avenir suisse

Une politique climatique efficace

La voie libérale vers un avenir neutre en CO_2

Patrick Dümmler et *Lukas Rühli*
avec la participation de *Teresa Hug Alonso* et *Mario Bonato*

Remerciements

Les auteurs remercient les membres de la Commission des programmes d'Avenir Suisse, les Professeurs Reto Föllmi et Christian Casal, pour leurs précieux commentaires et suggestions dans le cadre de leur relecture externe. Des remerciements particuliers vont également au vice-président du Forum sur le climat et les changements globaux (ProClim), Monsieur Urs Neu, pour ses nombreux apports et sa révision attentive des passages scientifiques du chapitre 1, ainsi qu'aux nombreuses autres personnes interviewées qui ont bien voulu mettre leurs connaissances à notre disposition. La responsabilité du contenu de cette publication incombe uniquement à ses auteurs et au directeur d'Avenir Suisse, Peter Grünenfelder.

Auteurs	Patrick Dümmler, Lukas Rühli avec la participation de Teresa Hug Alonso et Mario Bonato
Relecture interne	Jérôme Cosandey, Antoine Duquet, Justine Wieland
Traduction	Acolad Group, www.acolad.com
Conception	Carmen Sopi
Editeur	Avenir Suisse, *www.avenir-suisse.ch*
ISBN	978-3-033-08598-5

© Mai 2021 Avenir Suisse, Zurich

Cette œuvre est protégée par le droit d'auteur. Avenir Suisse étant intéressé à la diffusion des idées présentées, l'utilisation des résultats, données et graphes de cette œuvre par des tiers est expressément souhaitée à condition que la source soit indiquée de façon précise et bien visible et que les dispositions légales en matière de droits d›auteur soient respectées. Les figures 3, 6, 7a, 7b, 8, 15, 16, 21, 22, 28, ainsi que les tableaux 2 et 3 ont été reproduits à l'identique par Avenir Suisse et doivent par conséquent être cités en mentionnant la source d'origine qui y est indiquée.

Commander	assistent@avenir-suisse.ch, Tel. 044 445 90 00
Télécharger	*https://www.avenir-suisse.ch/fr/publication/une-politique-climatique-efficace/*

Préface

En 2020, la pandémie a volé la vedette aux inquiétudes face au réchauffement climatique. Pourtant l'année dernière a été la plus chaude de l'histoire de l'humanité, et en Suisse, la vague verte ne s'est pas atténuée. En effet, depuis les élections fédérales de 2019, le nombre de siège des deux partis verts n'a cessé d'augmenter lors d'élections cantonales. Une fois la pandémie passée, le changement climatique redeviendra un enjeu public majeur. Alors que le secteur privé a démontré dans la lutte contre la pandémie qu'il faisait partie de la solution en développant en un temps record des vaccins efficaces contre le virus, il est considéré dans le débat climatique comme partiellement responsable de la hausse des températures. Des appels ont été lancés pour une transformation radicale du système, afin de passer d'une économie de marché libérale à une «économie verte». Selon les adeptes de cette dernière, l'argent public devrait être investi dans les technologies et les industries vertes. Seul l'Etat serait en mesure de nous protéger d'un effondrement climatique, moyennant des réglementations drastiques et un dirigisme contraignant. Il ne suffirait pas d'augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources ; il faudrait une société sans croissance et qui renonce à une partie de sa consommation. En parallèle, l'incompréhension grandit face à la lenteur des prises de mesures contre la catastrophe, apparemment imminente. Le «zéro net» n'est pas un objectif qui peut attendre 2050, mais qui requiert une action immédiate et radicale. Sans elle, les disciples du mouvement climatique nous prédisent un basculement qui mènera à des conséquences comparables aux plaies d'Egypte citées dans la bible.

