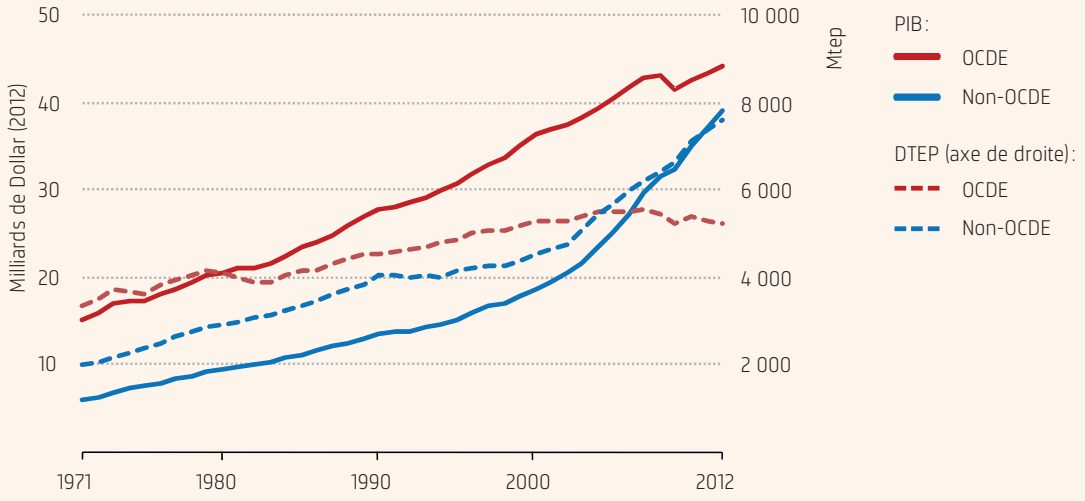
La protection mondiale du climat est devenue synonyme d'instauration d'une économie à faibles émissions de carbone (Messner 2015; World Bank 2012 & 2014). L'établissement d'une économie compatible avec le climat requiert des processus de décarbonisation dans trois domaines centraux (WBGU 2011; IPCC 2014/WGIII; cf. chap. 3.4 Energie, S. 168):

- les systèmes énergétiques, partout dans le monde, qui sont responsables d'environ 70 pour cent des émissions mondiales de gaz à effet de serre,
- l'utilisation du sol (exploitation de la forêt, agriculture), qui cause environ 25 pour cent des émissions et
- les espaces urbains, parce qu'une grande partie des émissions est imputable aux besoins en matière d'habitat (bâtiments) et de mobilité dans les villes.

L'urbanisation a une importance particulière, parce que le nombre d'êtres humains qui vivent dans des espaces urbains augmentera de 3 milliards aujourd'hui à 6 milliards en 2050 (WBGU 2016). Les bâtiments et les systèmes de mobilité sont des infrastructures qui ne peuvent être adaptées que très lentement et qui détermineront donc les trajectoires d'émission pour de nombreuses décennies (IEA 2010). La poussée de l'urbanisation, qui se concentre dans les pays non-OCDE, surtout ceux de l'Asie, suivra-t-elle les modèles à faibles émissions de CO_2? Ou reproduira-t-elle les dynamiques à fortes émissions de gaz à effet de serre, qui se sont établies dans le développement des villes des pays industrialisés (WBGU 2011)? Ce sont là des questions très importantes du point de vue de la protection du climat.

La grande mutation

Dans la littérature spécialisée, le passage à une économie compatible avec le climat est discuté de plus en plus dans la perspective de processus de transition ou de transformation. Ceci met en évidence que la conversion vers une économie à faibles émissions de carbone (low-carbon-economy) va au-delà de modèles classiques de l'évolution structurelle de l'économie de marché et implique des processus de transformation en profondeur (Rotmans et al. 2001; Grin et al. 2010). Le Conseil consultatif allemand sur les changements environnementaux globaux (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, WBGU) qualifie de « grande mutation » la transition vers une économie mondiale compatible avec le climat et à tous égards durable (WBGU 2011). Il est possible que celle-ci ne soit comparable qu'aux deux poussées majeures de la civilisation dans l'histoire de l'humanité: les révolutions néolithique et industrielle.



Calculé sur la base du PIB en dollars de 2012 exprimés en termes de parité du pouvoir d'achat réel.
DTEP = demande totale d'énergie primaire

Figure 3.1: Demande d'énergie et PIB. (Source: IEA 2013)

Cinq raisons de parler d'une grande mutation

Du point de vue du WBGU, on trouve dans la littérature cinq chaînes d'arguments qui donnent de bonnes raisons de parler d'une grande mutation.

Le développement mondial doit s'engager sur une nouvelle trajectoire

La transition vers la compatibilité climatique ne peut réussir que si les modèles mondiaux de développement changent dans le sens de la décarbonisation – s'ils s'engagent donc au niveau mondial sur une nouvelle trajectoire de développement. Le succès de cette nouvelle orientation dépend d'une part de la détermination des pays industrialisés à lancer ce processus de transition. Il est essentiel d'autre part que les pays émergents en croissance dynamique, qui se sont conformés d'abord, pendant les deux dernières décennies, au schéma de croissance traditionnel, soient prêts et en mesure de placer la décarbonisation au centre de leurs efforts de développement (IPCC 2014/WGIII). Un tel changement des schémas de croissance présuppose **une transformation fondamentale des conditions-cadres institutionnelles** afin de créer des incitations aux investissements compatibles avec le climat (World Bank 2012; OECD 2013; Global Commission on the Economy and Climate 2014).

Les infrastructures centrales doivent être transformées

Le développement d'une économie mondiale compatible avec le climat implique que les infrastructures centrales, sur lesquelles les sociétés humaines s'appuient, soient en grande partie transformées. Ces infrastructures doivent devenir des systèmes – énergétiques, urbains et d'utilisation du sol – qui consomment peu de ressources, produisent seulement de faibles émissions et résistent aux changements climatiques (Nakicenovic et al. 2000; WBGU 2016).

Des innovations non seulement techniques, mais aussi sociales, sont nécessaires

Les stratégies de décarbonisation doivent se fonder sur des innovations techniques. Cependant, la littérature sur l'effet rebond (Jackson 2009; cf. chap. 3.3 Réduction des émissions – changements de comportement, S. 164) explique qu'un découplage absolu entre le développement de la prospérité et les émissions ne peut réussir que moyennant l'adhésion à des innovations sociales, servant de bases à une société respectueuse du climat: des styles de vie et schémas de consommation différents, de nouveaux concepts de prospérité et de bien-être ainsi que des normes et des systèmes de valeurs ayant comme ligne directrice la conservation des biens communs mondiaux (OECD 2013; Skidelsky & Skidelsky 2013; Messner 2015).

La fenêtre temporelle pour la mutation est étroite
Si l'on veut encore atteindre l'objectif des 2 degrés, la fenêtre temporelle pour la transformation requise à cette fin est très étroite. Jusqu'en 2070 environ, les émissions de gaz à effet de serre produites par la combustion d'agents énergétiques fossiles devraient être abaissées à zéro dans le monde entier (IPCC 2014/WGIII ; Kap. 3.2 Les tendances des émissions – émissions d'hier et de demain, S. 156, chap. 3.4 Energie, p. 168). Pour y parvenir, plusieurs jalons essentiels doivent être posés pendant les deux prochaines décennies, tels que la transition vers une politique d'aménagement compatible avec le climat et vers la neutralité climatique des infrastructures et des villes. Ainsi la question se pose de savoir comment et si des dynamiques de cette transformation doivent être accélérées (Grin et al. 2010). En même temps, les émissions actuelles de gaz à effet de serre induisent des dynamiques à long terme dans le système de la Terre. Le risque existe que des points de basculement soient dépassés (Lenton et al. 2008) et que des changements excèdent largement l'horizon temporel pris en compte aujourd'hui par les institutions d'Etats nationaux ou par les organisations internationales. De ce fait, les notions de temps pertinentes pour les sociétés humaines changent, un peu comme cela fut le cas pendant la révolution industrielle (Osterhammel 2009 ; Leggewie & Messner 2012).

L'humanité est devenue la principale force de changement du système de la Terre et doit maintenant le stabiliser
Si Paul Crutzen et autres (Crutzen 2000 ; Zalasiewicz 2011 et al.) voient juste en soutenant que l'humanité est devenue une force majeure de changement du système de la Terre, la transition vers un ordre économique et social durable implique que les êtres humains doivent inventer des institutions ainsi que des normes et des systèmes de valeurs pour assurer la stabilité du système de la Terre pendant l'ère de l'humanité (anthropocène) et pour préserver ainsi les moyens d'existence de nombreuses générations à venir. Les défis que pose une telle « gestion du système de la Terre » (Schellnhuber 1999) vont bien au-delà des actuelles visions du monde de la politique internationale.

Blocages mondiaux de la coopération

La référence à la protection du climat dans le contexte des dynamiques d'évolution de la planète, ainsi que le débat sur le système climatique comme bien commun mondial (Ostrom 2010), débouchent sur la question de l'organisation de la coopération mondiale – une coopération qui permettrait de réaliser la transformation vers la compatibilité climatique (Keohane & Victor 2010 ; WBGU 2006 ; Messner & Weinlich 2016).

Quatre causes principales de blocages

La littérature fait état de quatre causes principales de blocages dans les négociations sur le climat :

Des problèmes d'action collective
L'idée fondamentale de la *tragédie des biens communs* (Hardin 1968), qui se réfère au danger de la surexploitation de ressources librement disponibles, mais limitées, et la théorie de *l'action collective* (Olson 1965) renvoient au *parasitisme* des acteurs (Nordhaus 2013) : des alliances de coopération (par exemple pour la protection du système climatique) se réalisent plus difficilement lorsque des acteurs qui n'y prennent pas part ne peuvent pas être empêchés de continuer de surexploiter ou vilipender des biens communs.

Des conflits de répartition entre les pays
Les pays industrialisés, émergents et en développement se disputent au sujet de la répartition des coûts découlant des réductions de gaz à effet de serre. Ils se querellent également à propos de la responsabilité qui incombe aux différents (groupes de) pays de réaliser de telles réductions, compte tenu de leurs émissions passées, présentes et futures (WBGU 2009 ; Pan 2009).

Le souci de la compétitivité économique ou du développement
Les décideurs craignent que des réductions d'émission radicales nuisent à la compétitivité de leur économie, entraînent une diminution de l'emploi ou – comme argumentent certains pays non industrialisés – puissent bloquer des processus visant à combler des retards de développement (OECD 2010).

La structure temporelle du problème du climat
Le problème du climat a une structure temporelle spécifique, en ce sens que les conséquences graves du changement climatique ne sont attendues que dans quelques décennies, alors qu'en politique, les systèmes et les décideurs réagissent en premier lieu à la pression actuelle des problèmes (Giddens 2009).

Les dimensions esquissées ici d'une mutation vers la décarbonisation mettent en évidence que la transition vers une économie et une société mondiales compatibles avec le climat entraînera des changements considérables, d'une portée comparable à ceux que la transformation de la société agraire en société industrielle a provoqués au XIX^{e} siècle.

Bibliographie

Crutzen P (2000) **The Anthropocene**. The Global Change Newsletter 41: 17–18.

Giddens A (2009) **The Politics of Climate Change**. Oxford University Press, Oxford.

Global Commission on the Economy and Climate (2014) **The new Climate economy.** www.new climateeconomy.report/2014

Grin J, Rotmans J, Schot J (2010) **Transitions to Sustainable Development. New Directions in the Study of Long Term Transformative Change.** Routledge, London.

Hardin G (1968) **The tragedy of the commons**. Science 162: 1243–1248.

International Energy Agency (IEA) (2010) **Energy Balances of IEA Countries**. IEA, Paris.

International Energy Agency (IEA) (2013) **World Energy Outlook 2013**. IEA, Paris.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII)**. www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Jackson T (2009) **Prosperity without Growth**. Routledge, London.

Kaplinsky R, Messner D (2008) **The impacts of Asian Drivers on the developing world**. World Development 36: 197–209.

Keohane R, Victor D (2010) **The Regime Complex for Climate Change**. The Harvard Project on International Climate Agreements. Harvard University, Cambridge.

Leggewie C, Messner D (2012) **The low-carbon transformation – A social science perspective**. Journal of renewable and sustainable energy 4: 041404.

Lenton T, Held H, Kriegler E, Hall J, Lucht W, Rahmstorf S, Schellnhuber H (2008) **Tipping elements in the Earth's climate system**. PNAS 105: 1786–1793.

Messner D (2015) **A social contract for low carbon and sustainable development: reflections on non-linear dynamics of social realignments and technological innovations in transformation processes**. Technological Forecasting and Social Change 98: 260–270.

Messner D, Weinlich S (2016) **The evolution of human cooperation: lessons learned for the future of global governance**. In: Messner, D, Weinlich, S (eds.) Global Cooperation and the Human Factor in International Relations. Routledge, London: 3–46.

Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grübler A, Jung TY, Kram T, Lebre La Rovere E, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner H-H, Sankovski A, Schlesinger M, Priyadarshi S, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N , Dadi Z (2000) **Special Report on Emissions Scenarios**. Working Group III. Cambridge University Press, Cambridge.

Nordhaus W (2013) **The climate casino**. Yale University Press, New Haven.

Olson M (1965) **The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups**. Harvard University Press, Cambridge.

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2010) **Perspectives on Global Development 2010: Shifting Wealth**. OECD, Paris.

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2013) **How's Life? 2013 Measuring Well-being**. OECD, Paris.

Osterhammel J (2009) **Die Verwandlung der Welt**. Eine Geschichte des 19. Jahrhunderts. Beck, München.

Ostrom E (2010) **Polycentric systems for coping with collective action nd global environmental change**. Global Environmental Change 20: 550–557.

Pan J (2009) **Carbon budget proposal**. Research Center for Sustainable Development. Chinese Academy of Social Sciences, Peking.

Rotmans J, Kemp R, van Asselt M (2001) **More evolution than revolution: transition management in public policy**. The Journal of Futures Studies, Strategic Thinking and Policy 3: 15–31.

Schellnhuber H (1999) **Earth system' analysis and the second Copernican Revolution**. Nature 402: C19–C23.

Skidelsky R, Skidelsky E (2013) **Wie viel ist genug?** Kunstmann, Muenchen.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2006) **Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer**. Sondergutachten 2006. WBGU, Berlin.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2009) **Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz**. WBGU, Berlin.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2011) **Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Grosse Transformation**. WBGU, Berlin.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2016) **Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte**. WBGU, Berlin.

World Bank (2012) **Inclusive Green Growth – The Pathway to Sustainable Development**. The World Bank, Washington.

World Bank (2014) **Building Competitive Green Industries: The Climate and Clean Technology Opportunity for Developing Countries**. The World Bank, Washington.

Zalasiewicz J et al. (2011) **The Stratigraphy of the Anthropocene**. Philosophical Transactions of the Royal Society A 369: 1036–1055.

3.1 Introduction

La troisième partie du cinquième Rapport d'évaluation du GIEC, la contribution du groupe de travail III, examine les possibilités de réduction des émissions de gaz à effet de serre ainsi que les conséquences socioéconomiques correspondantes. Cette analyse est tout d'abord présentée dans un résumé concernant l'ensemble de l'économie avant de s'intéresser aux secteurs individuels. La partie 3 du rapport « Coup de projecteur sur le climat suisse » reprend la même structure.

Philippe Thalmann (EPF de Lausanne)

Les articles de Reto Knutti, Joeri Rogelj et Regine Röthlisberger pointent tout d'abord le doigt sur la nécessité d'agir afin de limiter les émissions de CO_2 à l'échelle de la planète et de la Suisse (cf. chap. 3.2 Les tendances des émise sions – émissions d'hier et de demain, p. 156). En Suisse justement, la corrélation entre émissions et croissance démographique et économique a disparu dès la fin des années 1990 lorsque la croissance économique a repris sans que les émissions de CO_2 n'augmentent. Depuis 2010, les émissions diminuent même lentement malgré le maintien de la croissance. Ce phénomène est lié aux mesures appliquées dans différents domaines, principalement en matière de politique énergétique et climatique. Le progrès technique et les mutations structurelles y ont aussi contribué. A l'échelle mondiale, les émissions de gaz à effet de serre se sont également stabilisées ces deux dernières années. Il n'est toutefois pas clair s'il s'agit d'un renversement de tendance. Il est, en revanche, évident que les émissions même stabilisées sont bien trop élevées : elles réussiront, en trois décennies environ, à dépenser l'ensemble du budget d'émissions disponible pour ne pas dépasser l'objectif des 2 degrés Celsius avec une probabilité de 66 pour cent.

Le groupe de travail III du GIEC déclare qu'il est essentiel de poser dès aujourd'hui les jalons nécessaires pour renverser la tendance dès le début de son rapport : il souligne que nous prenons aujourd'hui des décisions sur la base desquelles nous consommerons plus ou moins d'énergie et émettrons plus ou moins de CO_2 ces prochaines décennies. Si nous continuons à construire des infrastructures et à acquérir des produits à longue durée de vie dont les besoins en énergie fossile sont élevés ou qui impliquent la consommation de telles énergies, notre société opterait alors pour une voie fortement émettrice de CO_2, un changement de cap ultérieur serait très onéreux. Si nous souhaitons réduire rapidement les émissions de gaz à effet de serre, la mise en place d'une politique climatique ambitieuse et d'entraves à de telles erreurs d'investissement ne doit plus tarder.

Les erreurs d'investissement les plus graves incluent la construction de centrales au charbon et la prospection pétrolière qui ne sont pas uniquement problématiques pour le climat et l'environnement, mais aussi de plus en plus sources d'inquiétude pour les investisseurs (BlackRock 2015). On pense ici aux notions d'« actifs échoués » (« Stranded Assets » : actifs qui ont perdu leur valeur marchande tels que les réserves de charbon ou de pétrole) et de « bulle du carbone » (ces actifs sont aujourd'hui en partie surévalués, la plupart des acteurs du marché n'ayant pas encore compris qu'ils n'ont plus le droit d'être exploités) (Leaton et al. 2013 ; IEA 2014). Ces erreurs d'investissement se retrouvent aussi au niveau des infrastructures (raffineries et pipelines par exemple) et des villes (par exemple sous la forme de quartiers mal desservis par les transports publics, de bâtiments anciens mal isolés ou de nouveaux bâtiments aux grandes façades vitrées). Le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC insiste sur l'urbanisation qui progresse à grande vitesse dans certaines régions du globe ainsi que sur les nombreuses possibilités de réduction des émissions liées à la planification des villes et des nouveaux quartiers. En Suisse, certaines grandes et petites villes sont des acteurs innovateurs en matière d'efficacité énergétique (« Cités de l'énergie ») et de développement durable. Adrienne Grêt-Regamey et Jean-Louis Scartezzini citent, dans leur article (cf. chap. 3.8 Stratégies urbaines face au changement climatique, p. 186), les principaux facteurs d'émissions de gaz à effet de serre en zone urbaine qui doivent être traités en priorité. Les deux auteurs mettent en évidence l'importance de l'aménagement du territoire et de ses instruments, tant pour s'adapter aux conséquences des changements climatiques que pour limiter les émissions.

De même que l'aménagement du territoire couplé à des directives adaptées peut garantir des bâtiments et des infrastructures pauvres en carbone, l'agriculture, la foresterie et la protection des habitats « naturels » doivent également veiller à ce qu'une population croissante au niveau de vie toujours plus élevé n'émette pas plus de gaz à effet de serre, comme le montrent Carmenza Robledo Abad, Daniel Bretscher et Jens Leifeld (cf. chap. 3.7 Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, p. 181).