Par le passé, les émissions par habitant en Suisse étaient supérieures à la moyenne. Toutefois, depuis 1990, on observe une diminution de plus en plus marquée des émissions de gaz à effet de serre de notre pays. Ce dernier a fait de grands progrès, notamment en matière d'efficacité énergétique. Au cours des 40 dernières années, la consommation d'énergie par rapport à une unité de valeur ajoutée produite a été réduite de plus de deux tiers. La Suisse contribue à hauteur de 0,1% dans les émissions mondiales de CO_2. Cependant, même si cette contribution est minime, s'arrêter aux statistiques ne résoudra pas le problème. Un changement climatique non maîtrisé aurait des conséquences désastreuses dans le monde entier. La Suisse a un rôle à jouer dans la lutte contre le réchauffement climatique. Non seulement cet engagement doit être pris dans un contexte multilatéral et européen, mais des mesures efficaces au niveau national sont aussi nécessaires.

C'est ce qui a inspiré mes deux collègues et responsables de recherche Patrick Dümmler et Lukas Rühli, les auteurs de cette publication, en collaboration avec Teresa Hug

Alonso et Mario Bonato, d'aborder le changement climatique en prenant une vue d'ensemble. Les auteurs démontrent, avec rigueur scientifique et précision économique, quelles sont les mesures efficaces pour lutter contre le changement climatique et, à l'inverse, quelles réglementations relèvent plutôt d'une politique symbolique.

Le résultat est un ouvrage qui, sur plus de 200 pages, montre où il est nécessaire d'agir, mais aussi où des dérives réglementaires sont en cours. Il s'agit d'une publication destinée aux responsables de politique environnementale et énergétique, mais aussi aux responsables de l'économie. Il offre également des pistes de lectures à tout citoyen soucieux de l'écologie et qui souhaite acquérir de nouvelles connaissances. Tant les militants pour le climat que les climatosceptiques trouveront utiles les illustrations et graphiques de ce livre pour confronter et clarifier leurs positions et convictions. Je tiens à remercier vivement toute l'équipe pour son travail intensif: de la phase de recherche, aux analyses scientifiques, à la planification, en passant par la coordination, l'édition et la mise en page au cours des derniers mois, jusqu'à l'impression de cet ouvrage.

Ce dernier propose des objectifs et des champs d'action clairs pour définir une politique climatique libérale pour la Suisse. Cette politique doit offrir des outils efficaces pour la lutte contre le changement climatique. Un ensemble d'instruments reposant sur les mécanismes du marché est plus pertinent que des interdictions et des réglementations sans fin pour orienter les individus et les entreprises. Ces instruments sont préférables à la création d'une économie étatique «verte». En parallèle, notre pays ne peut pas faire cavalier seul. Dans le domaine de la politique climatique, une approche exclusivement nationale ne sera pas probante à long terme. Le réchauffement de la planète est un problème mondial. Pour mettre en place une politique climatique efficace, il faut certes des mesures nationales mais avant tout internationales.

Peter Grünenfelder, Directeur d'Avenir Suisse

Sommaire

_ Préface _ 6

01 _ Le changement climatique et ses causes _ 12

1.1 _ Industrialisation, qualité de vie et changement climatique 12
1.1.1 _ Amélioration de la qualité de vie grâce à l'industrialisation 12
1.1.2_ Utilisation efficace des ressources par le marché 14
1.1.3_ La courbe environnementale de Kuznets 15
1.1.4_ Les causes des trop fortes émissions de gaz à effet de serre 18
1.2 _ Données climatiques mondiales 20
1.2.1_ CO_2 et autres gaz à effet de serre 20
1.2.2_ Les émissions de GES en chiffres 24
1.2.3_ Hausse des températures jusqu'à nos jours et scénarios pour le futur 32
1.2.4_ Les conséquences de la hausse des températures 42
1.3 _ Données climatiques suisses 50
1.3.1_ Les émissions de gaz à effet de serre de la Suisse 50
1.3.2_ Le changement climatique en Suisse 62
1.4 _ Etat des lieux des débats 69
1.4.1_ Climatosceptiques 69
1.4.2_ Climatopanique 72
1.4.3_ Le changement climatique et la critique du capitalisme 78