Le rapport du groupe de travail III insiste sur les changements fondamentaux nécessaires dans la fourniture d'énergie (extraction et transport, production d'électricité et de chaleur), car c'est le secteur qui émet, à l'échelle mondiale,

la plus grande quantité de gaz à effet de serre (35 pour cent en 2010) et qui a le plus largement contribué à l'augmentation des émissions (47 pour cent des 10 gigatonnes d'équivalent CO_2 supplémentaires en 2010 par rapport à 2000; IPCC 2014/WGIII/SPM). Sans mesures de réduction, les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur énergétique pourraient doubler, voire tripler d'ici 2050. Une stabilisation de la température à l'échelle planétaire requiert cependant une réduction de ces émissions d'au moins 90 pour cent. Il va de soi que ce secteur ne produit que peu d'électricité et de chaleur pour couvrir ses propres besoins. Ses émissions de gaz à effet de serre doivent donc être également imputées au secteur industriel et aux foyers comme le démontrent Alexander Wokaun et Christoph Ritz dans leur article (cf. chap. 3.4 Energie, p. 168). Néanmoins, le secteur de la fourniture d'énergie porte une lourde responsabilité en ce qui concerne ses émissions, puisque c'est ici que sont choisies les sources primaires d'énergie et les techniques de conversion. Wokaun et Ritz décrivent les diverses possibilités qui permettraient à ce secteur de réduire ses émissions et qu'il conviendrait de toutes les mobiliser pour atteindre des objectifs d'atténuation ambitieux.

En Suisse, le poids du secteur de l'énergie en matière d'émissions de gaz à effet de serre est moindre grâce à la part élevée réservée à l'hydraulique et au nucléaire. Avec une proportion de 33 pour cent, la circulation est à l'origine de la plus grande partie des émissions de gaz à effet de serre (cf. fig. 3.5, p. 162). En ce qui concerne le transport des personnes notamment, la réduction des émissions n'est pas encore amorcée en raison du comportement individuel (cf. fig. 3.9, p. 165). A l'échelle internationale, le problème est encore plus grave à de nombreux endroits puisque le transport de marchandises poursuit également sa croissance. Il est possible que les émissions de CO_2 doublent d'ici 2050 dans le domaine du transport des personnes et des marchandises en raison d'une augmentation supplémentaire des activités logistiques qui ont, jusqu'ici, plus que contrebalancé l'ensemble des gains d'efficacité sur les véhicules (IPCC 2014/WGIII/Chap.8). A l'inverse des rapports précédents, les auteurs du cinquième Rapport d'évaluation du GIEC considèrent cependant que le secteur des transports recèle un potentiel conséquent pour une réduction des émissions. Pour ce faire toutefois, il sera nécessaire d'appliquer l'ensemble des possibilités offertes par les techniques et les comportements dans le domaine des véhicules, des infrastructures et de l'aménagement du territoire. Dans son article (cf. chap. 3.5 Transports, p. 174), Peter de Haan met en exergue les défis qui s'imposent ici à la Suisse, notamment en ce qui concerne l'aéronautique. Cette dernière est généralement exclue des considérations alors que ses émissions de gaz à effet de serre augmentent fortement et ne peuvent donc plus être négligées.

En Suisse, le secteur industriel et les ménages sont responsables, chacun, de près de 20 pour cent des émissions de gaz à effet de serre. Pour ce qui est des ménages, elles sont liées en premier lieu au chauffage des bâtiments comme le montre l'article d'Adrienne Grêt-Regamey et de Jean-Louis Scartezzini. Ces problèmes sont déjà bien connus et des solutions ont déjà été appliquées afin de réduire les besoins en énergie des bâtiments (chauffage et appareils). Les résultats sont visibles, mais restent encore très modestes. L'article de Renate Schubert s'intéresse aux raisons (cf. chap. 3.3 Réduction des émissions – changements de comportement, p. 164). Les changements climatiques pourraient, du reste, baisser de 5 à 21 pour cent les besoins en chauffage de par le monde jusqu'en 2050. Les émissions de CO_2 qui y sont liées réduiraient cependant bien moins. On estime, dans le cas d'un scénario climatique modéré qui réduirait les besoins en chauffage de 15 pour cent, que les émissions de CO_2 ne réduiraient, en Suisse, que de 2,5 pour cent (Winkler et al. 2014). Une partie du problème provient de l'effet de rebond: la réduction des besoins en énergie due aux changements climatiques ou à une meilleure efficacité énergétique des bâtiments, des véhicules ou des appareils est en partie, voire totalement, compensée par une augmentation de la consommation (Jenny et al. 2013). Il convient d'ajouter à cela une hausse des besoins de climatisation en été, qui absorbe en partie la réduction des besoins de chauffage. Dans son deuxième article, Peter de Haan montre que les progrès techniques sont certes importants, mais qu'ils ne suffisent pas pour limiter les émissions de gaz à effet de serre en raison d'une augmentation de la consommation.

Pour conclure, il convient de rappeler que les analyses sectorielles approfondies ne doivent pas occulter le système global: la décarbonisation des transports et de la production de chaleur dans le bâtiment s'accompagnera certainement d'une électrification. Il est ainsi d'autant plus important que la production d'électricité se décarbonise, elle aussi, partout dans le monde et qu'en Suisse, ses émissions de CO_2 soient maintenues à un niveau aussi faible que possible.

Bibliographie

BlackRock (2015) **The Price of Climate Change – Global Warming's Impact on Portfolios.** October 2015.

IEA (2014) **World Energy Investment Outlook. Special Report.** Paris, 190 pp.

Jenny A, Karlegger A, Montanari D, Ott W, Madlener R (2013) **Massnahmen der Energiestrategie 2050: Begleitende verhaltensökonomische und sozialpsychologische Handlungsempfehlungen.** Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Econcept, Zurich.

Leaton J et al. (2013) **Unburnable carbon 2013: wasted capital and stranded assets.** Carbon Tracker and the Grantham Research Institute, London.

Winkler R, Almer C, Bader C, Gonseth C, Laurant-Lucchetti J, Thalmann P, Vielle M (2014) **«Energy consumption of buildings – direct impacts of a warming climate and rebound effects».** In: CH2014-Impacts (ed.) Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland, Bern, Switzerland: OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, 99–105.

3.2 Les tendances des émissions – émissions d'hier et de demain

A l'heure actuelle, la Suisse émet, par habitant et par an, près de six tonnes d'équivalent CO_2 directement sur son territoire. Les principaux responsables en sont la circulation routière pour un tiers et le chauffage des bâtiments pour un quart. Ces émissions annuelles par personne passent à environ 14 tonnes d'équivalent CO_2 si l'on y intègre également les émissions grises, c'est-à-dire celles produites à l'étranger pour les marchandises importées en Suisse. La Suisse se situe ainsi au-dessus de la moyenne mondiale. A l'échelle de la planète, les émissions de gaz à effet de serre ont triplé, voire quadruplé depuis 1950. La croissance démographique et économique actuelle génère chaque année une augmentation des émissions, qu'une meilleure efficacité énergétique ne réussit pas à compenser. Si nous voulons respecter l'objectif des 2 degrés défini par le monde politique, la quantité d'émissions de CO_2 à notre disposition est cependant limitée. Plus nous attendons pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre, plus ces émissions devront plus tard réduire rapidement afin d'atteindre cet objectif. La définition des acteurs qui peuvent et doivent y contribuer et l'ampleur de leur contribution relèvent de la répartition des efforts.

Les tendances mondiales des émissions de gaz à effet de serre

Depuis 1950, les émissions de CO_2 ont presque quadruplé à l'échelle mondiale. Les raisons sont liées à la croissance démographique et économique actuelle (valeur ajoutée par personne) qui sont la cause, chaque année, d'encore plus d'émission. L'amélioration de l'efficacité énergétique (baisse de la consommation d'énergie par franc de valeur ajoutée) s'y oppose, mais ne réussit pas à compenser les effets de la croissance démographique et économique. Après plusieurs décennies de baisse, l'intensité de CO_2 (émission de CO_2 par kilowattheure d'énergie consommée) a de nouveau augmenté en raison de la grande disponibilité de charbon et de gaz bon marché.

Reto Knutti (EPF de Zurich), Joeri Rogelj (IIASA Laxenburg)

Les émissions de CO_2 augmentent

Malgré les négociations internationales et le Protocole de Kyoto, l'augmentation des émissions s'est même accentuée depuis environ 2000 : de 1,1 pour cent par an dans les années 1990, elle a atteint 3 pour cent par an (valeur moyenne des années 2000-2013). Il y a deux raisons à cela : une croissance économique qui s'est accélérée depuis 2000 environ, et un renversement de la tendance à l'augmentation de la concentration de CO_2. Ces deux phénomènes sont en grande partie liés à l'accélération inattendue de la croissance économique dans les pays émergents tels que la Chine en particulier. Matière première bon marché et fiable pour la production d'électricité, le charbon y joue un rôle important. La Chine s'est substituée aux Etats-Unis en première place au palmarès des plus gros émetteurs de CO_2. Dans la comparaison du taux d'émissions par habitant, la Chine se place loin derrière les Etats-Unis, mais atteint déjà un niveau équivalant à celui de la Suisse et d'autres pays européens.

Les combustibles et carburants fossiles sont les plus grandes sources de CO_2

Les émissions de CO_2 provenant des combustibles et carburants fossiles (et, pour une petite part, de la production de ciment) dominent l'effet de serre anthropique avec, à l'échelle mondiale, un taux d'environ 65 pour cent (mesuré en équivalent CO_2) suivi, avec 11 pour cent, par la déforestation et le changement d'affectation des terres. Outre le CO_2, le méthane (CH_4) y contribue à raison de 16 pour cent, le gaz hilarant (N_2O) de 6 pour cent et les hydrofluorocarbures (fluorocarbures halogénés, hydrocarbures perfluorés et hexafluorure de soufre) de 2 pour cent. L'effet par molécule de ces gaz est certes bien plus élevé que celui du CO_2, mais leur quantité dans l'atmosphère est bien plus faible.

Contribution des secteurs

A l'échelle de la planète, les secteurs suivants contribuent le plus aux émissions de gaz à effet de serre : production d'électricité et de chaleur (25%), agriculture, déforestation et changement d'affectation des sols (24%), industrie (21%), transport (14%) et bâtiments (6%).

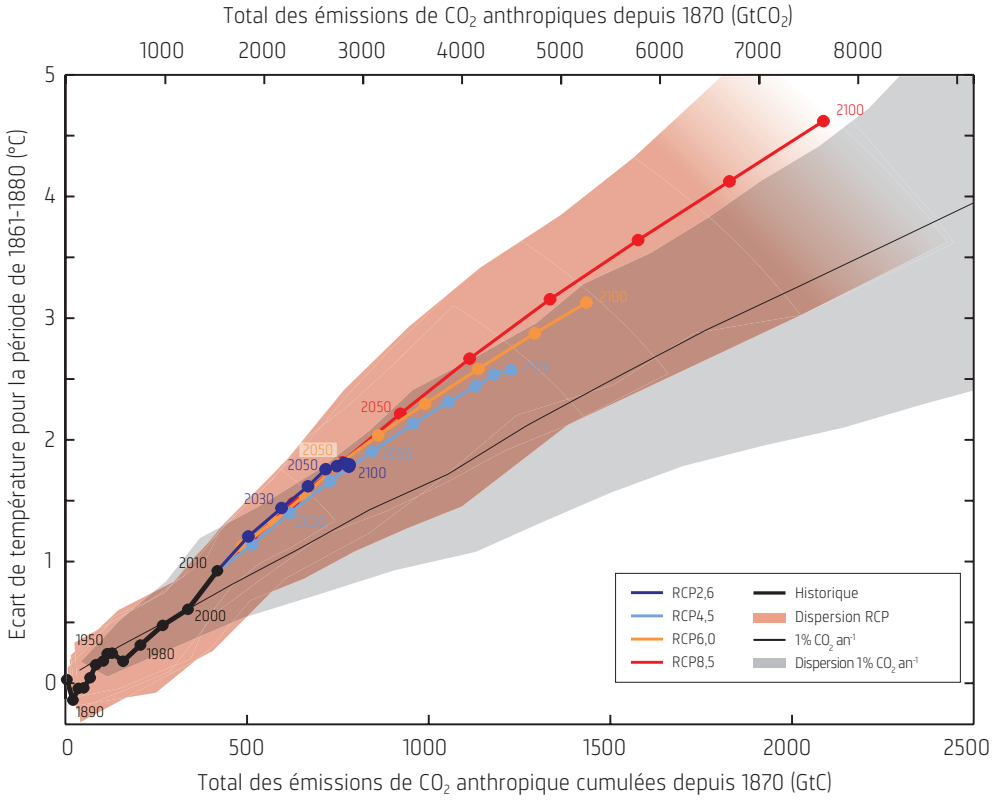


Figure 3.2 : Augmentation moyenne de la température mondiale en fonction de la quantité totale de CO_2 émise. Les résultats présentés ici concernent les modèles couplés du climat et du cycle du carbone pour les quatre scénarios RCP jusqu'en 2100. Les valeurs moyennes sur dix ans sont représentées par des points (2050, p. ex., représente la moyenne après 2040-2049). Les résultats modélisés concernant le passé sont indiqués en noir. La surface rouge représente l'incertitude des modélisations. Les résultats des scénarios incluant uniquement les émissions de CO_2 sont représentés par les fines lignes noires et la surface grise. Pour une certaine quantité de CO_2, elles indiquent un réchauffement inférieur à celui des scénarios RCP qui prennent également en compte tous les autres facteurs tels que méthane, N_2O et aérosols. (Source : IPCC 2013/WGI/SPM/Fig.10).

Le budget CO_2 planétaire

Malgré un grand nombre de rétroactions complexes tant au niveau du système climatique que du cycle du carbone, le rapport entre la température mondiale et les émissions anthropiques de CO_2 est étonnamment simple : l'évolution de la température mondiale est à peu près proportionnelle au total des émissions de CO_2 depuis l'époque pré-industrielle (fig. 3.2). Cette relation linéaire résiste aux changements de modèles de différente complexité, le niveau exact du réchauffement par tonne de CO_2 émise variant cependant selon le modèle. Cette valeur se situe *probablement* (niveau de probabilité supérieur à 66 pour cent) dans une plage comprise entre 0,8 et 2,5 degrés Celsius par 1000 gigatonnes de carbone[1]. Autrement dit, chaque objectif de température correspond à une quantité de CO_2 maximale autorisée. 2 degrés, 1,5 degrés ou 3 degrés Celsius, peu importe : la quantité totale correspondante de CO_2 que nous pouvons émettre est limitée.

Cette idée d'un budget total de CO_2 limité pendant la période jusqu'à l'atteinte de l'objectif de stabilisation de la température souhaité aboutit à des conséquences simples : plus nos émissions sont élevées aujourd'hui, moins elles pourront l'être demain ; plus un pays émet de CO_2, plus un autre doit réduire ses propres émissions. Dès lors que l'objectif de température fixé est atteint, les émissions mondiales devront pratiquement être nulles pour que cette température reste stable.

Budget CO_2 pour l'objectif des 2 degrés

Nous disposons d'un budget d'environ 1000 milliards de tonnes de carbone pour atteindre l'objectif des 2 degrés avec une probabilité minimale de 66 pour cent. Ce budget se réfère toutefois uniquement au carbone provenant du CO_2 et néglige les autres substances sources d'émissions telles que le méthane (CH_4) et le gaz hilarant (N_2O) provenant notamment de l'agriculture ainsi que l'effet de refroidissement des aérosols. Si elles sont intégrées, ce budget CO_2 se réduit pour atteindre 800 milliards de tonnes

1 1 GtC = 1 gigatonne de C = 10^{15} g C = 3,6 Gt CO_2

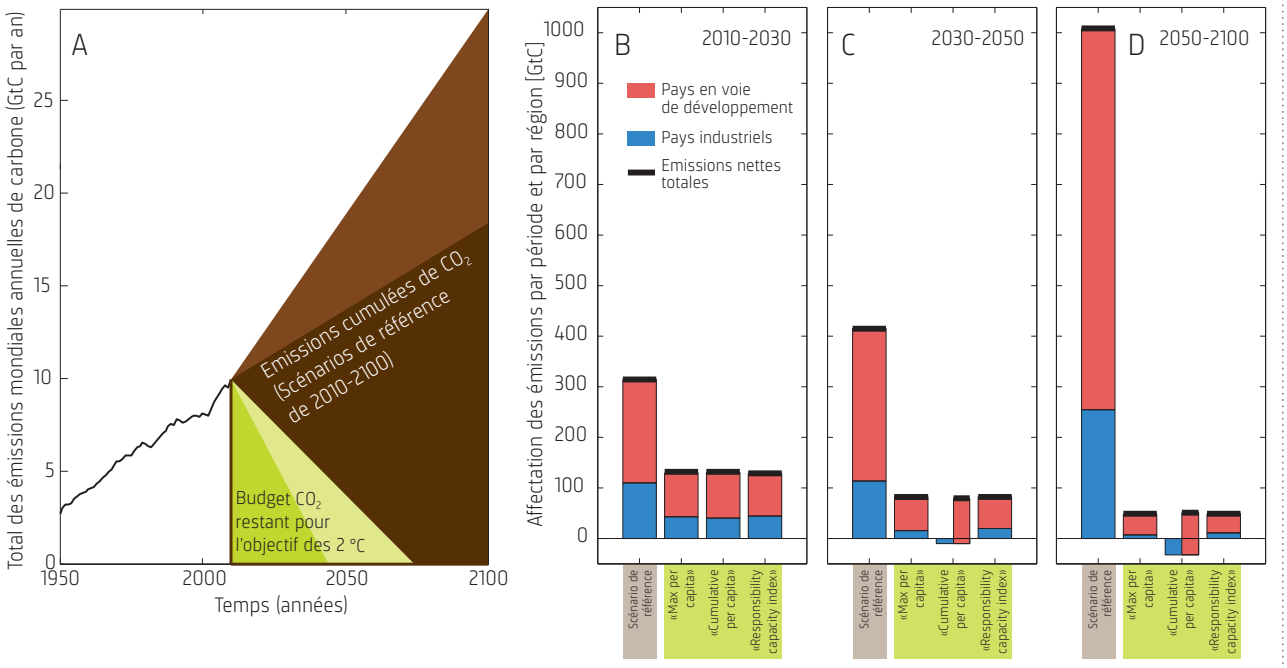


Figure 3.3: Budget de CO_2 restant pour l'objectif climatique des deux degrés. A) Emissions historiques de CO_2 (en noir) et budget de CO_2 pour le reste du XXIe siècle sans mesures de protection du climat (la surface marron représente le total des émissions) et avec protection du climat afin d'atteindre probablement (> 66%) l'objectif des 2 degrés (en vert). B, C, D) Répartition du total des émissions entre les pays industriels (en bleu) et les pays en voie de développement (en rouge, sommes représentées par la ligne épaisse noire) pour 2010-2030, 2030-2050 et 2050-2100, pour les scénarios de référence (colonne de gauche) et trois exemples de répartition des efforts (autres colonnes; «Max per Capita», «Cumulative per Capita» et «Responsibility Capacity Index»). (Source: Knutti & Rogelj 2015)

de carbone, dont environ 515 milliards ont déjà été émis depuis l'ère préindustrielle (1870). Il ne nous reste donc plus qu'un tiers du budget total.

Vouloir atteindre l'objectif des 2 degrés avec une probabilité supérieure à 66 pour cent ou ne pas réussir à réduire suffisamment les émissions de méthane et de gaz hilarant provenant de l'agriculture implique une réduction correspondante du budget de CO_2 restant.

Le problème de la répartition des efforts

La politique internationale a opté pour l'objectif des 2 degrés, en conséquence de quoi il nous reste encore moins d'un tiers du budget total de carbone (cf. ci-dessus). L'accord de Paris évoque également l'objectif supplémentaire d'un réchauffement de 1,5 degré Celsius. Il est associé aux mêmes arguments, le budget total étant cependant encore plus restreint. La manière de répartir ce budget total d'émissions entre les pays et dans le temps est une question éthique et économique à laquelle les sciences naturelles ne peuvent apporter de réponse. En ce qui concerne la répartition entre les pays, les discussions politiques s'appuient fondamentalement sur le principe de «la responsabilité commune, mais différenciée». Cela signifie, en d'autres termes, que le budget de CO_2 est une ressource mondiale et qu'il ne peut être respecté que si tous les pays participent à la solution. Cela ne signifie cependant pas qu'ils doivent tous y apporter une contribution égale puisque leur responsabilité n'est pas identique. On parle ici de répartition des efforts.[2]

Modèles de solution

La plupart des approches visant à répartitirdes efforts abordés lors des négociations sur le changement climatique, tiennent compte de la responsabilité historique d'un pays (émissions historiques et actuelles) en se basant sur le principe du pollueur-payeur, selon lequel les coûts liés à une pollution sont à la charge de celui qui en est à l'origine. D'autre part, on analyse souvent si un pays a la possibilité de réduire ses émissions, en s'appuyant, par exemple, sur le produit national brut par habitant. De ma-

2 L'expression «Burden sharing» (répartition des efforts) désigne l'effort que doit fournir chaque pays, en tenant compte de certains critères d'équité, afin de réduire les émissions. La question parallèle abordée ici concerne la répartition du budget de CO_2, c'est-à-dire la part des émissions totales de CO_2 qui revient à chaque pays (Knutti & Rogelj 2015).

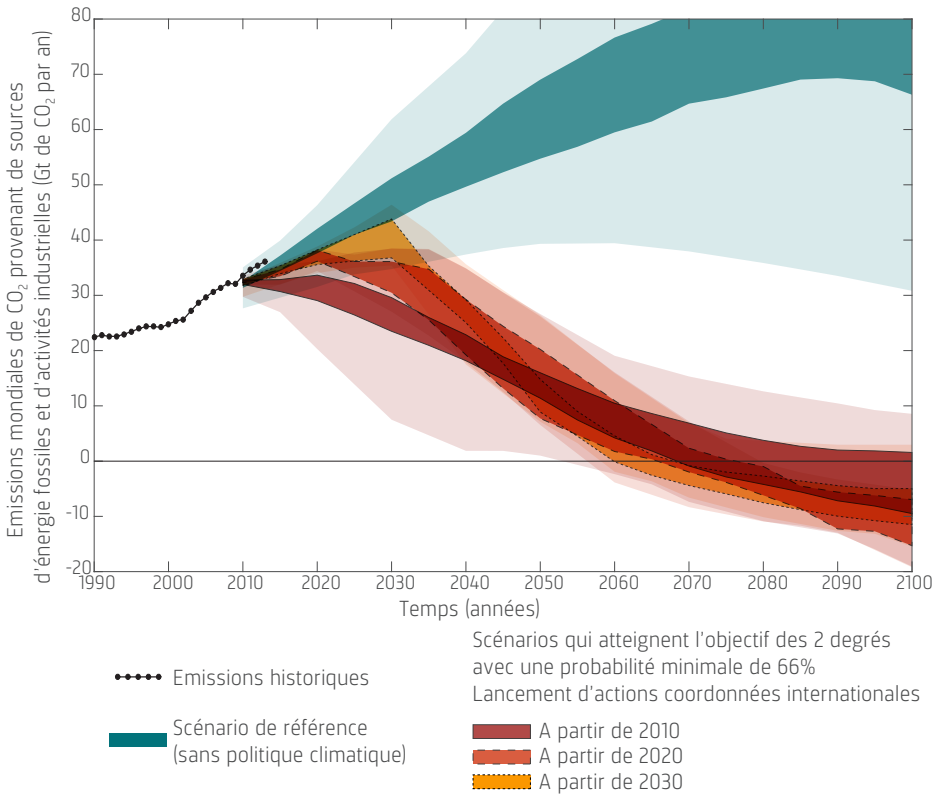


Figure 3.4: Emissions historiques et futures de CO_2 pour les scénarios sans lutte contre les changements climatiques (en vert) et les scénarios visant l'objectif des 2 degrés avec une probabilité minimale de 66 pour cent (orange à rouge), mais avec une mise en place de mesures de protection climatique à des moments différents (2010, 2020 ou 2030). (Source: Knutti et al. 2015)

nière similaire aux impôts, le principe applicable ici indique que chacun doit participer, mais que celui qui possède ou gagne plus peut et doit fournir une plus grande contribution. La figure 3.3 montre la répartition des efforts à l'exemple de l'objectif des 2 degrés et sur la base des trois modèles de solution abordés en priorité, d'autres étant cependant également possibles:

- **«Max per Capita»**: les émissions par tête des pays en voie de développement restent inférieures aux émissions par tête des pays industriels.
- **«Cumulative per Capita»**: les émissions par tête cumulées des pays industriels et des pays en voie de développement restent identiques entre 1990 et la fin du XXIe siècle.
- **«Responsibility Capacity Index»**: les émissions sont réparties entre les pays conformément à leurs émissions historiques et à leur produit national brut.

A court terme, ces trois approches visant à répartitir les efforts sont similaires. A long terme cependant, les émissions des pays industriels devraient être négatives dans le cas du modèle «Cumulative per Capita». Un pays peut atteindre des émissions négatives en achetant, par exemple, des certificats, le prix d'achat correspondant à une économie d'émissions à l'étranger. Il est également possible de combiner la bioénergie avec la séquestration du CO_2: le CO_2 atmosphérique est capté et stocké dans le sol. Ces trois modèles de solution ont en commun que les pays générant aujourd'hui le plus d'émissions devront les réduire le plus fortement et que la plus grande partie du budget restant est attribué aux pays en voie de développement.

Alors que le monde politique en parle depuis longtemps, les pays n'ont pas encore réussi, jusqu'à présent, à se mettre d'accord sur une solution pour la répartition des efforts. Par exemple, la question suivante reste ouverte: les habitants d'un pays sont-ils uniquement responsables des émissions actuelles ou également des émissions des générations précédentes? Le principe de la répartition du budget est critiqué par certains comme étant politiquement inapplicable. D'autres avancent qu'il n'existe aucun «droit de polluer» à partager. Dans une variante, un droit au développement ou à la qualité de vie serait, par exemple, envisageable. Son calcul et ses liens avec les émissions historiques et actuelles sont cependant encore plus subjectifs. En 2015, les pays ont décidé, à Paris, de limiter le réchauffement du système climatique mondial à une hausse clairement inférieure à 2 degrés Celsius, et dans la mesure du possible à 1,5 de-

grés Celsius. Ces objectifs doivent être atteints grâce à une contribution au niveau des pays: chaque pays participant va probablement proposer une contribution qu'il estime équitable. Jusqu'à présent, la somme de ces contributions ne suffit pas pour atteindre l'objectif des 2 degrés ou 1,5 degrés. Une autre vision consiste à considérer qu'il est peu probable de pouvoir résoudre le problème de la réduction des émissions de CO_2 par une discussion sur la répartition des efforts ni par un accord international, mais plutôt par la mise en place de conditions-cadre qui rendraient la décarbonisation si attrayante pour les particuliers, les entreprises ou les pays qu'elle progresserait indépendamment des actions des autres participants (Patt 2015).

Le temps manque pour la décarbonisation

Les modèles d'évaluation intégrée (cf. chap. 1.4 Les modèles climatiques, p. 36) permettent de calculer les profils de CO_2 les plus économiques pour un budget de CO_2 ou un objectif climatique donné (fig. 3.4). Ils prennent également en compte les incertitudes en matière d'émission d'autres gaz à effet de serre et d'évolution de la technique et de la société, par exemple, de la disponibilité ou non de l'énergie nucléaire dans le futur. La figure 3.4 montre que les émissions actuelles se placent dans la plage supérieure des scénarios de référence sans protection climatique et, ainsi, bien au-dessus des scénarios rentables pour atteindre l'objectif des 2 degrés, ces scénarios démarrant la baisse nette des émissions dès 2010 (fig. 3.4, rouge foncé).

Ce schéma met en évidence que plus nous attendons pour mettre en place des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre, plus le rythme de réduction des émissions devra s'accélérer ou, après 2060 par exemple, plus les émissions devront devenir négatives si nous souhaitons atteindre un certain objectif de température. Ainsi, l'objectif des 2 degrés ne paraît que très difficilement réalisable si nous ne freinons pas la croissance des émissions de CO_2 au cours des cinq prochaines années, sans même évoquer l'objectif des 1,5 degrés. Même si certains pays voulaient atteindre leurs objectifs volontaires d'émissions d'ici 2020, un renversement de tendance devrait s'opérer en matière d'efficacité énergétique et de réduction de l'intensité de CO_2. Dans les scénarios économiquement rentables, la réduction nécessaire des émissions entre 2030 et 2050 atteint environ trois pour cent par an. Elle passe à environ cinq pour cent par an dans les scénarios qui partent du principe que les mesures de protection du climat annoncées jusqu'à présent seront effectivement mises en place d'ici 2030. Les scénarios qui supposent que les tendances actuelles se poursuivront jusqu'en 2030 exigent une réduction annuelle des émissions de CO_2 de 6 pour cent. Il est ainsi évident que chaque année supplémentaire qui passe sans prise de mesures globales et internationales de protection du climat amenuise les possibilités de maintenir l'augmentation de la température mondiale en dessous des deux degrés Celsius.

Les engagements volontaires des pays sont insuffisants

Dans les scénarios économiquement rentables pour l'objectif des 2 degrés, les émissions des pays industrialisés en 2030 sont inférieures de 20 à 40 pour cent à celle de 2010 (IPCC 2014/WG III/Tab.6.4) A l'échelle de la planète, une réduction de 40 à 70 pour cent serait nécessaire jusqu'en 2050 pour atteindre l'objectif des 2 degrés, ce qui implique, pour les pays industrialisés, une réduction de leurs émissions de 80 à plus de 90 pour cent en 2050 par rapport à 2010. Ces chiffres s'appliquent pour une grande partie des approches visant à répartitir les efforts (IPCC 204/WGIII/Fig.6-29). Dans de nombreux scénarios, les émissions mondiales de CO_2 deviennent négatives en 2070. En d'autres termes, la quantité de CO_2 stockée par la bioénergie et la séquestration doit dépasser les émissions.

Les engagements volontaires des différents pays sont nettement inférieurs aux réductions nécessaires pour atteindre de manière économiquement rentable l'objectif des 2 degrés comme indiqué dans les figures 3.3 et 3.4 (Rogelj et al. 2016). Malgré toutes les négociations sur la lutte contre les changements climatiques, la communauté internationale est loin d'atteindre l'objectif des 2 degrés, mais vise plutôt à lutter contre un réchauffement de 3 à 4 degrés Celsius (Schaeffer et al. 2013).

Bibliographie

IPCC (2013) **Climate Change 2013: The Physical Science Basis (WGI)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg1

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII)**. www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII)**. Chapter 6 «Assessing Transformation Pathways». www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Knutti R, Rogelj J (2015) **The legacy of our CO_2 emissions: a clash of scientific facts, politics and ethics.** Climatic Change 133: 361–373.

Knutti R, Rogelj J, Sedláček J, Fischer EM (2016) **A scientific critique of the two-degree climate change target.** Nature Geoscience 9: 13–18.

Patt A (2015) **Transforming Energy: Solving Climate Change with Technology Policy.** University Press, Cambridge.

Rogelj J, den Elzen M, Höhne N, Fransen T, Fekete H, Winkler H, Schaeffer R, Sha F, Riahi K, Meinshausen M (2016) **Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C.** Nature 534: 631–639.

Schaeffer M, Gohar LK, Kriegler E, Lowe JA, Riahi K, Van Vuuren DP (2013) **Mid- and long-term climate projections for fragmented and delayed-action scenarios.** Technological Forecasting & Social Change 90: 257–268.

Les tendances nationales d'émissions de gaz à effet de serre

Dans le cadre de la convention des Nations unies sur le climat et du Protocole de Kyoto, la Suisse a mis en place un inventaire national sur les gaz à effet de serre afin d'enregistrer systématiquement ses propres émissions. Ce recensement applique des linges directrices méthodologique normalisées et concerne les émissions produites sur le territoire suisse depuis 1990, ces données étant actualisées chaque année.

Regine Röthlisberger (OFEV)

Les émissions actuelles

La Suisse émet environ 6 t d'équivalents CO_2 par tête et par an directement sur son territoire. Ce chiffre passe à environ 14 tonnes si l'on y intègre également les émissions grises[3]. Il se situe ainsi au-dessus de la moyenne mondiale. Grâce à la part élevée de l'hydraulique et du nucléaire dans la production d'électricité, les émissions de CO_2 de la Suisse sont cependant inférieures à celles de nombreux autres pays européens.

Trois quarts des émissions de gaz à effet de serre proviennent, en Suisse, de l'utilisation d'agents énergétiques fossiles, principalement de mazout, de gaz naturel, de carburant Diesel et d'essence. Ce total ne prend pas en compte les émissions dues à l'aviation internationale, qui sont répertoriées séparément. Si elles l'étaient, il conviendrait d'y ajouter près de 10 pour cent.

Si l'on analyse les émissions de gaz à effet de serre en Suisse en les répertoriant par secteur (fig. 3.5), on constate que la circulation routière (33%) et le chauffage des bâtiments (24% dont 16% pour les ménages et 8% pour les services) sont les deux principaux responsables. Le secteur industriel est à l'origine de 15 pour cent supplémentaires dont 10 pour cent pour la consommation d'énergie et 5 pour cent pour les processus industriels (on citera ici, en particulier, les émissions géogènes de CO_2 dues à la production de ciment). Il est suivi par l'agriculture (émissions de méthane dues à l'élevage animal et émissions de gaz hilarant provenant des sols exploités) avec environ 14 pour cent ainsi que la conversion d'énergie (électricité et chaleur à distance, principalement par les usines d'incinération des ordures ménagères, et les raffineries) avec 8 pour cent. Quatre pour cent du total des émissions proviennent de l'utilisation de gaz fluorés, généralement liés aux fluides frigorigènes. Les deux pour cent restants sont dus à la gestion des déchets (eaux usées, décharges, production de biogaz).

Scénarios d'émissions

Un modèle d'équilibre économétrique[4] a permis d'évaluer l'évolution des émissions de gaz à effet de serre en Suisse jusqu'en 2030 en tenant compte des mesures de politique climatique actuellement en vigueur (cf. chap. 4.2 La poe litique climatique suisse, p. 194) et l'évolution qu'elles auraient connu si aucune mesure de lutte contre les changements climatiques n'avait été mise en place. Cette étude a, par ailleurs, estimé les effets que rendrait possibles un durcissement futur de la politique climatique, ainsi que l'évolution des émissions de gaz à effet de serre en supposant l'application de mesures supplémentaires ou renforcées (fig. 3.6) :

- **Scénario élevé sans mesures (WOM : « without measures »)** : malgré une augmentation forte de la population, de la surface habitée et du produit intérieur brut depuis 1990, le total des émissions de gaz à effet de serre n'aurait que légèrement dépassé le niveau de 1990 grâce au progrès technique et malgré l'absence de mesures de lutte contre les changements climatiques.
- **Scénario intermédiaire avec les mesures actuellement en vigueur (WEM : « with existing measures »)** : les mesures de lutte contre les changements climatiques actuellement en vigueur permettent une réduction de près de 20 pour cent du total des émissions de gaz à effet de serre jusqu'en 2030 et par rapport au niveau de 1990.
- **Scénario inférieur avec un durcissement supplémentaire des mesures (WAM : « with additional measures »)** : le scénario impliquant des mesures supplémentaires et renforcées de lutte contre le réchauffement du système climatique permettrait, jusqu'en 2030, une réduction du total des émissions de gaz à effet de serre de près de 30 pour cent par rapport à 1990.

3 Les émissions occasionnées à l'étranger par les marchandises importées en Suisse.

4 Ce modèle permet de représenter l'économie dans son intégralité et d'étudier un état d'équilibre économique national (gemini-e3.epfl.ch).

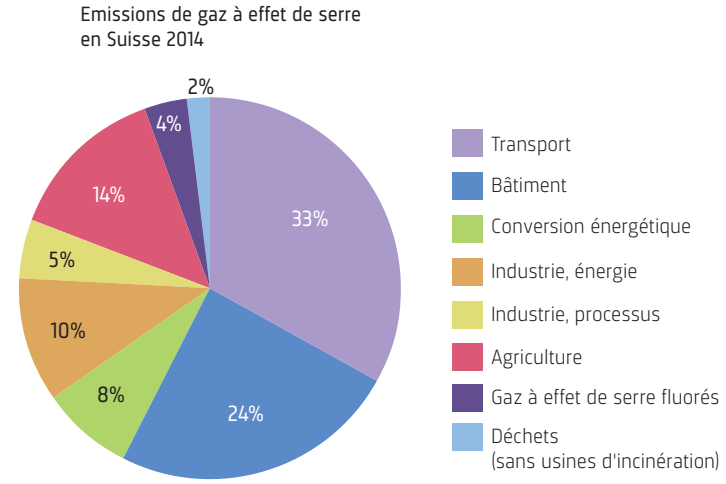


Figure 3.5 : Répartition des émissions de gaz à effet de serre en Suisse selon les secteurs en 2014. (Source : OFEV 2016)

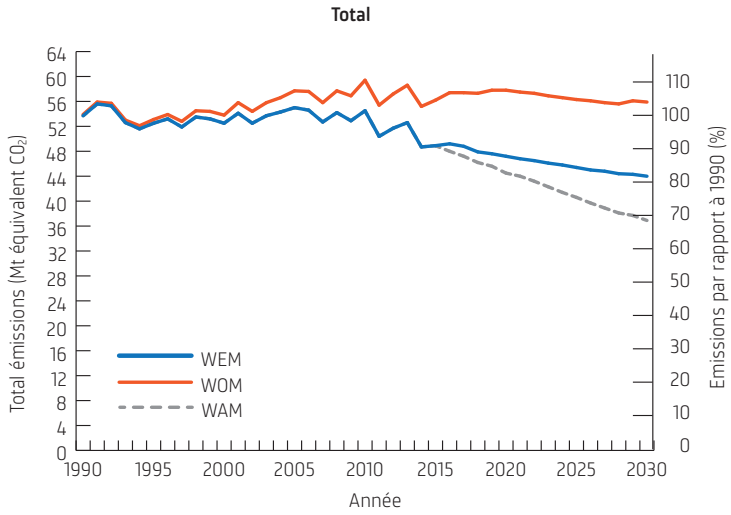


Figure 3.6 : Scénarios d'émissions pour la Suisse (gaz à effet de serre tous traduits en équivalent CO_2). La figure montre l'évolution des émissions de gaz à effet de serre dans les trois différents scénarios : scénario sans mesures de lutte contre le réchauffement du système climatique (WOM : « without measures »), scénario impliquant les mesures actuellement en vigueur (WEM : « with existing measures ») et scénario prévoyant un durcissement supplémentaire des mesures (WAM : « with additional measures »). (Source : EPFL & INFRAS 2016; OFEV 2016)

L'évolution des émissions dans les secteurs transports et bâtiment

La part des secteurs transports et bâtiment dans le total des émissions a connu une évolution contraire depuis 1990 : alors que les transports ont enregistré une légère augmentation, les émissions du bâtiment ont baissé. Jusqu'en 2030, la part des différents secteurs continuera à changer en fonction du scénario, car les transports, le bâtiment, la conversion énergétique et l'industrie évoluent différemment.

Le secteur du bâtiment

Dans le secteur du bâtiment, tous les scénarios supposent une réduction sensible des émissions jusqu'en 2030. L'utilisation de sources d'énergie renouvelables ainsi que les différentes mesures permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments sont aujourd'hui déjà arrivées à maturité ; elles sont mises en place au fur et à mesure et permettent (en particulier grâce au remplacement des systèmes de chauffage à énergie fossile et à l'amélioration de l'enveloppe des bâtiments) d'atteindre, jusqu'en 2030, des réductions d'émissions de 40 à 60 pour cent dans les scénarios WEM et WAM. Même dans le scénario sans mesures politiques (WOM), le progrès technique permet à lui seul de réduire les émissions, à un rythme cependant nettement inférieur par rapport aux scénarios impliquant la mise en place de mesures de politique climatique et énergétique (fig. 3.7).

Le secteur des transports

L'augmentation des déplacements absorbe largement les gains d'efficacité rendus possibles par le progrès technique. Dans le scénario sans mesures politiques (WOM), les émissions de 2030 restent également supérieures à celles de 1990. Dans le scénario impliquant les mesures actuellement en vigueur (WEM), l'utilisation de véhicules efficients est accélérée par la mise en place de mesures et implique des émissions à peu près égales au niveau de 1990. Seul un durcissement supplémentaire des mesures (scénario WAM) permet d'atteindre une réduction maximale des émissions de dix pour cent sous le niveau de 1990, et ce malgré une augmentation des déplacements jusqu'en 2030 (fig. 3.8).