02 _ Politique climatique en théorie _ 82

2.1 _ Libéralisme et protection du climat 82
2.2 _ La tarification des gaz à effet de serre 85
2.2.1_ L'avantage des instruments d'économie de marché 85
2.2.2_ Le niveau du prix du CO_2 89
2.2.3_ Echange de quotas d'émission (cap and trade) et taxe sur les GES: étude comparée 97
2.2.4_ Echanges de quotas et taxes sur les GES: les effets d'une redistribution 101
2.2.5_ Le paradoxe vert ou pourquoi la coopération mondiale est décisive 106
2.3 _ Les mesures anti-Covid contre le changement climatique? 109
2.3.1_ Effet de la crise du Covid-19 sur les émissions de gaz à effet de serre 109
2.3.2_ La lutte contre le changement climatique: un luxe? 112
2.3.3_ Innover ou renoncer à consommer 115

03 _ Politique climatique en pratique _ 118
3.1 _ Politique climatique internationale actuelle 118
3.1.1_ Nations Unies: Convention-cadre et Agenda 2030 118
3.1.2_ L'Accord de Paris 119
3.1.3_ Le Pacte vert européen 122
3.1.4_ Le système d'échange de quotas d'émission de l'UE 125
3.1.5_ Le plan Biden-Harris pour les Etats-Unis 134
3.1.6_ Le système chinois d'échange de droits d'émission 136
3.1.7_ Des solutions mondiales pour un problème de dimension mondiale 137
3.2 _ Politique climatique suisse actuelle 138
3.2.1_ Les objectifs climatiques de la loi sur le CO_2 138
3.2.2_ Critères d'évaluation pour futures mesures de protection climatique 141
3.2.3_ Les mesures de la loi actuelle sur le CO_2 147
3.2.4_ Analyse comparée des mesures sur la base de ces critères 152
3.2.4.1 _ Analyse de l'efficacité 152
3.2.4.2 _ Analyse de l'efficience 158
3.2.4.3 _ Analyse de la vérité des coûts et de la neutralité technologique 160
3.2.5_ Synthèse de l'évaluation des mesures existantes 161

04 _ Approches futures de la politique climatique _ 166
4.1 _ Approches mondiales de la réduction des émissions 166
4.1.1_ Interdictions et réglementations 166
4.1.2_ Taxe sur les gaz à effet de serre 168
4.1.3_ Échange de quotas d'émission 173
4.2 _ Le club climatique 178
4.2.1_ Résoudre le problème du parasitisme 178
4.2.2_ Adaptation des règles multilatérales 179
4.2.3_Atteindre la masse critique 180
4.2.4_ Mise en oeuvre possible par l'UE 183
4.3 _ Développement de la politique climatique suisse 185
4.3.1_ Accords bilatéraux de compensation climatique 185
4.3.2_ Révision totale de la loi sur le CO_2 187
4.4 _ Ajustement intérieur au changement climatique 195
4.4.1_ Risques 195
4.4.2_ Opportunités 199
4.4.3_ Conclusion 201

05 _ Conclusion _ 202
5.1 _ Situation initiale – climat et politique climatique 202
5.2 _ Une politique climatique libérale pour la Suisse 206
5.3 _ Dix considérations finales 212