Les secteurs de l'industrie et de l'agriculture

La part de l'industrie (émissions liées à la consommation d'énergie et aux processus industriels) reste stable. En revanche, celle des émissions agricoles augmente légèrement jusqu'en 2030. En chiffre absolu, les émissions régressent légèrement.

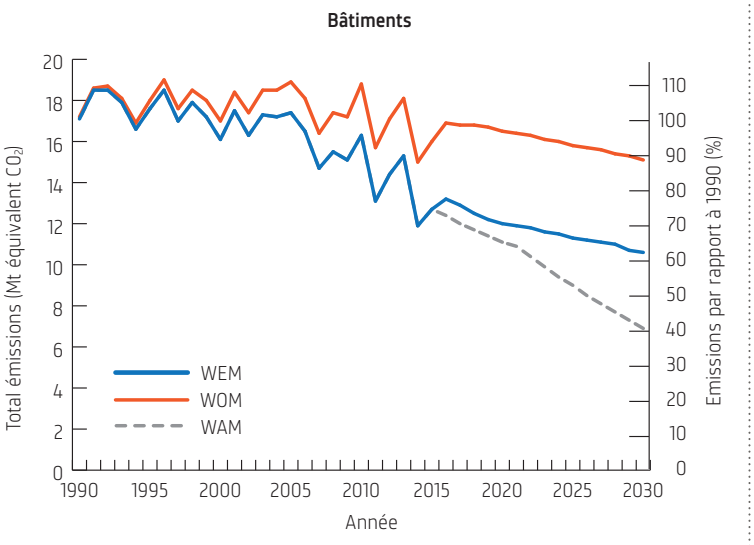


Figure 3.7: Scénarios d'émissions pour le secteur du bâtiment.
(Source: EPFL & INFRAS 2016; OFEV 2016)

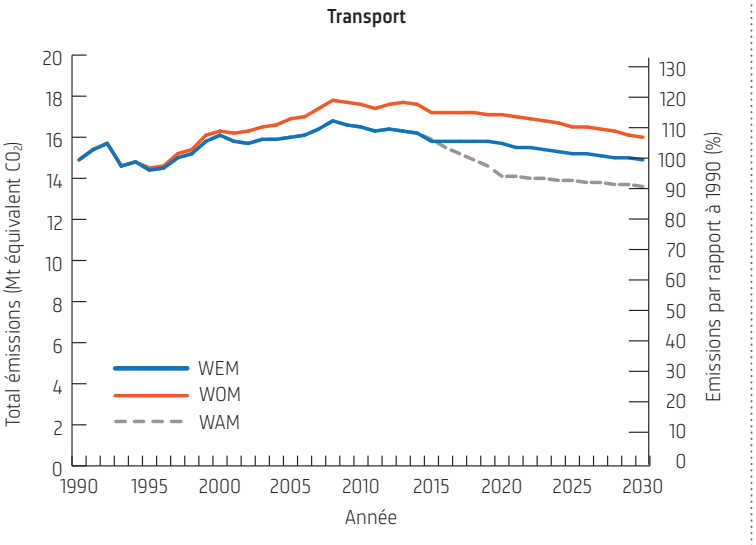


Figure 3.8: Scénarios d'émissions pour le secteur des transports.
(Source: EPFL & INFRAS 2016; OFEV 2016)

Bibliographie

EPFL, INFRAS (2016) **Emissions scenarios without measures 1990 – 2030.** Report to the Federal Office for the Environment (FOEN). Zurich & Lausanne, 4 May.

OFEV (2016) **Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2014.** Federal Office for the Environment (FOEN), Bern. www.climatereporting.ch

3.3 Réduction des émissions – changements de comportement

L'économie a beaucoup investi, ces dernières années, dans les mesures de réduction des émissions. En revanche, les rejets de gaz à effet de serre des ménages n'ont pratiquement pas diminué en Suisse pendant les deux décennies passées. La baisse des émissions dans le domaine du chauffage est contrebalancée par une augmentation dans les transports individuels. Les ménages, transports privés inclus, sont responsables d'un bon tiers des émissions totales. Cette stagnation des émissions tient en partie à des conditions-cadres économiques et institutionnelles ainsi qu'à des obstacles psychologiques et sociaux. La connaissance de ces facteurs offre des angles d'approche à la planification de mesures destinées à promouvoir de futurs changements de comportement des ménages.

Renate Schubert (EPF de Zurich)

Le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC sur l'état du savoir, en particulier la partie du groupe de travail III, parue en avril 2014 (IPCC 2014), relève qu'une augmentation de l'efficacité énergétique dans les transports, l'industrie et les bâtiments revêt une importance capitale pour la limitation mondiale des émissions de gaz à effet de serre. Outre des progrès techniques, des changements de comportement – notamment de la part des acteurs privés – sont indispensables; ils permettraient d'abaisser la demande énergétique de 20 pour cent à court terme et de 50 pour cent jusqu'en 2050 et apporteraient ainsi une importante contribution à la réduction des émissions. Mais les auteurs constatent aussi qu'il est difficile d'obtenir ces changements, car les individus s'en tiennent volontiers au statu quo et sont rarement motivés par des considérations à long terme. C'est pourquoi des incitations monétaires et non monétaires, de même qu'une meilleure information, sont primordiales pour faire évoluer les comportements.

De telles considérations sont importantes aussi pour la Suisse. Les ménages causent environ 35 pour cent des émissions de gaz à effet de serre de la Suisse: à peu près 20 pour cent proviennent des ménages proprement dits et environ 15 pour cent des transports privés (OFS 2014). Pendant les deux dernières décennies, les émissions dues aux transports ont fortement augmenté, tandis que celles attribuables au chauffage ont diminué (fig. 3.9). Si les émissions augmentaient moins fortement à l'avenir dans les transports, ou si celles du chauffage diminusaient de façon plus marquée, la somme des émissions du secteur des ménages baisserait, en dépit de la hausse de la population résidente. Cependant, plusieurs obstacles entravent une telle évolution.

Obstacles économiques et institutionnels

Obstacles financiers

Les ménages sont peu incités financièrement à changer leur comportement à l'égard des agents énergétiques fossiles: en effet, les prix de ces combustibles sont plutôt bas et les dommages provoqués par les émissions de gaz à effet de serre, les coûts externes, ne sont pas pris en compte. En outre, les installations qui font appel aux énergies renouvelables, par exemple les voitures électriques ou les chauffages géothermiques, sont encore relativement chères; et dans de nombreux cas, elles sont moins rentables que les installations recourant aux énergies fossiles.

Une autre raison qui empêche souvent les ménages de réduire leurs émissions est qu'ils n'ont pas les moyens financiers pour faire les investissements nécessaires. La transformation du système de chauffage d'une maison individuelle, par exemple le remplacement d'un chauffage à mazout qui dégage beaucoup de gaz à effet de serre par une installation géothermique qui en émet peu, représente un investissement qui dépasse les moyens de nombreux ménages; il en va de même de la pose d'une installation solaire.

Conditions-cadres institutionnelles

A part de tels aspects économiques, des *conditions-cadres institutionnelles* ont également empêché jusqu'ici les consommatrices et consommateurs suisses de réduire plus résolument leurs émissions de gaz à effet de serre (Schubert 2013). De nombreux ménages suisses sont locataires, et non pas propriétaires de leurs logements et maisons, et n'ont pas voix au chapitre lors du choix des systèmes de chauffage ou de climatisation ou pour l'isolation des bâtiments. Or, beaucoup de propriétaires se préoccupent surtout du prix d'achat des installations et sont

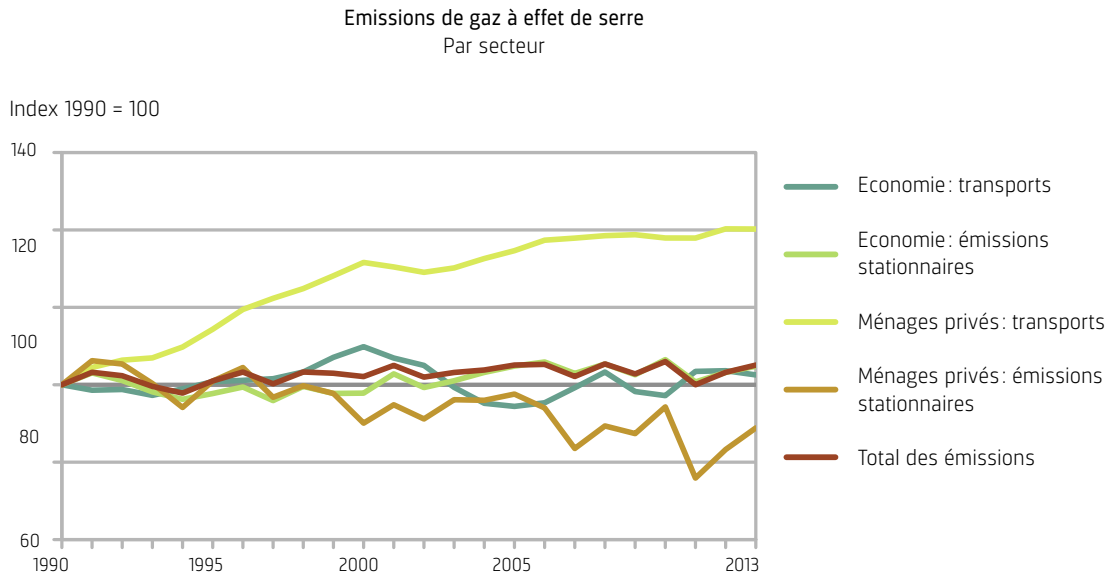


Figure 3.9 : Evolution des émissions de gaz à effet de serre en Suisse de 1990 à 2013. Les émissions totales (ligne brune) ont certes un peu fluctué, mais n'ont pas augmenté substantiellement. Celles des ménages uniquement ont connu un accroissement marqué (de près de 40 pour cent) dans les transports (ligne verte claire), alors qu'elles ont reculé à partir de 2005 dans le domaine des installations stationnaires (ligne jaune) – surtout de chauffage et de refroidissement – avant d'augmenter de nouveau après 2011. Qu'il s'agisse des transports (ligne bleue) ou des installations stationnaires (ligne verte foncée), les émissions du secteur économique en 2013 ne diffèrent pas sensiblement du niveau de 1990. (Source: OFS 2014)

donc peu motivés à passer à des installations produisant peu d'émissions, à isoler les bâtiments ou à prévoir de telles améliorations pour les nouveaux immeubles.

Instruments politiques

Les acteurs politiques ont différentes possibilités d'encourager la réduction des émissions. En Suisse, de tels moyens sont mis en œuvre avant tout dans le secteur économique ; tel est le cas, par exemple, de la redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP), du système d'échange de quotas d'émission et de la taxe sur le CO_2 prélevée sur les combustibles fossiles. En revanche, dans le plus important domaine problématique, les transports privés, des mesures efficaces font défaut jusqu'à ce jour en raison d'un manque d'acceptation au niveau politique. Par exemple, il n'y a toujours pas de taxe sur le CO_2 prélevée sur les carburants. Des normes techniques ont été adoptées jusqu'ici plutôt avec retenue. L'information écologique donnée lors de l'achat d'une voiture est centrée sur des classes d'efficacité énergétique qui caractérisent la consommation de carburant relative par rapport au poids du véhicule, et non pas la consommation absolue. Ces dernières années, l'effet des améliorations techniques de l'efficacité des véhicules a été plus que neutralisé par l'utilisation de voitures plus grosses et plus lourdes. En Suisse, un argument souvent avancé à l'encontre des instruments politiques est qu'ils défavoriseraient des régions rurales reculées ou de montagne. On présume que celles-ci sont dépendantes des transports individuels. Une demande de carburant plus élevée dans ces régions n'est toutefois pas démontrée.

Obstacles psychologiques et sociaux

Ignorance et perception faussée

Aux conditions-cadres économiques et institutionnelles, s'ajoutent des barrières psychologiques et des entraves sociales qui empêchent que des efforts plus importants soient entrepris pour réduire les émissions individuelles de gaz à effet de serre. D'une part, de nombreux ménages *ignorent* dans quelle mesure leur comportement contribue à ces émissions et comment ils pourraient les réduire efficacement. De fait, ils mènent rarement une réflexion sur les conséquences de leur style de vie. La réserve que suscitent en Suisse les campagnes d'information destinées à promouvoir une telle réflexion en est peut-être une raison. D'autre part, la *perception* de nombreux ménages est souvent faussée en ce sens qu'ils ne font pas le rapport entre leur propre comportement et le danger du changement climatique. Pour eux, ce danger est quelque chose

de très abstrait et de très lointain dans l'espace et dans le temps et n'est donc pas particulièrement menaçant (Attari et al. 2010). C'est pourquoi ils ne voient pas de raisons immédiates de se faire du souci pour l'environnement et ne sont pas incités moralement à agir. Ce qui pourrait constituer la base de leur engagement fait ainsi défaut (Lindenberg & Steg 2007).

Normes sociales

L'incertitude au sujet des futures conditions-cadres semble également faire obstacle à des changements de comportement. Des normes sociales, c'est-à-dire la manière de se comporter des autres personnes et ménages, joue un rôle important dans ce contexte. Tant qu'ils ne sont pas sûrs que les autres font aussi des efforts pour réduire leurs émissions, les individus semblent peu enclins à payer de leur personne pour changer de comportement – par exemple à troquer la voiture pour les transports en commun – ou à assumer les coûts monétaires que cela implique (Devine-Wright 2010). Des normes sociales – se traduisant aussi par le fait qu'un grand nombre de personnes font des efforts pour limiter le changement climatique ou que cet engagement est reconnu dans le cercle des amis ou dans les réseaux sociaux – renforcent la disposition à s'investir pour réduire les émissions. Des célébrités qui adhèrent à cet engagement peuvent jouer ici un rôle important de modèles (Abrahamse & Steg 2009).

Effets rebonds

L'ampleur des économies d'énergie et d'émissions est influencée en outre par ce qu'on appelle des *effets rebonds*. Ils consistent en ce que des économies monétaires réalisées d'un côté sont contrebalancées ou même surcompensées ailleurs par une augmentation de la consommation (Gillingham et al. 2013). Un exemple : avec l'argent économisé grâce à un chauffage plus efficace, des ménages s'offrent un voyage supplémentaire à l'étranger, ce qui va à l'encontre des réductions d'émission qu'ils ont réalisées précédemment. De telles rétrogradations à la suite d'actions de réduction des émissions peuvent avoir différentes causes. De nombreuses personnes ont une sorte de budget individuel pour leurs efforts en matière de durabilité. Si elles les accroissent dans un domaine donné, elles les réduisent dans d'autres secteurs : au total, le budget est équilibré (Khan & Dhar 2006). Le concept de « finite pool of worry » entre également dans ce contexte (Weber 2006). Il énonce que le nombre de changements de comportement déclenchés par des préoccupations, par exemple au sujet du changement climatique, est limité. Ainsi les émissions totales d'une personne peuvent fort bien augmenter en dépit des réductions réalisées pour certaines de ses activités.

Le bien-être immédiat a la priorité

Une autre entrave aux réductions d'émission des ménages tient au fait que de nombreuses personnes donnent la préférence à leur bien-être présent ou immédiat et n'agissent pas en fonction de ce que pourrait être leur sort, ou celui de leurs enfants ou petits-enfants, dans un avenir lointain. Des taux d'escompte élevés, que l'on observe d'ailleurs surtout en cas d'incertitude et de bas revenu, ont pour effet que des réductions d'émission ainsi que les coûts personnels et monétaires associés sont renvoyés à un avenir indéterminé (Greene 2011). Un tel report est aussi fréquemment l'expression d'une *aversion au risque*. Les individus reculent par crainte des pertes – or, les réductions d'émission sont souvent perçues comme telles : les coûts présents des changements de comportement sont mis en balance avec des revenus incertains qui, de toute manière, ne seront perçus que dans l'avenir.

Approches pour réduire ces barrières

Que pourrait-on faire pour que davantage de ménages en Suisse abaissent leurs émissions de gaz à effet de serre ? Etant donné le rôle très important joué par les aspects économiques, il semble inéluctable de donner un prix aux émissions, c'est-à-dire de taxer plus fort les énergies fossiles – aussi les carburants – et de modifier les conditions-cadres institutionnelles de manière à créer de véritables incitations à réduire les émissions.

En plus de l'appel à des actions volontaires, des mesures de politique énergétique sont nécessaires. Elles obtiennent en général leur plus haut degré d'acceptation qu'elles sont ressenties comme équitables, lorsqu'elles tendent à accroître plutôt qu'à diminuer la liberté de choix des personnes qui s'impliquent, qu'elles mettent l'accent sur plus d'efficacité au lieu d'exiger des renoncements et qu'elles visent à réduire la consommation d'énergie au niveau domestique plutôt que dans les transports (Steg 2008). Ce dernier point confirme que pour réduire les émissions dues aux transports, on ne peut guère miser sur le comportement individuel, mais qu'il faut recourir à des normes techniques et à des incitations financières tangibles (telles que la taxe sur le CO_2).

Il serait de plus utile que les ménages disposent de plus nombreux retours d'information sur leurs émissions (par exemple par une empreinte carbone obligatoire) et d'une plus large base de connaissances, comme des données sur la consommation d'énergie des produits et des maisons

ou appartements. Des informations sur les systèmes domestiques de mesure de la consommation énergétique seraient également bienvenues. De vastes campagnes d'information remédieraient au manque de connaissances et augmenteraient la prise de conscience. Les entreprises notamment pourraient jouer un rôle important en fournissant des informations à leurs collaboratrices et collaborateurs et en leur proposant des mesures concrètes. De tels programmes d'entreprise auraient l'avantage de mettre en évidence le fait que d'autres personnes agissent également. Ceci pourrait accroître sensiblement la disposition à assumer des coûts en rapport avec les réductions d'émission.

Un effet similaire pourrait être obtenu en misant sur la dynamique des réseaux sociaux fréquentés et importants pour les individus concernés. Ces réseaux serviraient peut-être de levier pour faire sauter les limites étroites des budgets individuels en matière de durabilité. Ils pourraient aussi accélérer des changements du style de vie, par exemple par davantage de « j'aime » pour un comportement énergétique efficace, des actions de covoiturage ou d'autres initiatives de ce genre.

Les mesures d'encouragement à l'efficacité énérgétique devraient être accompagnées d'une information sur le risque de contrebalancer ces efforts par une augmentation de la consommation ou du confort dans d'autres domaines (effet rebond). Cet avertissement doit faire comprendre aux individus que leurs efforts n'atteindront pas l'objectif visé, à savoir la réduction des émissions, s'ils les annihilent par de nouvelles activités dans un autre domaine. La mise en évidence de telles contradictions entre les intentions d'une personne et le résultat effectif de ses actes ainsi que de voies permettant de les résoudre s'est révélée très efficace pour promouvoir le respect de l'environnement dans les activités humaines. En outre, la définition d'objectifs concrets (par exemple « réduction de 20 pour cent de la consommation d'électricité »), l'échange d'expériences direct avec des personnes qui ont entrepris avec succès des activités de réduction, ou encore l'affichage de notes de rappel (« Merci d'éteindre la lumière en sortant ») sont des moyens qui ont fait leur preuve pour soutenir les efforts individuels (Osbaldiston & Schott 2012).

Bibliographie

Abrahamse W, Steg L (2009) **How do socio-demographic and psychological factors relate to households' direct and indirect energy use and savings?** Journal of Economic Psychology 30: 711–720.

Attari SZ, DeKay ML, Davidson CI, de Bruin WB (2010) **Public perceptions of energy consumption and savings.** PNAS 107: 16054–16059.

Devine-Wright P (2010) (ed.) **Renewable energy and the public – From NIMBY to participation.** Earthscan, London.

Gillingham K, Kotchen MJ, Rapson DS, Wagner G (2013) **The rebound effect is overplayed.** Nature 493: 475–476.

Greene DL (2011) **Uncertainty, loss aversion, and markets for energy efficiency.** Energy Economics 33: 608–616.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Khan U, Dhar R (2006) **Licensing effect in consumer choice.** Journal of Marketing Research 43: 259–266.

Lindenberg S, Steg L (2007) **Normative, gain and hedonic goal-frames guiding environmental behaviour.** Journal of Social Issues 63: 117–137.