Figures

Figure 1	La courbe environnementale de Kuznets dans la réalité	16–17
Figure 2a	Evolution des émissions annuelles de CO_2 par région du monde	24–25
Figure 2b	La «dette carbone historique» (depuis 1850)	26–27
Figure 3	Origine des émissions de GES par secteur (2016)	28–29
Figure 4	La concentration de CO_2 au cours des âges	30–31
Figure 5	Elévation de la température à la surface du globe et des terres émergées depuis 1850	32–33
Figure 6	Scénarios concernant les émissions de gaz à effet de serre et le réchauffement climatique	34–35
Figure 7a	Scénarios de réduction pour atteindre l'objectif de 1,5 degré	38–39
Figure 7b	Composition du bilan des émissions de gaz à effet de serre dans le scénario de réduction d'émissions axé sur l'objectif de 1,5°C	40–41
Figure 8	Répartition de la hausse mondiale des températures (RCP 4.5, 2081–2100 vs. 1986–2005)	43
Figure 9	Evolution des émissions de gaz à effet de serre depuis 1860	50–51
Figure 10	Répartition des émissions de gaz à effet de serre par secteur	52–53
Figure 11	Intensité des émissions par secteur	54–55
Figure 12	L'empreinte de production et celle de consommation	56–57
Figure 13	La dette carbone suisse	58–59
Figure 14	Evolution de l'efficience énergétique et du facteur d'émission de la Suisse par rapport au monde	60–61
Figure 15	Températures en Suisse de 1864 à 2020	62
Figure 16	Elévation des températures en Europe (2071–2100 par rapport à 1971–2000)	63
Figure 17	Le désastreux bilan carbone du socialisme	79
Figure 18	Le coût marginal d'évitement du CO_2	88
Figure 19	Emissions négatives et équilibre de marché	95
Figure 20	Le paradoxe vert des mesures de protection climatique	105
Figure 21	Réduction des émissions de CO_2 en 2020 par rapport à l'année précédente	110
Figure 22	Education, santé et emploi aux premiers rangs des priorités	114–115
Figure 23	Innovations contre renoncement: avantage innovations	116
Figure 24	Evolution du prix d'une tonne de CO_2 dans le SEQE-UE	131
Figure 25	Trajectoire de réduction de la Suisse	139
Figure 26	Taxe d'incitation: ou comment faire la différence entre une taxe d'incitation et le montant d'une recette fiscale	145
Figure 27	Evaluations comparées des mesures pour le climat	162
Figure 28	SEQE et taxes mondiales sur les GES	170–171
Figure 29	Coûts et avantages d'un club climatique	181
Figure 30	Deux objectifs et six champs d'action d'une politique climatique libérale pour la Suisse	206

Tableaux

Tableau 1	Les gaz à effet de serre (anthropiques), présentation générale	21
Tableau 2	Scénarios concernant la concentration de gaz à effet de serre, leurs émissions et le réchauffement climatique	36–37
Tableau 3	Probabilités de participation des pays et des régions	182

Encadrés

Encadré 1	Dérivation microéconomique de la courbe environnementale de Kuznets	17
Encadré 2	Qu'est-ce que le «zéro net»?	22
Encadré 3	Greta Thunberg	77
Encadré 4	Politique des symboles: sacs de jute et états d'urgence climatique	84
Encadré 5	Le théorème de Coase	86
Encadré 6	Pénurie de pétrole	91
Encadré 7	Effet incitatif global ou local	92
Encadré 8	Zéro net 2050	94
Encadré 9	Le «matelas à eau» – ou l'avantage de la taxe sur les GES	100
Encadré 10	Payer pour se dédouaner de ses responsabilités?	103
Encadré 11	La Suisse et l'Agenda 2030	119
Encadré 12	Le protocole de Kyoto	120
Encadré 13	La Suisse et l'Accord de Paris	122
Encadré 14	Le système d'échange de droits d'émission de la Californie et du Québec	134
Encadré 15	Les efforts suisses de protection climatique en comparaison internationale	141
Encadré 16	Les émissions grises	151
Encadré 17	Tarification mondiale des emissions de GES	169
Encadré 18	La question de l'énergie nucléaire	186
Encadré 19	Exemple de différences de prix des compensations nationales et étrangères	189
Encadré 20	L'approche du Tessin face aux défis	196

1 Le changement climatique et ses causes

1.1 Industrialisation, qualité de vie et changement climatique

L'histoire de la croissance économique comprend schématiquement deux périodes (Clark 2003). La première s'étend sur des siècles marqués par la pauvreté et des conditions de vie très sommaires. La seconde commence avec la révolution industrielle (1760–1840) et se caractérise jusqu'à nos jours par un accroissement presque ininterrompu de prospérité. Avant le XIXe siècle, le monde n'a pratiquement connu aucune croissance économique durable (mais uniquement une succession continuelle d'embellies et de déclins) et par conséquent aucune tendance de fond de croissance des revenus ne s'observe sur toute la période. L'humanité se trouvait dans ce qui a été surnommé la «trappe malthusienne»: les revenus, et ainsi le niveau de prospérité, de la population dépendaient alors directement du nombre d'habitants. Portée en partie par des changements positifs des conditions externes (telles que la conquête de nouvelles terres ou l'amélioration des échanges commerciaux), la prospérité augmentait, ce qui entraînait une hausse des taux de naissance et de survie, lesquels ramenaient de nouveau le revenu par habitant à son niveau de départ. Comme en outre ces changements – au contraire du progrès technologique qui accroît durablement la productivité – étaient réversibles, la population devenue plus nombreuse se trouvait confrontée tôt ou tard (dès que les conditions externes se détérioraient à nouveau) à de sévères pénuries de ressources. La faim et les épidémies faisaient chuter les taux de naissance et augmentaient la mortalité. Le nombre d'habitants se réduisait, ce qui rendait à nouveau possible l'amélioration des revenus agricoles par habitant (Clark 2009).