OFS (2014) **Comptabilité environnementale. Les émissions de gaz à effet de serre par acteur économique.** www.bfs.admin.ch

Osbaldiston R, Schott JP (2012) **Environmental Sustainability and Behavioral Science: Meta-Analysis of Proenvironmental Behavior Experiments.** Environment and Behavior 44: 257–299.

Schubert R (2013) **Instrumente zur Vermittlung von Wertewandel und Verhaltensänderungen im nachhaltigen Umgang mit den Ressourcen der Erde.** Nova Acta Leopoldina 400: 367–396.

Steg L (2008) **Promoting household energy conservation.** Energy Policy 36: 4449–4453.

Weber EU (2006) **Experience-based and description-based perceptions of long-term risk: Why global warming does not scare us (yet).** Climatic Change 77: 103–120.

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 CO_2. 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 CO_2. 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 CO_2, 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 CO_2 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 CO_2 et 5 pour cent en tant que méthane. Etant donné la grande persistance du CO_2 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 CO_2 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 CO_2, 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.

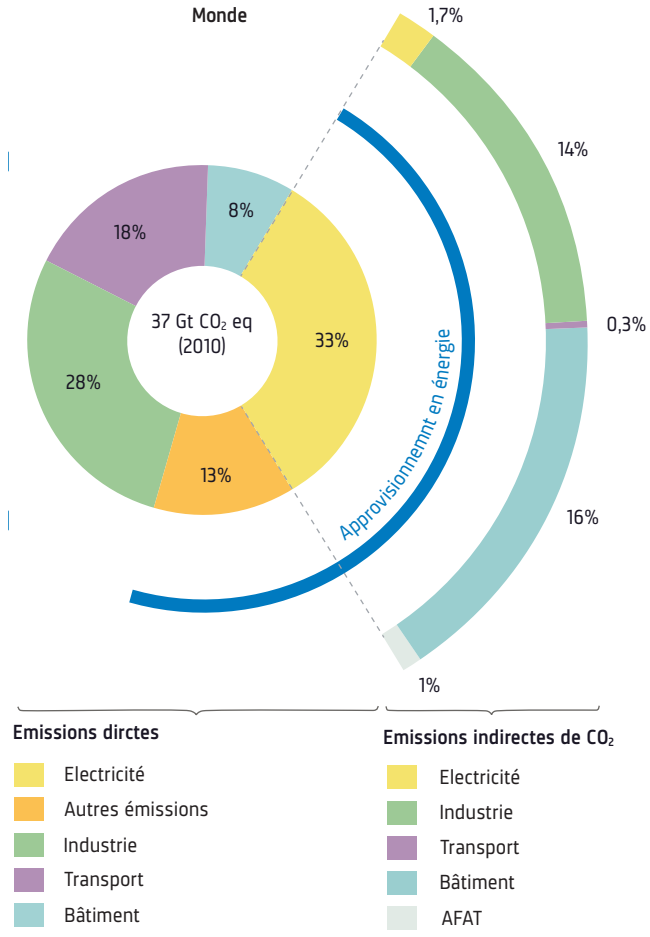


Figure 3.10a: Emissions mondiales de gaz à effet de serre générées par la mise à disposition et l'utilisation d'énergie: 46% des 37 gigatonnes d'équivalents de CO_2 que représentent les émissions mondiales de gaz à effet de serre des activités énergétiques proviennent de la l'approvisionnemnt en énergie, notamment de la production d'électricité (33%). Ces émissions indirectes sont imputées aux secteurs d'utilisation finale. La totalité des émissions est donc causée par les secteurs de l'industrie (28+14 = 42%), des transports (18%) et du bâtiment (8+16 = 24%). 87% des émissions totales des activités énergétiques sont des émissions directes ou indirectes de CO_2. Le reste des émissions (13%) sont surtout du méthane et proviennent de l'extraction et du transport d'agents énergétiques fossiles. (Source: adapté d'après IPCC 2014/ WGIII/Fig.SPM.2, sans émissions AFOLU directes)

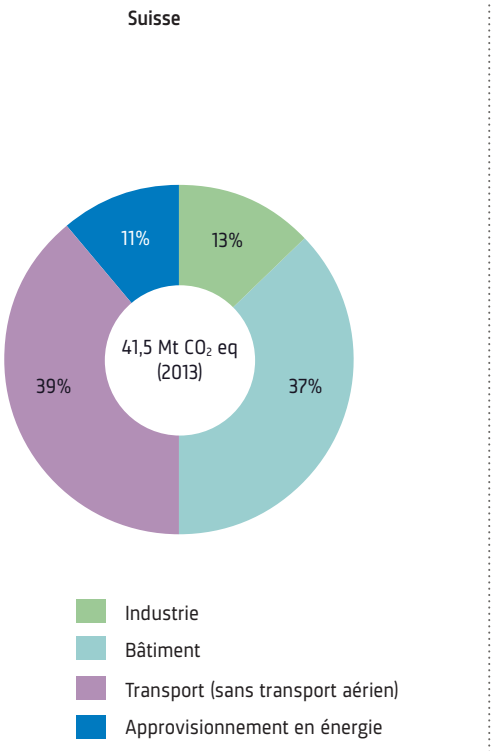


Figure 3.10b: Emissions de gaz à effet de serre des activités énergétiques en Suisse: En 2013, les émissions de gaz à effet de serre se sont élevées en Suisse à 41,5 mégatonnes d'équivalents de CO_2, ce qui est en gros mille fois moins que le rejet mondial de 37 gigatonnes d'équivalents de CO_2. A noter toutefois qu'environ un citoyen du monde sur mille vit en Suisse. Environ la moitié des 11% imputables aux émissions de l'approvisionnement en énergie proviennent de la production d'électricité d'usines d'incinération, ordures. (Source: OFEV 2015)

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 CO_2 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

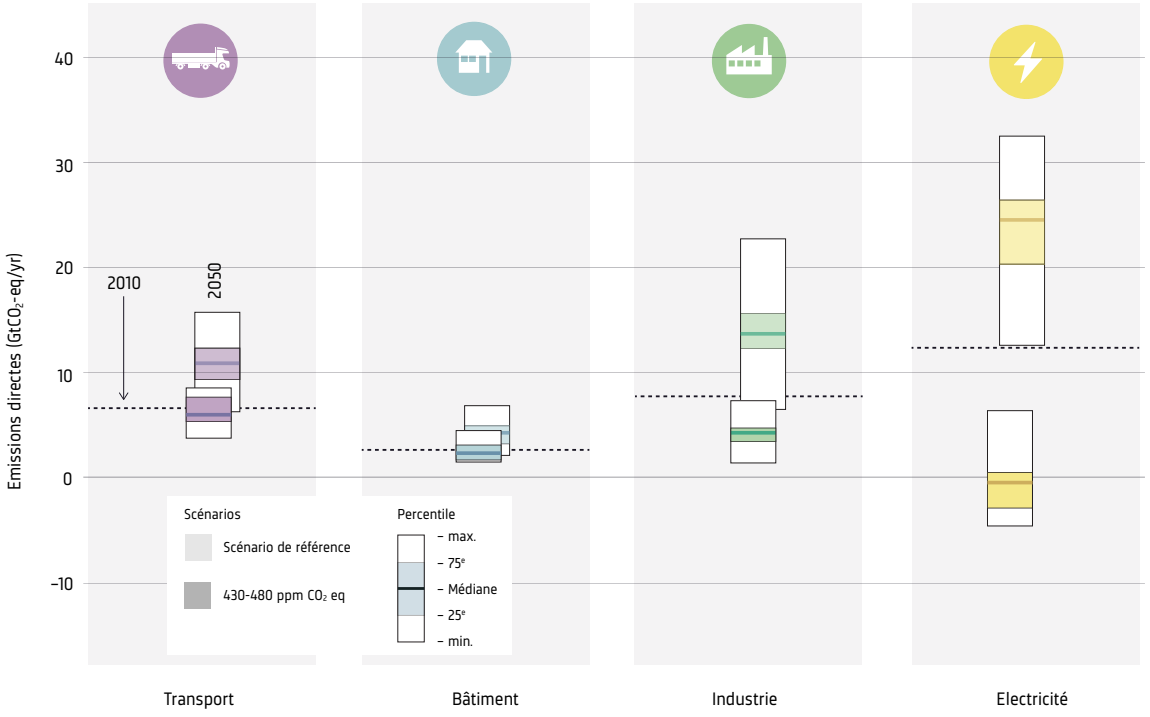


Figure 3.11: Emissions mondiales directes de gaz à effet de serre par secteurs. Les émissions de 2010 sont représentées par une ligne pointillée (elles correspondent aux valeurs de la fig. 3.10a). Dans l'hypothèse « Poursuite de la politique énergétique actuelle » (RCP8,5, barres faiblement colorées), 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 CO_2 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 CO_2, 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 CO_2, 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

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-

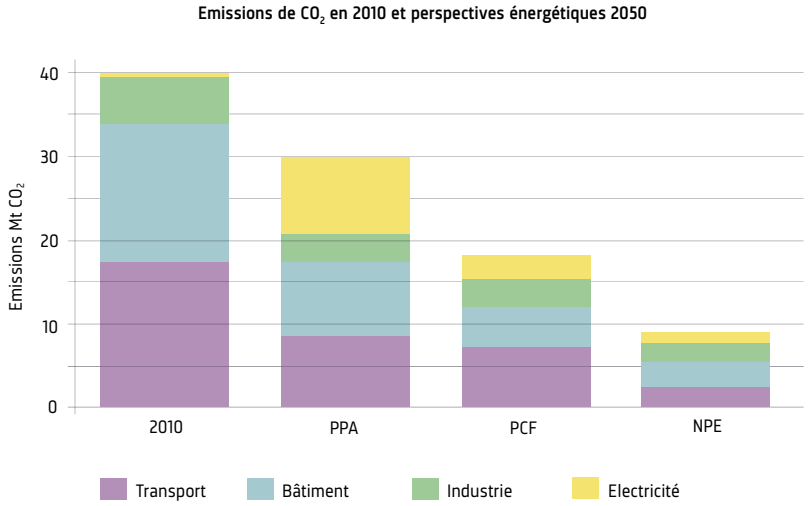


Figure 3.12: Emissions de CO_2 de la Suisse en 2010 et 2050 pour trois scénarios des perspectives énergétiques 2050 de l'OFEN: Poursuite de la politique énergétique actuelle (PPA), Mesures politiques du Conseil fédéral (PCF) et Nouvelle politique énergétique (NPE). La sortie du nucléaire et le développement 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 CO_2 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 CO_2) dues à la consommation de carburant dominent. 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 CO_2,
- 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 CO_2 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, provenantt 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2. 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 (« microgrids ») 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.

3.5 Transports

En Suisse, les émissions engendrées par le secteur des transports émanent principalement du trafic routier de personnes et de marchandises. Si la tendance à des voitures de plus en plus lourdes et puissantes s'accompagne d'une amélioration de leur efficacité énergétique, celle-ci se voit largement compensée par l'accroissement de la circulation, d'où l'augmentation des gaz de serres constatée en 2007. Sous l'effet des nouveaux instruments politiques instaurés en 2008, l'efficacité énergétique s'est encore améliorée et les émissions de gaz à effet de serres sont restées stables depuis lors dans le secteur des transports ; aucune tendance à la baisse n'est donc discernable à ce jour. A l'échelle mondiale, l'augmentation des revenus est accompagnée par celle des transports de personnes et de biens. Pour empêcher que le trafic réduise à néant tous les autres efforts entrepris dans ce sens, il est indispensable que les émissions de CO_2 qu'il engendre soient nettement dissociées de toute considération liée aux performances économiques.

Peter de Haan (Ernst Basler + Partner)

La mobilité est une condition essentielle au développement économique (transports de marchandises et marché du travail) et social (interactions sociales et loisirs). Surtout dans le domaine des loisirs, elle peut représenter une fin en soi et non pas se réduire à couvrir une distance de A à B. Cela se traduit par l'augmentation chaque année du degré de motorisation de la population de Suisse et du monde entier – et avec elle, du volume du trafic. Notre mode de vie rend la mobilité impérative et amène à la considérer comme allant de soi ; on a donc tendance à fermer les yeux sur ses méfaits (pollution atmosphérique, bruit, embouteillages).

Degré de motorisation

Alors qu'en 1990, le nombre de voitures pour mille habitants n'était encore que de 442, en 2015 il atteignait un pic de 541, soit 22 pour cent de plus. En Suisse et ce en dépit d'un pouvoir d'achat élevé, le taux de motorisation des particuliers se situe légèrement au-dessous de ses voisins, ce qui peut trouver son explication dans la densité de son réseau de transports publics. Le pouvoir d'achat plus élevé en Suisse se traduit plutôt par l'achat de véhicules neufs plus coûteux et plus performants. Les statistiques relatives au nombre de véhicules circulant sur les routes de Suisse présentent ces chiffres pour l'année 2015 :

Les moyens de transport

Au trafic routier viennent s'ajouter les transports aériens, maritimes, fluviaux, lacustres et ferroviaires et militaires, sans oublier les véhicules hors route, tels que machines de chantier, tracteurs agricoles et forestiers et véhicules industriels, ainsi que les appareils mobiles (tondeuses à gazon), ces deux dernières catégories revêtant une importance relativement minime.

- 4 450 000 voitures de tourisme,
- 65 000 autobus,
- 340 000 véhicules de livraison,
- 54 000 camions/poids lourds,
- 672 000 motocycles,
- 153 000 motocycles légers et cyclomoteurs,
- 191 000 véhicules agricoles et forestiers et
- 67 000 véhicules industriels.

Volume du trafic

En Suisse, les transports publics (2014 : 24,3 milliards voyageurs-kilomètre[1]) affichent une croissance annuelle d'environ 1 pour cent, le trafic motorisé individuel (2014 : 95 milliards voyageurs-kilomètre) de 1,8 pour cent (en majeure partie sur les autoroutes) ; le transport de marchandises par rail (2014 : 12,3 milliards tonnes-kilomètre) augmente chaque année de 2,8 pour cent, leur transport par route (2014 : 17,5 milliards tonnes-kilomètre) de 1 pour cent par année. Les angles sous lesquels la politique d'aménagement du territoire et celle des transports ont abordé la question n'ont pas permis à ce jour de freiner la forte croissance du trafic. Au moyen de la redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP), du subventionnement des transports publics de personnes et du fort développement de leur réseau, les pouvoirs publics cherchent à reporter la majeure partie de la croissance des transports de personnes et de marchandises sur le rail. Dans le reste du monde aussi, le volume du trafic augmente, celui des personnes de 80 pour cent et celui des marchandises de 50 pour cent d'ici 2050 par rapport à 2010, annonce le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC (IPCC 2014/WGIII/Chap.8).

1 Valeur numérique des prestations de transport ; 1000 voyageurs-kilomètre correspondent à un train transportant 100 personnes sur 10 kilomètres ou une voiture parcourant 250 km avec 4 personnes à bord.

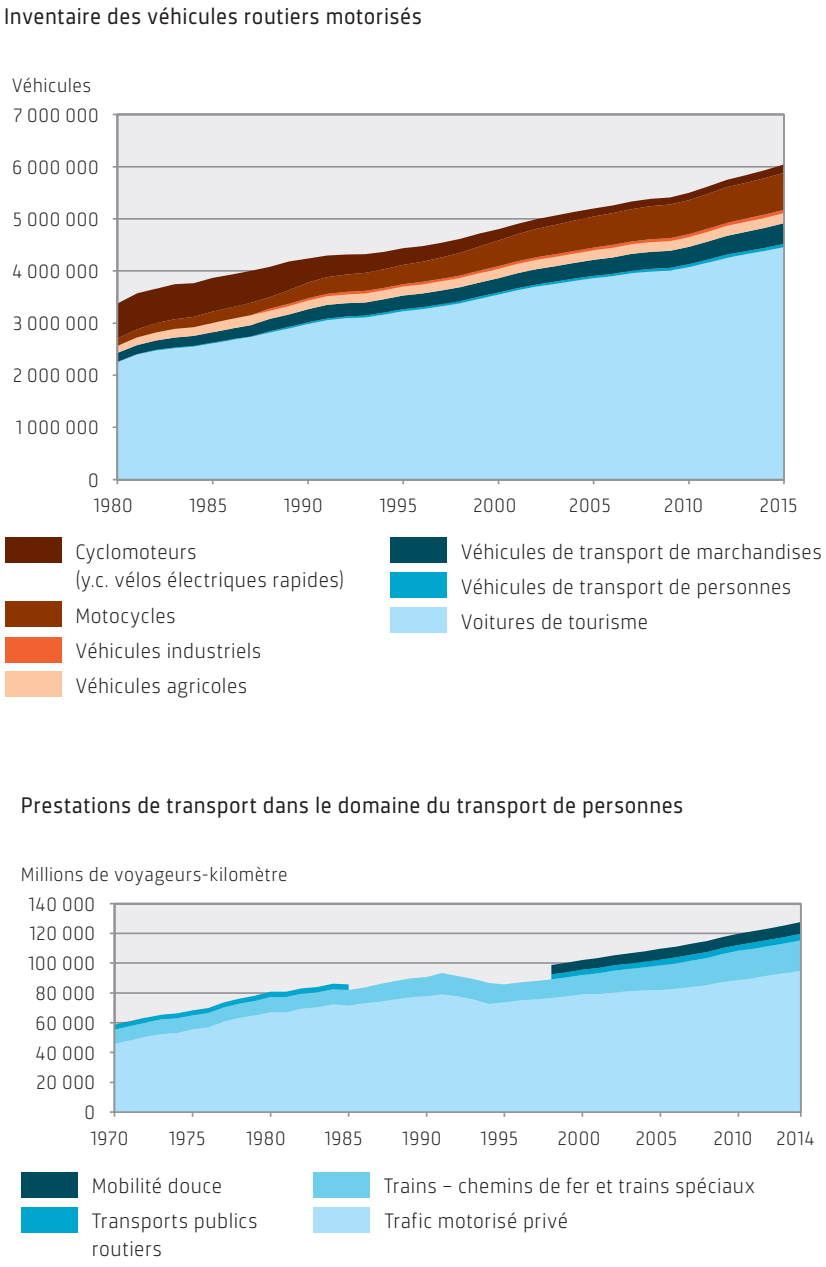


Figure 3.13: Parc des véhicules motorisés (1980-2015) et prestations du transport de personnes (1970-2014). En ce qui concerne les prestations du transport de personnes, les données relatives aux transports routiers publics manquent pour la période 1986-1997. (Source: OFS 2016)

En plus des raisons d'ordre démographique, cette hausse s'explique par la transformation de l'économie. La croissance du secteur tertiaire et des services suit de près la production économique et la mobilité leur emboîte le pas. De nombreuses personnes travaillant dans les centres urbains doivent franchir des distances de plus en plus grandes pour s'y rendre, du fait de ne plus pouvoir habiter près de leur lieu de travail. Ces deux liens de cause à effet sont particulièrement prononcés en Suisse, où ils tendent à devenir une généralité.

Pour faire baisser le taux d'émissions de gaz à effet de serre malgré l'augmentation du trafic, c'est sur l'efficacité

énergétique des voitures que les efforts doivent se concentrer année après année afin de l'améliorer.

Tendances relevées pour les voitures de tourisme

Dès lors qu'une voiture est mise en circulation, elle ne quitte plus la route jusqu'à ce qu'elle soit techniquement à bout de course, peu importe qu'elle soit énergétiquement efficace ou non. La double politique énergétique et climatique de la Suisse concentre donc ses efforts sur les achats de voitures neuves. Les prescriptions concernant les émissions de CO_2 ne s'appliquent encore qu'aux voitures de tourisme, mais non aux véhicules de livraison. Depuis 2015, une limite est fixée à leurs émissions de CO_2, exprimée en nombre de grammes par kilomètre. Lorsque cette limite est dépassée, le propriétaire de la voiture est soumis à une sanction. C'est un moyen d'amener les constructeurs automobiles à concentrer leurs innovations sur l'efficacité énergétique et les vendeurs à les vendre au public. Il ne devrait pas en résulter que la voiture moyenne voit sa taille diminuer, ni son prix augmenter, étant donné que les limites annuelles assignées aux perfectionnements techniques devraient suffire à atteindre les objectifs fixés. Entre 1996 et 2014, le taux moyen d'émissions de CO_2 des voitures de tourisme neuves a baissé chaque année de 2,3 pour cent (OFEV 2015); or une plus forte réduction aurait été obtenue si la taille et la puissance moyenne de ces voitures n'avaient pas augmenté.

L'UE entend promulguer une directive analogue s'appliquant aux véhicules de livraison, du fait qu'à l'instar des voitures de tourisme, les moteurs des modèles lancés sur le marché sont souvent surpuissants. Le Conseil fédéral a proposé au Parlement d'intégrer cette directive à la législation.

La loi sur le CO_2 n'a pas atteint son objectif partiel

La raison pour laquelle l'efficacité énergétique des systèmes de propulsion mobile est supérieure à celle des applications fixes est que plus d'attention lui a été accordée du fait que le carburant doit être transporté. L'objectif partiel carburants de la loi sur le CO_2 (une réduction de 8 pour cent des émissions de gaz carbonique entre 1990 et 2020) était fixé avec moins de rigueur que l'objectif partiel des combustibles (réduction de 15 pour cent). En dépit de cela, l'objectif carburants n'a pas pu être réalisé en raison d'une forte augmentation du nombre de véhicules privés en circulation, qui a passé de 78 millions de voyageurs-kilomètre en 1990 à 95 millions en 2014, soit 22 pour cent de plus.

En plus du volume de trafic accru et de l'augmentation de la taille des voitures de tourisme, il y a une troisième raison à ce que les émissions de CO_2 ne baissent pas, malgré une efficacité énergétique en hausse: la consommation effective de carburant s'éloigne toujours plus de la quantité fixée comme norme par le biais d'un test effectué au niveau fédéral. Alors que l'écart était auparavant de moins de dix pour cent, il s'est creusé par la suite, atteignant jusqu'à 40 pour cent pour des véhicules construits dans les années 2012 et 2013. Ils étaient par conséquent conformes à ce test, voire, comme dans le cas de Volkswagen, nouvellement rééquipés pour augmenter leur efficacité énergétique en regard des critères de celui-ci. Il en résulte que, tels qu'ils sont livrés et conduits dans leur état actuel, ces véhicules consomment nettement plus de carburant qu'avant.

Tendances relevées pour le trafic par rail et les transports de marchandises

La répartition du volume de transport entre les divers moyens de locomotion (répartition modale) utilisés en Suisse s'est légèrement décalée: en 2014, les transports publics affichaient un volume de trafic total de 20,4 pour cent contre seulement 18 pour cent en 1990.

Le transport de marchandises s'est considérablement développé dans toute l'Europe, passant en Suisse de quelque 20 milliards de tonnes-kilomètre en 1990 à 30 milliards. Alors qu'en 1990, environ la moitié des transports de marchandises s'effectuait par la route (10 milliards de tonnes-kilomètre), ils représentaient en 2013 une part de quelque 60 pour cent (17,5 milliards tonnes-kilomètre). Que la Suisse soit parvenue à stabiliser la part des transports de marchandises par rail à près de 40 pour cent – contrairement au reste de l'Europe, où leur proportion diminue – est dû à l'interdiction faite aux poids lourds de rouler la nuit, à la perception de la redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP) et au subventionnement des transports ferroviaires transalpins. L'instauration de la RPLP a placé la Suisse au rang de précurseur: la perception de cette taxe permet une imputation interne des coûts externes liés au transport de marchandises.

Tendances relevées pour les transports aériens

Le relevé des émissions de CO_2 émanant du trafic aérien domestique procède de diverses définitions des frontières sectorielles, c'est-à-dire des critères pris en compte pour attribuer ces émissions à chaque pays. Les quotas fixés par le Protocole de Kyoto n'intègrent que le carburant

utilisé pour les vols domestiques ; à la différence de pays de la taille des Etats-Unis, les vols effectués sur le réseau aérien interne de petits pays comme la Suisse sont quasi insignifiants. Pour sa part, le GIEC prend en considération tous les vols vendus à l'intérieur d'un pays et le carburant que ceux-ci consomment. Pour en faire le calcul exact, il faudrait se baser sur l'empreinte écologique (la consommation en ressources) de tous les vols effectués par la population suisse, par conséquent aussi ceux vers l'étranger. Bien qu'aussi applicable à d'autres domaines, ce principe a surtout une raison d'être dans les transports aériens, étant donné que les émissions qu'entraînent les déplacements des Suisses en avion affectent en majorité des pays étrangers.

Les chiffres concernant la consommation de kérosène varient en fonction de la base sur laquelle celle-ci est calculée.

- **Protocole de Kyoto** : les vols domestiques consomment près de 100 millions de litres de kérosène.
- **IPCC** : les vols vendus en Suisse représentent au total quelque 1900 millions de litres de kérosène.
- **Empreinte écologique** : environ 2500 millions de litres de kérosène pour tous les voyages en avion des Suisses.

Grâce à l'apparition dès 1990 de nouveaux modèles d'avions plus grands, plus légers et avec un taux d'occupation plus équilibré, leur consommation de kérosène dans le monde entier a diminué de 60 pour cent, se réduisant actuellement à 3,7 litres pour 100 voyageurs-kilomètre. Cependant, le volume du trafic aérien est toujours en forte augmentation : globalement de 4,6 pour cent par année et de 5,11 pour cent en Suisse pendant la période de 2010 à 2012. Les émissions de CO_2 du trafic aérien global se sont en même temps amplifiées, estimées à 40 pour cent de plus en 2010 qu'en 1990. L'accroissement du trafic aérien a pour principales causes les distances de plus en plus éloignées franchies par les avions et la mise en service de modèles plus grands. Le nombre de vols n'a en revanche que peu augmenté.

Selon la plupart des projections, le trafic aérien mondial annuel est appelé à progresser de cinq pour cent, tandis que l'efficacité énergétique des avions augmente de deux pour cent par année. Pour des pays industrialisés comme la Suisse, cela signifie que les éventuelles réductions des émissions de gaz à effets de serre émanant des transports routiers seront largement compensées par l'augmentation de celles engendrées par le trafic aérien pris en compte séparément.

Bibliographie

INTRAPLAN (2015) **Monitoring der Wettbewerbsfähigkeit des Schweizer Luftverkehrs 2015.** V2.1c, mars 2015: 26. www.bazl.admin.ch

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** Chapter 8 «Transport». www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

OFEV (2015) **Inventaire des émissions de gaz à effet de serre 2015.** www.bafu.admin.ch/inventaire-gas-serre

OFS (2016) **Mobilité et transports. Statistique de poche 2016.** Office fédéral de la statistique (OFS), Neuchâtel, 43 pp.

Route Suisse (2016) **Fédération routière suisse FRS. Vademecum 2016 – les plus importants chiffres des années 2014/2015.** www.strasseschweiz.ch/fr

3.6 Aspects techniques

Les efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre misent dans le monde entier sur de nouvelles techniques qui permettent d'améliorer l'efficacité en matière d'énergie et de rejets. Des prescriptions, incitations, subventions et informations encouragent l'innovation dans ce domaine. Par contre, une réduction de la consommation n'est presque pas prise en considération comme moyen de réduire les émissions, en dépit de potentiels théoriques considérables. Dans ce domaine de la technique, la Suisse est leader avant tout pour ce qui est des bâtiments; dans le secteur des transports, de même que dans celui de l'industrie et de l'artisanat, elle reprend pour l'essentiel la politique de l'UE.

Peter de Haan (Ernst Basler + Partner)

Dans le domaine de la technique, trois voies se présentent pour réduire les émissions :
- la réduction de l'énergie nécessaire par unité de consommation,
- la réduction des émissions de gaz à effet de serre par unité d'énergie et
- la réduction de la demande de ces unités de consommation.

Les deux premières voies représentent l'approche dite de l'**efficacité**, la troisième celle de la **sobriété**. Tant en Suisse qu'au niveau international, la politique climatique et énergétique met l'accent sur l'efficacité.

Exploiter les innovations pour réduire les émissions

L'homme est innovateur et inventif, si bien que presque toutes les techniques font constamment des progrès. Pour presque chaque technique, il existe en quelque sorte un « potentiel annuel d'innovation » relatif à la réduction de la consommation d'énergie. Il ne s'agit d'abord que d'un potentiel. Car étant donné les prix actuellement très bas de l'énergie, le progrès technique est souvent exploité pour obtenir, au même coût, des produits plus gros, plus rapides et plus performants, plutôt que plus efficaces du point de vue énergétique. C'est pourquoi les prestataires de biens et de services devraient être obligés d'exploiter ledit potentiel d'innovation entièrement pour réduire la consommation d'énergie, sans rendre pour autant les produits plus chers. De plus, on souhaiterait amener les consommateurs à opter pour ces produits.

Les secteurs et leurs potentiels de réduction

Les secteurs les plus significatifs du point de vue des émissions directes de gaz à effet de serre sont l'habitat, les biens et services, ainsi que la mobilité. Au niveau international, les rejets de CO_2 de la production d'électricité ont également une importance capitale (cf. chap. 2.14 Consén quences des changements climatiques sur le système énergétique suisse, p. 129, chap. 3.1 Introduction, p. 154).

Bâtiments : nombreuses nouvelles constructions et insuffisance des assainissements

Dans le secteur du bâtiment, le renforcement en cours des prescriptions poursuit le même objectif pour les nouvelles constructions et pour les rénovations. Grâce aux modèles cantonaux de prescriptions en matière de bâtiments, la Suisse fait des progrès rapides dans ce secteur en comparaison du reste de l'Europe.

Les prescriptions cantonales s'appliquant aux nouvaux bâtiments ont été renforcées. Mais suivant l'objectif de réduction visé, il faudrait les rendre encore plus sévères et ne construire plus que des maisons zéro énergie ou même à énergie positive. Les bâtiments existants représentent un défi spécifique : le taux de rénovation annuel d'environ un pour cent actuellement est trop bas pour atteindre les objectifs de réduction de la Stratégie énergétique 2050. Ceux-ci requièrent un taux de rénovation de deux pour cent environ et l'assainissement complet des bâtiments concernés (installations techniques du bâtiment, façade, fenêtres et toit). Or aujourd'hui, les anciennes constructions ne font souvent l'objet que d'une réhabilitation partielle.

Transports : les voitures de tourisme viennent en tête pour les émissions

Chaque bâtiment est unique et les procédés de fabrication industriels et artisanaux impliquent souvent des solutions sur mesure. En revanche, les véhicules routiers sont largement standardisés. Pour être admis sur le marché, ils doivent satisfaire à de nombreuses prescriptions. Un type donné de véhicule peut alors être vendu en grand nombre sans autre contrôle dans tous les pays européens. Dans le secteur des transports, les voitures de tourisme

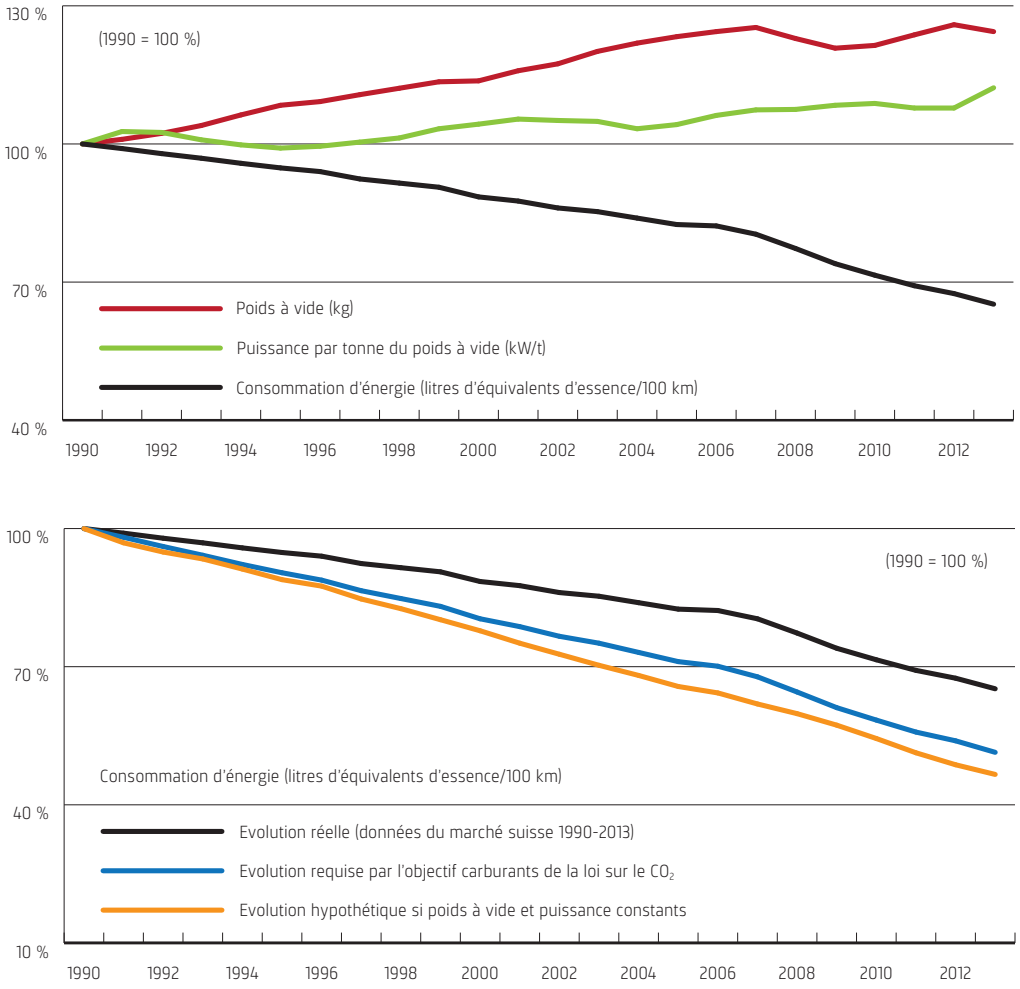


Figure 3.14: Moyennes d'importants indices relatifs aux voitures de tourisme neuves vendues par année en Suisse. En bas: Si le poids moyen à vide des voitures de tourisme et leur puissance moyenne par tonne du poids à vide étaient restés constants au lieu d'augmenter, la consommation moyenne d'énergie jusqu'en 2013 aurait baissé de 53 pour cent par rapport à 1990 – en réalité, cette réduction n'a été que de 35 pour cent. Or, il aurait fallu une réduction de 49 pour cent pour que la Suisse atteigne son objectif sectoriel pour les carburants de moins 8 pour cent en 2010 par rapport à 1990. (Source: figure élaborée par l'auteur au moyen de données tirées de EBP [2015])

viennent en tête en matière d'émissions avec une part de 76 pour cent des rejets de CO_2 du trafic routier en 2015 (OFEV 2010). L'UE et la Suisse visent à exploiter le potentiel maximal de réduction des émissions et fixent à cette fin un objectif d'efficacité exprimé en grammes de CO_2 par kilomètre en moyenne sur toutes les voitures neuves vendues.

Dans le secteur des transports, des objectifs de réduction ambitieux exigeraient un recours accru aux véhicules électriques alimentés en courant renouvelable et une politique favorisant le transfert de la mobilité vers les transports publics, le système de déplacement le plus efficace du point de vue énergétique.

Le secteur de l'industrie et de l'artisanat

Le secteur de l'industrie et de l'artisanat – contrairement aux voitures, appareils ménagers et composants de maisons d'habitation – ne fait pas appel à des techniques uniformes dont la consommation d'énergie pourrait être optimisée en bloc. Les potentiels techniques de réduction se répartissent entre de très nombreuses applications individuelles spécifiques aux procédés. C'est pourquoi les instruments politiques s'appliquant à ce secteur mettent l'accent sur des mécanismes de marché et laissent chaque entreprise décider quels potentiels de réduction des émissions elle entend exploiter en premier. Ceci permet aux entreprises de recourir à des techniques à faibles émissions uniquement dans certaines installations de pro-

duction. En outre, elles peuvent négocier des certificats d'émission avec d'autres entreprises.

Dans le secteur de l'industrie et de l'artisanat, l'exploitation du potentiel technique de réduction est stimulée par l'intégration de la grande industrie dans le système d'échange de quotas d'émission de l'UE (SEQE-UE) ou de la Suisse (SEQE-CH). Le SEQE suisse regroupe les principaux émetteurs du pays ; les droits d'émission leur sont attribués en fonction de la performance moyenne des installations les plus efficaces ; cette manière de faire tient pleinement compte de l'évolution de la technique. D'autre part, de très nombreuses firmes concluent avec l'Office fédéral de l'environnement des conventions d'objectifs librement consenties : en contrepartie de l'exemption de la taxe sur le CO_2, elles réalisent des mesures techniques de réduction qui ne sont pas rentables. La mise en œuvre de ces mesures est contrôlée par des audits spécialisés.

Navigation et aviation

En matière de navigation, l'Organisation maritime internationale de l'ONU a fixé des minimums d'efficacité énergétique. Ils sont définis par les quantités de CO_2 produites pour une puissance propulsive donnée et s'appliquent depuis 2013 à tous les nouveaux bateaux. Ces normes d'efficacité doivent être renforcées tous les cinq ans. Une possibilité supplémentaire de réduire les émissions en matière de navigation est la diminution de la vitesse.

En comparaison des autres moyens de transport, l'aviation internationale ne dispose que d'un faible potentiel technique de réduction des émissions. Les grandes quantités de carburant embarqué accroissent la consommation, raison pour laquelle les constructeurs d'avions sont depuis des décennies attentifs à l'efficacité énergétique. Entre 1990 et aujourd'hui, la consommation de carburant des avions a diminué de plus de 40 pour cent à 3 litres par 100 sièges-kilomètre pour les vols long-courriers, ceci grâce à la diminution du poids des appareils et à l'amélioration de l'aérodynamique et des moteurs. L'évitement des files d'attente, l'adaptation des procédures de décollage et d'atterrissage de manière à mieux exploiter le vol plané, l'augmentation du taux d'occupation et les opérations au sol (transports du tarmac aux docks et pour approvisionner les avions) offrent des potentiels supplémentaires de réduction des émissions. L'Organisation de l'aviation civile internationale de l'ONU estime que des hausses de l'efficacité de 2 pour cent par an sont possibles pendant les 15 prochaines années. Mais selon les prévisions, le trafic aérien mondial connaîtra une progression annuelle de 5 pour cent, si bien que les émissions de CO_2 des transports aériens augmenteront chaque année de 3 pour cent. C'est pourquoi l'UE a intégré tous les vols intra-EEE dans le système d'échange de quotas d'émission de l'UE (SEQE-UE) ; cette mesure sera compensée dans d'autres secteurs par des coûts marginaux d'évitement plus bas. La Commission de l'UE mène des négociations internationales en vue d'intégrer, à partir de 2017, tous les vols au départ ou à destination de l'EEE dans le SEQE-UE – au moins pour le trajet au-dessus du territoire de l'EEE.

Le Protocole de Montréal est important pour la protection du climat

Les hydrocarbures partiellement halogénés, qui ne sont pas soumis au Protocole de Kyoto, ont également une grande importance. Ce sont des produits de substitution des hydrochlorofluorocarbures (HCFC) qui ont été interdits par le Protocole de Montréal pour la protection de la couche d'ozone. Ces substituts ont en partie un très haut potentiel d'effet de serre. Etant donné qu'élargir le Protocole de Montréal est selon toute attente plus facile que mettre en œuvre celui de Kyoto, il est judicieux de prendre des mesures au sujet des hydrocarbures partiellement halogénés dans le cadre du Protocole de Montréal.

Les potentiels techniques seraient théoriquement suffisants

Dans l'ensemble, il apparaît que les potentiels techniques de réduction des émissions sont théoriquement suffisants pour atteindre des objectifs de réduction même ambitieux. Le défi consiste à réaliser ces potentiels. Il est donc nécessaire – mais pas suffisant – d'imposer les meilleures techniques disponibles systématiquement comme standards. Il faut en outre influencer les moteurs de la demande ou limiter les émissions totales et les soumettre à un système d'échange de quotas d'émission. A noter que l'augmentation pronostiquée des émissions du trafic aérien pourrait réduire à néant les réductions obtenues dans d'autres secteurs.

Bibliographie

EBP (2015) **Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen 2014.** 19. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung. 11 juin 2015, 45 pp.

OFEV (2010) **Emissions polluantes du trafic routier de 1990 à 2035. Mise à jour 2010.** OFEV, Berne. Connaissance de l'environnement 1021: 130 pp.

3.7 Agriculture, foresterie et autres affectations des terres

Le secteur AFAT (agriculture, foresterie et autres affectations des terres) est responsable, de par le monde, de près d'un quart des émissions de gaz à effet de serre dues à l'homme. Un peu plus de la moitié revient à l'agriculture (12 pour cent) et le reste à la foresterie et aux autres affectations des terres. Les principales causes sont la déforestation (principalement dans les zones tropicales), les émissions de méthane provenant de l'élevage animal, l'assèchement des zones marécageuses ainsi que les émissions d'azote dues à l'utilisation d'engrais. En Suisse, près de 12 pour cent de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre sont engendrés par l'agriculture. L'alimentation humaine peut jouer un rôle-clé dans leur réduction, en Suisse comme ailleurs.

Carmenza Robledo Abad (EPF de Zurich), Daniel Bretscher (Agroscope), Jens Leifeld (Agroscope)

Emissions mondiales

A l'échelle mondiale, le secteur AFAT (cf. encadré) est responsable de près de 25 pour cent des émissions annuelles de gaz à effet de serre dues à l'homme.[1] A l'inverse de la période 1990-1999, les émissions de gaz à effet de serre du secteur AFAT ont bissé entre 2000 et 2009 malgré une augmentation mondiale de l'élevage animal, de l'utilisation d'engrais et de la population. Cette baisse est liée avant tout à un ralentissement de la déforestation dans certaines zones (en particulier au Brésil). Malgré tout, la déforestation (prioritairement dans les zones tropicales), les émissions de méthane (CH_4) provenant de l'élevage animal, les émissions de CO_2 dues au assèchement des marais et les émissions de gaz hilarant (N_2O) liées aux engrais restent les principales sources de gaz à effet de serre dans le secteur AFAT (fig. 3.15).

AFAT

Le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC (IPCC 2014/WGIII/Chap.11) traite pour la première fois, ensemble, de l'agriculture, de la foresterie et des autres affectations des terres en les réunissant sous l'acronyme AFAT (agriculture, foresterie et autres affectations des terres). Il est ainsi plus facile de considérer de manière complète et systémique les possibilités de réduction des émissions dans ce secteur et de quantifier les économies possibles correspondantes.

1 Sauf indication contraire, les informations sur les émissions concernent la période 2000-2010. Source des données : cinquième Rapport d'évaluation du GIEC (IPCC 2014/WGIII/Chap.11) et Inventaire suisse des émissions de gaz à effet de serre conformément au cahier des charges 2016 (OFEV 2016).

Les émissions en Suisse

L'agriculture : baisse des émissions grâce à une diminution du cheptel bovin et de l'utilisation d'engrais

Entre 2000 et 2010, la Suisse a produit en moyenne 52 millions de tonnes d'équivalent CO_2 par an dont environ 12 pour cent reviennent à l'agriculture. Ces émissions agricoles se composent principalement de méthane provenant de la digestion des animaux de rente (54 pour cent) et de gaz hilarant émanant des sols fertilisés (26 pour cent). Pour ces deux gaz, les émissions provenant du stockage du lisier jouent également un rôle important (19 pour cent).

Une analyse plus détaillée du secteur agricole montre que les émissions directes de gaz à effet de serre y ont baissé de 8 pour cent sur les 25 dernières années alors que parallèlement la production agricole a légèrement augmenté. Nous devons cette baisse, en premier lieu, à une réduction du cheptel de bovins et à une utilisation moindre des engrais azotés rendue possible par une plus grande efficacité de l'azote. La baisse concerne surtout le début des années 1990. Depuis, les émissions de gaz hilarant sont restées stables. Les émissions de méthane sont le reflet de l'évolution du cheptel bovin : elles ont brièvement augmenté jusqu'en 2008 avant de retomber jusqu'au niveau de l'an 2000.

Outre les émissions qui lui sont directement attribuées par l'Inventaire national, le secteur agricole est concerné par d'autres émissions indirectes. Il s'agit en particulier des émissions grises liées à la fabrication de certains moyens de production (engrais, fourrages importés etc.). Ces émissions grises (provoquées par l'importation de produits alimentaires) jouent un rôle important pour le bilan de la consommation. Les émissions liées aux importations sont à peu près aussi élevées que les émissions directes de méthane et de gaz hilarant que l'Inventaire suisse sur les gaz

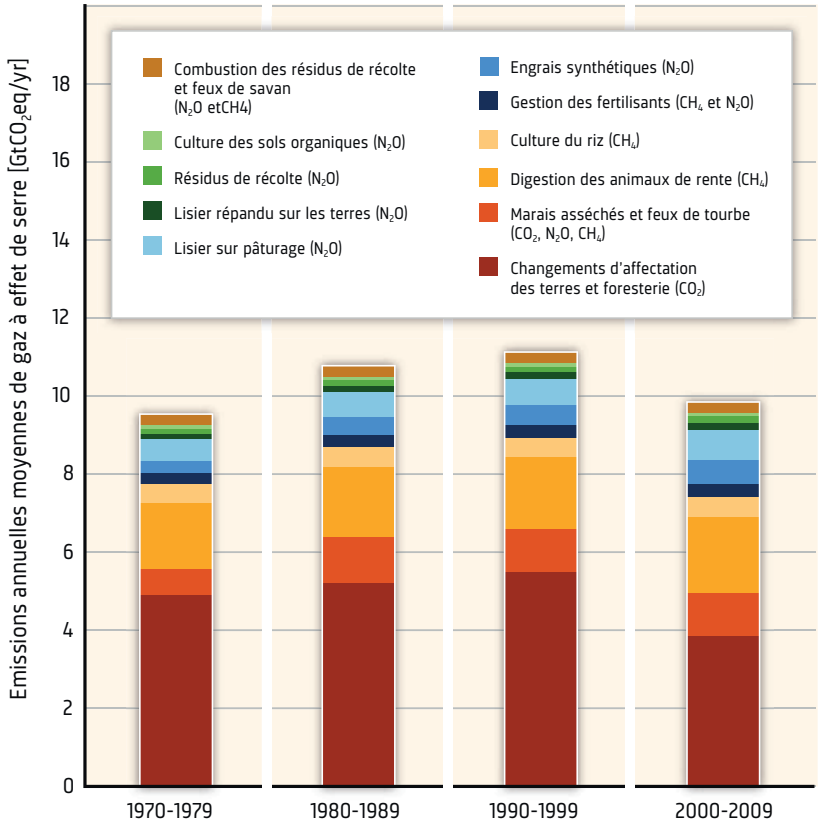


Figure 3.15: Emissions de gaz à effet de serre dans le secteur AFAT entre 1970 et 2009. (Source: IPCC 2014/WGIII/Chap.11)

à effet de serre attribue au secteur agricole. Le total des émissions provenant de l'agriculture et de l'alimentation n'a cessé d'augmenter depuis 1990 suite à l'accroissement de population, le taux d'émissions par personne étant resté stable. Nous pouvons ainsi en déduire que l'alimentation humaine, au-delà de l'agriculture en tant que telle, joue un rôle-clé dans l'identification et l'évaluation des mesures visant à réduire les émissions.

La foresterie: la biomasse forestière augmente en Suisse

En foresterie, les émissions de CO_2 sont avant tout décrites sous la forme de modifications dans les réserves de carbone des écosystèmes, c'est-à-dire de bilans bénéfices-pertes. L'accroissement de la biomasse forestière a une influence positive sur le bilan suisse des gaz à effet de serre, car la compensation qu'elle représente est bien plus élevée que les pertes dues à la récolte du bois et/ou aux chablis. En fin de compte, la foresterie suisse a ainsi agi comme un puits de CO_2 en compensant en moyenne, entre 2000 et 2010, 1,9 million de tonnes de CO_2, soit près de 3,4 pour cent de toutes les émissions suisses.

(Une modification de) l'affectation des terres joue un rôle secondaire en Suisse

En raison de la stabilité que connaît l'affectation des terres en Suisse, les changements dans ce domaine jouent un rôle nettement secondaire pour les émissions de gaz à effet de serre par rapport à l'échelle internationale. Il existe cependant toujours de grandes incertitudes dans l'évaluation des sources et des puits de CO_2 dans les sols agricoles. Les émissions de CO_2 provenant de sols marécageux asséchés et utilisés par l'agriculture représentent ici une source importante avec près de 0,6 million de tonnes de CO_2 (cf. encadré Les zones humides : sources de méé thane ou de CO_2 1, p. 185).

Potentiel d'atténuation à l'échelle planétaire

Le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC analyse les possibilités de réduire les émissions dans le secteur AFAT en séparant les mesures concernant l'offre (agriculture et foresterie) et celles concernant la demande (produits alimentaires, utilisation du bois; tabl. 3.1). Une réduction des émissions du côté de la demande, mais aussi

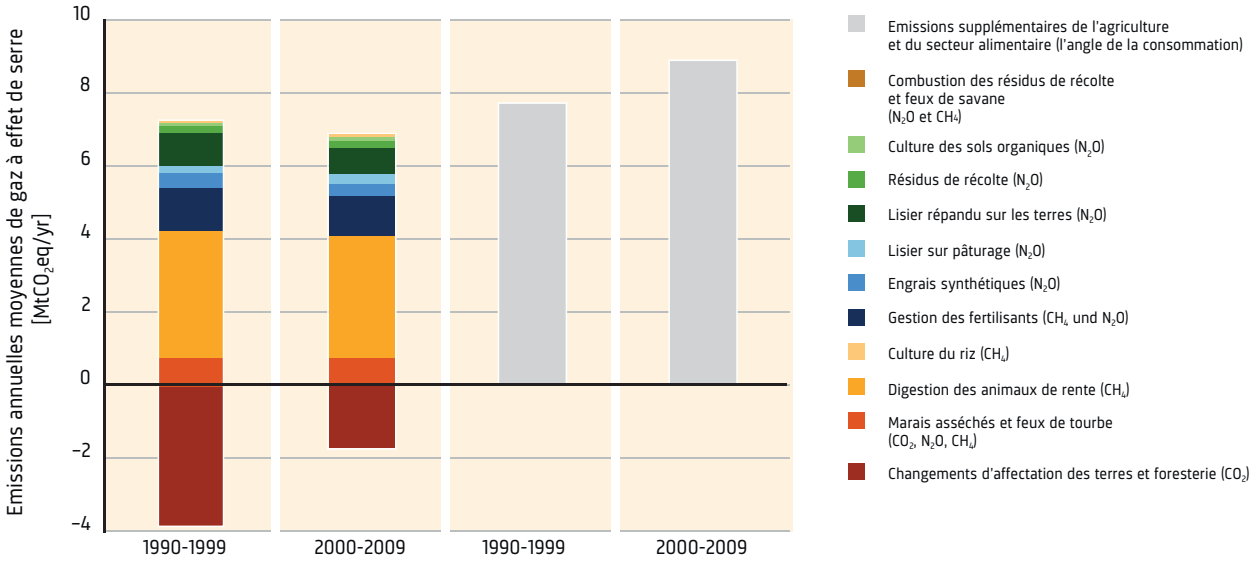


Figure 3.16 : Emissions de gaz à effet de serre dans le secteur de l'AFAT et émissions supplémentaires de l'agriculture et du secteur alimentaire entre 1990 et 2009 en Suisse. En raison d'approches méthodiques différentes, les valeurs de la figure 3.16 ne sont pas directement comparables à celle de la figure 3.15. (Source : OFEV 2016; Bretscher et al. 2014)

du stockage exige une modification du comportement de consommation à différents niveaux.

Du côté de l'offre, le potentiel économique de réduction du secteur AFAT est évalué, à l'horizon 2030, à 7,2-11 milliards de tonnes d'équivalent CO_2. Le prix d'une tonne d'équivalent CO_2 économisée est estimé pouvoir atteindre 100 USD. Environ un tiers de ce potentiel pourrait être épargné à un prix inférieur à 20 USD par tonne d'équivalent CO_2. Les mesures de réduction côté demande recèlent un potentiel très prometteur avec 0,76-8,6 milliards de tonnes d'équivalent CO_2 par an jusqu'en 2050. De grandes incertitudes demeurent en ce qui concerne la mise en œuvre de ces mesures au niveau de la politique sociétale. Par ailleurs, la production d'énergie à partir de la biomasse peut jouer un rôle essentiel dans cette réduction dès lors que les aspects de durabilité, tels que les effets sur la production alimentaire ou la biodiversité, sont pris en compte.

Potentiel d'atténuation en Suisse

De manière analogue à la situation mondiale, les potentiels de réduction se situent, pour la Suisse, aussi bien du côté des mesures techniques dans le domaine de l'offre (agriculture et foresterie) que du côté de la demande. En ce qui concerne l'agriculture, la Stratégie Climat de l'Office fédéral de l'agriculture ambitionne une réduction des émissions agricoles de gaz à effet de serre d'un tiers (par des mesures techniques et organisationnelles au niveau de la production agricole) et de deux tiers au niveau de la consommation jusqu'en 2050 (par rapport à 1990). Les émissions peuvent baisser, par exemple, grâce à une amélioration de l'efficacité de l'azote, une alimentation équilibrée des animaux de rente, une optimisation de la gestion du cheptel (en particulier des ruminants) ou une réduction des besoins en agents énergétiques fossiles. Actuellement cependant, il est encore incertain dans quelle mesure ces potentiels peuvent être mis en place et atteints de manière efficace et vérifiable. Influencer les processus biochimiques sous-jacents qui y sont généralement étroitement liés s'avère, dans la pratique, très difficile. Par ailleurs, le déplacement possible des émissions au sein des chaînes de processus, les effets secondaires indésirables (transfert de pollution) ou le risque de baisses de production représentent d'importants défis.

Les émissions de gaz à effet de serre peuvent également être évitées grâce à des mutations au niveau de la demande ainsi qu'une réduction des pertes alimentaires (normes de produits, stockage, transport, foyers). Les différents taux d'émission par kilogramme d'aliment produit représentent, en particulier, un potentiel de réduction important. Les produits animaux ont une influence généralement bien plus élevée sur les changements climatiques que les produits végétaux. Dans les pays où la consommation d'aliments animaux est élevée, comme en Suisse, une alimentation plus végétarienne serait souhaitable. Etant donné les restrictions qui limitent les possibilités de réduction sur le plan technique et organisationnel du

Côté offre	Mesures
Foresterie	Diminution de la déforestation
	Reboisement et reforestation
	Sylviculture
	Protection des forêts secondaires
Culture des végétaux	Culture des champs (plantations, engrais, préparation des sols, irrigation, culture du riz, remise en eau des sols organiques, jachères, utilisation du charbon végétal)
	Exploitation des prairies (végétation, élevage, utilisation du feu)
	Revégétalisation des surfaces sans végétation
	Renaturation des surfaces organiques
	Meilleure efficacité de l'utilisation des engrais
Elevage	Optimisation de l'alimentation destinée aux bêtes
	Optimisation de l'utilisation du cheptel (p. ex. : sélection, gestion du cheptel, santé des animaux, système d'étables et de pâturage)
	Meilleure utilisation des fertilisants agricoles
Systèmes intégrés	Culture agro-sylvicole
	Exploitations mixtes, cultures intermédiaires
	Utilisation multiple de la biomasse
Généralités	Conservation des puits de carbone existants
Bioénergie	Culture ciblée de plantes énergétiques efficaces
	Production d'énergie à partir des résidus agricoles et sylvicoles ainsi que des déchets organiques industriels
Côté demande	
Diminution du gâchis alimentaire	
Modification des habitudes alimentaires vers des produits qui occasionnent moins d'émissions	
Utilisation à long terme du bois, utilisation de bois provenant d'une sylviculture certifiée	

Tableau 3.1: Mesures mondiales de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de l'AFAT. Ces mesures sont réparties selon qu'elles concernent l'offre ou la demande. L'importance de chaque mesure varie d'une région à l'autre. Par exemple, un ralentissement de la déforestation est très important dans les régions aux forêts denses telles que le bassin du Congo ou celui de l'Amazonie, tandis que la renaturation des sols organiques joue un rôle essentiel dans certains pays européens (cf. encadré Les zones humides : sources de méthane ou de CO_2 1, p. 185). (Source : IPCC 2014/WGIII/Chap.11)

secteur AFAT (cf. ci-dessus), les mesures côté demande s'avèrent particulièrement importantes.

La foresterie et les autres affectations des terres permettent de stocker le CO_2 atmosphérique sous la forme de biomasse ou de séquestration du carbone dans le sol. Etant donné les surfaces relativement vastes consacrées à l'agriculture et aux forêts, des changements relativement petits dans les flux de carbone pourraient avoir de grandes conséquences. La fonction de puits dont se chargent les forêts et les sols minéraux est cependant limitée dans le temps, jusqu'à ce que le stock maximal de biomasse et du taux de carbone est atteint (cf. chap. 2.9 La forêt, p. 106). Par ailleurs, l'emprisonnement du CO_2 est à tout moment réversible. En théorie du moins, l'utilisation des sols organiques (utilisation extensive ou arrêt de leur exploitation) renferme un grand potentiel. En raison du déficit de données, il est très difficile de définir la taille réelle du puits potentiel théorique et effectivement applicable en Suisse. Ce point fait l'objet actuellement de recherches.

La production d'énergie à partir d'agrocarburants joue en Suisse un rôle secondaire en raison des surfaces utilisées par les autres secteurs. En revanche, la production et l'utilisation des énergies renouvelables (photovoltaïque, énergie éolienne, bois, méthanisation du lisier et biomasse) renferment des potentiels de réduction supplémentaires dans les exploitations agricoles et forestières.

Dimension	Aspects
Institutionnelle	Questions liées à la propriété et à l'affectation
	Mise en œuvre des directives politiques
	Coordination intersectorielle
Sociale	Sécurité alimentaire
	Santé publique
	Protection des animaux
	Egalité des droits
Economique	Acquisition de grandes surfaces de terre
	Diversification des revenus
	Emploi
	Mécanismes de financement
Environnementale	Disponibilité de la terre et utilisation de la concurrence
	Biodiversité, eau, sol
	Stabilité des écosystèmes
Technique	Accès aux infrastructures
	Transfert technologique
	Acceptation des techniques

Tableau 3.2: Dimensions prises en compte pour un développement durable. (Source : IPCC 2014/WGIII/Chap.11)

AFAT et développement durable à l'échelle mondiale

Le secteur AFAT joue un rôle central pour un développement durable à l'échelle de la planète. La population mondiale vit pour moitié en zone rurale. Elle est ainsi généralement tributaire de l'agriculture et/ou de la foresterie. Le cinquième Rapport d'évaluation souligne ainsi le caractère systémique des mesures d'atténuation dans le secteur AFAT. C'est pourquoi le GIEC étudie les mesures de l'AFAT sous un angle institutionnel, social, économique, environnemental et technique (tabl. 3.2) en insistant sur leurs interactions. Par exemple, une reforestation est plus facile à réaliser si les questions de propriété sont résolues et peut, parallèlement, contribuer à résoudre les conflits éventuels concernant les droits de propriété.

L'étendue des effets de ces différentes mesures sur le développement durable varie d'une région à l'autre et dépend du contexte local, de la surface totale, de la vitesse des mutations techniques et du type d'affectation des sols. Le rapport souligne également l'importance d'une gestion responsable des affaires publiques (bonne gouvernance) comme facteur central pour un développement durable.

En raison du commerce mondial, de la collaboration internationale et de la consommation privée directe de produits importés, la Suisse est étroitement liée au développement durable mondial. Dans ce contexte, agir de manière responsable en ce qui concerne les mesures d'adaptation et d'atténuation dans les questions climatiques est d'une importance similaire.

Les zones humides : sources de méthane ou de CO_2

A l'échelle mondiale, les zones humides, en particulier les zones marécageuses, stockent près d'un tiers du carbone organique présent dans les sols, et ce alors qu'elles ne représentent qu'environ trois pour cent des surfaces totales. Si les marais sont naturels, le carbone y reste stocké plusieurs milliers d'années. La conservation des zones marécageuses encore intactes représente donc une solution efficace pour limiter, à l'avenir, les émissions de CO_2 du secteur AFAT. Si en revanche, les marais sont asséchés pour être transformées en terres agricoles ou sylvicoles ou pour récolter la tourbe, cela implique une décomposition microbienne rapide et irréversible de la tourbe en libérant de grandes quantités de CO_2 et, à plus petite échelle, de gaz hilarant (N_2O). A l'échelle mondiale, environ dix pour cent des zones marécageuses sont asséchées. Ce taux atteint toutefois près de 50 pour cent en Europe et plus de 90 pour cent en Suisse. Une renaturation de ces marais dégradés peut renverser le bilan négatif des gaz à effet de serre, toutefois au prix d'un abandon de leur exploitation. En Suisse, la part des sols marécageux dégradés se trouvant sous des terres arables ou des prairies est estimée inférieure à un pour cent.

Bibliographie

Bretscher D, Leuthold-Stärfl S, Felder D, Fuhrer J (2014) **Emissions de gaz à effet de serre dans l'agriculture et la filière alimentaire en Suisse.** Recherche Agronomique Suisse 5: 458–465.

IPCC (2013) **Climate Change 2013: The Physical Science Basis (WGI).** Chapter 6 «Carbon and Other Biogeochemical Cycles». www.ipcc.ch/report/ar5/wg1

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** Chapter 11 «Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)». www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Joosten H (2010) **The global peatland CO_2 picture.** Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world. Ede, The Netherlands: Wetlands International, 36 pp.

Leifeld J (2013) **Prologue paper: Soil carbon losses from land-use change and the global agricultural greenhouse gas budget.** Science of the Total Environment 465: 3–6.

OFEV (2016) **Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2014. National Inventory Report.** Including reporting elements under the Kyoto Protocol. Submission of 15 April 2016 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol, 629 pp.

3.8 Stratégies urbaines face au changement climatique

Plus de la moitié de la population mondiale vit dans des villes et selon certaines estimations cette proportion atteindra presque 70 pour cent d'ici 2050; en Suisse, on s'attend même à un taux de 80 pour cent. L'augmentation de la densité de population, de bâtiments et d'infrastructures accroîtra la vulnérabilité des villes suisses. Mais l'urbanisation recèle d'autre part un grand potentiel de réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre, avant tout par des mesures en matière d'aménagement du territoire et des infrastructures et par l'assainissement du parc immobilier. Il faut promouvoir les espaces urbains compacts à usage mixte, habités par un mélange de population, caractérisés part de courtes distances d'approvisionnement et bien dotés en voies piétonnes et pistes cyclables. L'assainissement du parc immobilier suisse et des infrastructures existantes permettrait de réduire les émissions de 50 à 80 pour cent par rapport au niveau de référence de 1990.

Adrienne Grêt-Regamey (EPF de Zurich), Jean-Louis Scartezzini (EPF de Lausanne)

Les villes sont responsables de deux tiers de la consommation d'énergie de la planète et de plus de 70 pour cent des émissions de gaz à effet de serre (GEA 2012). En même temps, l'urbanisation avance à pas de géant: selon toutes prévisions, la population urbaine atteindra plus de six milliards d'êtres humains d'ici 2050, ce qui représentera deux tiers des habitants du globe. La Suisse ne fera pas exception: plus de 80 pour cent de sa population – qui aura atteint, selon les estimations, 10,2 millions d'habitants (OFS 2014) – vivra dans des villes (United Nations 2014). Aujourd'hui, cette évolution a lieu surtout dans des agglomérations de petite à moyenne taille, dans lesquelles la surface habitable augmente deux fois plus vite que la population résidente (OFS 2015). La surface habitable moyenne par personne à Zurich, Genève et Lausanne, de 40 mètres carrés est nettement inférieure à la moyenne suisse de 45 mètres carrés (UVS 2016). En Suisse, 30 pour cent des émissions sont actuellement imputables aux bâtiments et 55 pour cent de l'énergie consommée dans ces constructions provient de sources d'énergie fossile. La demande accrue d'énergie dans le secteur des ménages est attribuable pour l'essentiel à l'augmentation des surfaces habitables chauffées.

L'urbanisation rapide en tant que chance

Etant donné que les rejets de gaz à effet de serre des espaces urbains dépendent fortement de la structure de l'habitat et des infrastructures, l'urbanisation rapide recèle l'une des plus grandes chances de réduire la consommation d'énergie et les émissions qui en découlent. Mais les possibilités de réaliser ces réductions varient selon le type et l'état de développement de l'espace urbain considéré. Dans le milieu bâti en rapide développement, l'orientation générale de la planification urbaine et des infrastructures peut encore être influencée. Dans les sites déjà développés, la principale possibilité consiste à assainir le parc immobilier existant.

L'aménagement du territoire et des infrastructures

Un rôle déterminant pour la réduction des émissions incombe à l'aménagement du territoire et des infrastructures. Jusqu'ici, l'aménagement du territoire s'est préoccupé du changement climatique, avant tout sur un plan sectoriel, dans le domaine des dangers naturels. Mais en tant que domaine transversal, il dispose aujourd'hui déjà d'une large palette d'instruments appropriés pour combattre le changement climatique.

Possibilités d'action en matière de changement climatique

A part les plans directeurs, plans d'affectation ou autres plans d'aménagement qui définissent la structure de l'espace urbain, la mise en œuvre de programmes d'agglomération, concepts généraux, modèles de développement régional ou projets pilotes peut avoir une influence indirecte significative sur le climat. Cependant, l'aménagement du territoire permet avant tout de créer des synergies, en coordonnant différentes tâches sectorielles lorsqu'il existe des intérêts convergents entre champs d'action classiques et nouveaux relevant du climat, par exemple entre la qualité de l'air, la ventilation naturelle dans les villes et le développement des espaces verts. L'aménagement du territoire et des infrastructures devrait avoir pour objectif le fait qu'habiter en ville continue d'offrir des conditions de vie adéquates, en dépit des changements annoncés du climat urbain et du régime hydrologique. Il devrait aussi veiller à ce que l'effet d'îlot de chaleur urbain, qui se manifeste déjà aujourd'hui (cf. chap. 2.13 L'espace urbain, p. 126), ne conduise pas à des situations totalement inconfortables ou mettant même la vie en danger. Nous présentons ci-après les principaux domaines dans lesquels l'aménagement du territoire et des infrastructures peut intervenir pour atténuer les effets du changement climatique (fig. 3.18).

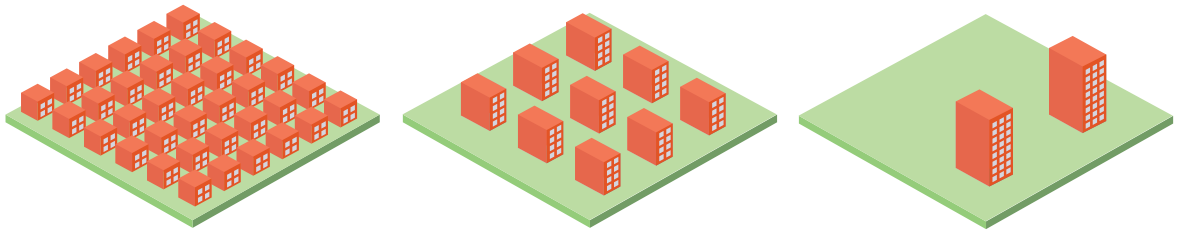


Figure 3.17: Une même densité d'habitat peut être obtenue de différentes manières. (Source: adapté d'après Cheng 2009)

L'habitat compact

Dans les villes déjà développées, la promotion de **l'habitat compact** est une mesure élémentaire de réduction des émissions. Une haute densité de population, de lieux de travail et de commerces va de pair avec de courtes distances de transport et avec de plus faibles émissions de gaz à effet de serre. Plus cette densité est élevée, plus grande est la proportion de déplacements à pied et à vélo (Metron 2014). Toutefois, une forte densification pourrait aussi conduire à une augmentation du trafic de loisirs. On pense souvent qu'une densification s'obtient en multipliant le nombre d'étages des bâtiments. Ceci n'est toutefois pas toujours la meilleure solution, s'il s'agit d'améliorer l'efficacité énergétique et de réduire les émissions, car les constructions élevées doivent être suffisamment espacées pour permettre le captage de la chaleur et de lumière solaire (fig. 3.17).

L'usage mixte

Un **usage mixte** favorise aussi les trajets courts, ce qui favorise à son tour des moyens de transport écologiques. Des effets négatifs, tels que le bruit et autres nuisances (poussières, émanations etc.) qui justifiaient à l'origine la séparation stricte entre zones artisanales, industrielles et d'habitation, peuvent être limités aujourd'hui.

La densité du réseau de transport

La densité du réseau de transport a une influence majeure sur la réduction des émissions et favorise l'accessibilité. Cet aspect a une grande importance, car 32 pour cent des rejets de gaz à effet de serre sont imputables aux transports. Dans un réseau de transport dense, comportant de nombreuses pistes et chemins pour les différents usagers, davantage de personnes se déplacent à pied ou à vélo, ce qui a un effet positif sur les émissions. Lors de nouvelles constructions, un réseau dense s'obtient en compartimentant le site. Les voies de transports existantes peuvent être réaménagées en ajoutant des zones piétonnes, en créant des pistes cyclables ou en prenant des mesures de modération du trafic (zone à 30 km/h).

Infrastructures vertes et bleues

Les infrastructures vertes et bleues concourent à créer un climat plus agréable, à une meilleure qualité de l'air et offrent des sites de détente tout proches. Les infrastructures vertes comprennent la végétation et les zones de verdure urbaines. Ces dernières vont des parcs et forêts aux tracés de trams et aires de stationnement recouverts d'herbe. Les toitures et façades vertes, ou encore le jardinage urbain, font également partie des infrastructures vertes. Les infrastructures bleues sont les éléments aquatiques à l'intérieur de la ville: les rivières et les lacs, les fontaines, les douves ou autres sources d'humidité et de fraîcheur. Elles contribuent aussi au bien-être des habitantes et habitants (OFEV 2012) (cf. encadré Les arbres dans l'espace urbain, p. 108). Il faudrait les prendre en considération dans l'aménagement du territoire et des infrastructures. Dans tout l'espace urbain, les couloirs amenant de l'air frais aux centres-villes doivent être recensés et préservés, et leur fonction développée et améliorée. Lors de futures constructions (seulement en dehors de zones inondables par des crues centennales) ou de transformations de bâtiments au bord de plans et de cours d'eau, les édifices devraient être orientés de manière à permettre à l'air frais de pénétrer à l'intérieur des zones bâties. L'examen des conditions climatiques locales devrait porter notamment sur les liens avec les systèmes régionaux d'air froid et d'air frais, car ils agissent le plus souvent dans un périmètre qui s'étend bien au-delà de la zone urbaine.

Un approvisionnement énergétique durable, recourant en majeure partie à des ressources renouvelables, offre encore d'autres possibilités de réduire efficacement les émissions dans les villes. La demande d'énergie peut être réduite en améliorant l'efficience des réseaux de distribution, des bâtiments (cf. paragraphe suivant) ainsi que des équipements et des installations techniques. Une prise de conscience et un changement de comportement des habitants peuvent également conduire à une réduction de la demande (cf. chap. 3.3 Réduction des émissions – changements de comportement, p. 164). Les potentiels d'économie estimés atteignent jusqu'à 20 pour cent à court terme et 50 pour cent d'ici 2050 (IPCC 2014/WGIII/Chap.12).

Facteurs clés pour une mise en œuvre efficace des mesures de réduction

Les stratégies et les mesures échouent souvent au moment de leur concrétisation. Les facteurs suivants jouent un rôle clé dans la mise en œuvre de mesures de réduction prises en matière d'aménagement du territoire et des infrastructures:

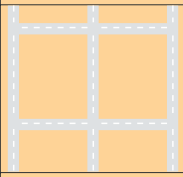
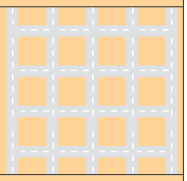
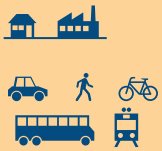
	Grandeurs à mesurer	Domaines	
		Fortes émissions	Faibles émissions
Densification	- Ménages/population - Bâtiments/coefficient d'occupation du sol - Emplois/activités commerciales - Bloc/parcelle - Unité d'habitation		
Affectation mixte	- Diversité d'utilisation du sol - Diversité des emplois - Equilibre emplois/habitat - Equilibre emplois/population - Nombre de magasins - Possibilités de se déplacer à pied		
Réseau de transport	- Densité de carrefours - Grandeurs des blocs - Largeur des trottoirs - Densité du réseau de rues		
Accessibilité	- Centralité de la population - Distance jusqu'au quartier commercial du centre - Accessibilité du lieu de travail en voiture et/ou avec les transports publics - Accessibilité des magasins		
Infrastructures vertes et bleues	- Disponibilité en espaces verts - Circulation d'air froid - Effet de refroidissement		

Figure 3.18: Stratégies de réduction des émissions dans l'aménagement du territoire et des infrastructures. (Source: adapté d'après IPCC 2014/WGIII/Chap.12)

– **La prise de conscience, la participation et la responsabilité régionale:** Les mesures de réduction des émissions doivent être intégrées dans les concepts existants de la ville durable, tels que la « Société à 2000 watts » ou « à une tonne de CO_2 ». La sensibilisation de l'administration communale et de la population joue un rôle clé à cet égard. Elle implique de reconnaître que l'on est soi-même concerné, d'associer des spécialistes à l'exécution de modèles décentralisés d'adaptation au changement climatique et d'indiquer des possibilités d'action concrètes dans des documents élaborés à l'attention de spécialistes de domaines spécifiques d'activité.
– **La pensée systémique, la coordination des instruments et leur intégration:** L'aménagement régional du territoire gagne en importance en tant que plate-forme de dialogue et de coordination, parce que les stratégies d'adaptation ne se définissent pas en fonction des frontières communales ou cantonales, mais selon le type de climat et les conditions naturelles de l'habitat. Les interactions entre les planifications dans différents domaines spécifiques doivent être coordonnées de manière optimale sur la base des multiples fonctionnalités du paysage. Un exemple en ce sens: la révision de la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) prévoit que les espaces réservés aux eaux soient délimités en coordination avec les activités fédérales, cantonales et communales d'adaptation au climat de même qu'avec la stratégie sur la biodiversité.
– **L'utilisation d'instruments informels:** Il faudrait développer un mix d'instruments formels et informels conduisant à des effets complémentaires. Des instruments informels importants sont les réseaux régionaux composés de représentants des cantons et d'associations et organisations pertinentes en matière de planification, construction et entretien. De tels réseaux d'acteurs compétents offrent de nombreuses possibilités de promouvoir la prise de conscience, d'échanger des informations et de créer un pool d'idées régional.

L'assainissement du parc immobilier et d'infrastructures existantes

L'assainissement du parc immobilier et des infrastructures existantes, en leur appliquant de nouveaux concepts d'autosuffisance énergétique *(Net-Zero Energy Buildings)* et de constructions sans émissions de gaz à effet de serre *(Zero Emission Buildings)*, peut contribuer à réduire les émis-

Fonctions écosystémiques dans la ville et leur contribution à la réduction des émissions

Les surfaces vertes et les éléments aquatiques dans les zones urbaines remplissent de nombreuses fonctions sur le plan écosystémique : ils procurent des habitats aux animaux et aux plantes, servent à la détente, permettent à l'eau de pluie de pénétrer dans le sol, améliorent la qualité de l'air et le climat urbain. Les plans d'eau à proximité des villes ont un effet modérateur sur le climat : ils apportent de la fraîcheur en été et sont des réserves de chaleur en hiver. Les surfaces vertes diminuent l'effet d'îlot de chaleur urbain en offrant des zones ombragées, en dissipant de la chaleur par évaporation et en améliorant la circulation de l'air. Ceci réduit sensiblement la consommation d'énergie pour la climatisation, les réfrigérateurs et d'autres équipements. En outre, les plantes contribuent à réduire la consommation d'énergie par le fait qu'elles assimilent du carbone. Le rôle des surfaces vertes de grande étendue, telles que parcs et places de jeu, est important dans ce contexte, mais celui d'éléments isolés, tels que des cordons boisés et des toitures recouvertes de verdure, peut également être substantiel. Dans la planification stratégique, la prise en compte des surfaces aquatiques et des zones vertes, ainsi que de leurs fonctions sur le plan écosystémique, peut donc contribuer de manière notable à la réduction des émissions dans les régions urbaines. De surcroît, de telles surfaces peuvent concourir à l'approvisionnement alimentaire local, à la gestion de dangers naturels tels que les crues, et au repos des citadins. Les systèmes écosystémiques urbains apportent ainsi une contribution particulièrement précieuse face aux défis du changement climatique en matière de santé et de bien-être (cf. chap. 2.8 La biodiversité et les services écosystémiques, p. 100).

sions du secteur du bâtiment de 50 à 80 pour cent par rapport au niveau de référence de 1990 : dans le cadre de stratégies globales d'assainissement de quartiers de villes, de tels bâtiments peuvent compenser les émissions d'édifices plus gourmands en énergie (Upadhyay et al. 2015). La collection des normes de la SIA (Société suisse des ingénieurs et architectes) joue un grand rôle pour l'assainissement du parc immobilier suisse : elle accorde une importance grandissante à l'efficacité énergétique des bâtiments et à la lutte contre les impacts du changement climatique. A long terme, elle peut aider à atteindre les objectifs nationaux en matière d'émissions de gaz à effet de serre. Cependant, d'autres mesures sont encore nécessaires, en plus des normes SIA:

- l'augmentation de l'efficacité énergétique (enveloppe du bâtiment, installations techniques),
- une meilleure intégration des énergies renouvelables dans les bâtiments et les villes (installations solaires thermiques, modules photovoltaïques),
- l'amélioration de l'efficience globale des bâtiments et des infrastructures (planification urbaine, réseau de chaleur et/ou de froid, mise en service d'installations techniques etc.),
- la protection contre le rayonnement solaire au moyen de dispositifs pare-soleil et
- le renoncement à des prestations de service inutiles (changement des comportements et des modes de vie).

En conclusion, il convient de relever que la contribution des villes à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de la consommation d'énergie présente de grandes incertitudes. D'une part, il n'existe pas de méthodes généralisées de relevés locaux permettant de mesurer les différences de consommation et d'émission entre les villes. Ces disparités dépendent de la configuration de l'espace urbain (compact ou étendu), des infrastructures (réseau routier, voies piétonnes, piste cyclables, âge des bâtiments), de la structure économique (industrie ou services) et de la stratification démographique (âge de la population résidente, mélange des âges). D'autre part, il y a de grandes incertitudes en ce qui concerne le développement des villes, ce qui complique énormément les prévisions de l'influence des formes et infrastructures urbaines sur la consommation d'énergie et sur les émissions de gaz à effet de serre. Des *stratégies « no-regret »*, telles que le « climate-proofing », qui consiste à contrôler la portée de mesures prises dans un environnement changeant, sont indispensables pour assurer l'adaptation à long terme des villes au changement climatique.

Bibliographie

GEA (2012) **Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future.** Cambridge University Press, Cambridge, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** Chapter 12 «Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning». www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Metron (2014) **Dichte und Mobilitätsverhalten – Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur und Mobilitätsverhalten.** Ein neuer Blick auf den Mikrozensus. SVI-Veranstaltungsreihe, Saint-Gall, 22.5.2014.

OFEV (2012) **Anpassung an den Klimawandel in Schweizer Städten.** Rapport, 16 août 2012, 68 pp.

OFS (2014) **Evolution future de la population – Données, indicateurs – Scénarios suisses.** www.bfs.admin.ch

OFS (2015) **L'utilisation du sol en Suisse – exploitations et analyses.** www.bfs.admin.ch

United Nations (2014) **World Organization Prospects.** United Nations.

Upadhyay G, Mauree D, Kämpf JH, Scartezzini J-L (2015) **Evapotranspiration model to evaluate the cooling potential in urban areas – A case study in Switzerland.** 14th International Conference of the International Building. Performance Simulation Association, Hyderabad, December 6-9, 2015.

UVS (2016) **Statistiques des villes suisses.** Berne.