1.1.1 Amélioration de la qualité de vie grâce à l'industrialisation

L'Angleterre a été le premier pays à s'affranchir de ce jeu à somme nulle autour de 1800 grâce aux innovations technologiques, marquant ainsi l'entrée dans la seconde période (Clark 2009). La révolution industrielle gagna rapidement d'autres pays européens et finit par se répandre dans le reste du monde. L'apport décisif de la période a été d'avoir pu dissocier la croissance économique de l'évolution démographique. Les limitations qui s'exerçaient jusque-là, à savoir la rareté des terres fertiles, existaient toujours, mais l'industrialisation permettait une utilisation plus efficiente des facteurs de production ; et l'exploitation de plus en plus intensive des connaissances accumulées au sein d'un système de sciences formelles impulsa une forte accélération au progrès technologique

(Mokyr 2019). De larges portions de l'humanité purent ainsi se libérer de la trappe malthusienne (Clark 2003).

D'immenses avancées ont été réalisées depuis la révolution industrielle : en 1800, le produit intérieur brut (PIB) mondial par habitant était de 1163 $; il atteignait 18 825 $ en 2019 (valeur corrigée de l'inflation, année de base 2020). [1] Alors qu'elle était restée quasiment inchangée pendant des siècles, la création de valeur ajoutée a été multipliée par 16 en moyenne dans le monde au cours des 150 dernières années. Parallèlement, le taux de pauvreté mondial a également commencé à diminuer. Tandis qu'autour de 1800, 80 % environ de la population mondiale vivait en situation de pauvreté absolue (avec moins de 2 $/jour), [2] la proportion était de 43 % en 1990 – et ce bien que la population ait quasiment été multipliée par huit. Cette proportion a poursuivi sa baisse depuis 1990, et en 2018, 9 % de la population mondiale vivaient encore dans l'extrême pauvreté (Gapminder 2018).

La qualité de vie est cependant définie par bien plus de composants que la hauteur des revenus. C'est ce qui a poussé à mettre au point en 1990 l'«indice de développement humain» (IDH), qui mesure depuis cette date le niveau de développement d'un pays en fonction du bien-être de ses habitants. Cet indice met explicitement la personne humaine au centre de l'attention ; il comprend trois critères clés, dont le revenu, considéré comme moyen de réalisation de l'objectif d'une qualité de vie satisfaisante. Les deux autres critères concernent d'une part la possibilité pour les habitants de vivre longtemps en bonne santé, et d'autre part l'accès à l'éducation. Même en intégrant de tels indicateurs, le bien-être de l'humanité a considérablement augmenté : depuis le début des mesures en 1990, l'IDH a connu une progression constante dans le monde et, à quelques exceptions près, cette évolution positive concerne tous les pays (UNDP 20b20a).

Cette tendance apparaît clairement si l'on observe chacun des indicateurs composant l'IDH sur une plus longue période. L'espérance de vie moyenne, qui représente le critère de santé, était de 72,6 ans en 2018 et dépassait même 80 ans dans de nombreux pays développés (World Bank 2020). Comme pour l'évolution du PIB, cette amélioration ne remonte qu'aux 200 dernières années : pendant des siècles avant 1800, l'espérance de vie moyenne à la naissance est demeurée autour de 30–40 ans (Owid 2019a). Une part essentielle de ce gain d'espérance de vie est due à la baisse de la mortalité infantile, dont le taux dans le monde est passé de 42,8 % en 1800 à 3,8 % en 2019 (Gapminder 2020b). Le troisième critère, l'accès à l'éducation, s'est également fortement amélioré : en 1870, la moyenne mondiale du nombre d'années de scolarité se situait à tout juste 0,5 an ; elle était de 8,5 années en 2019 (Lee et Lee 2016; UNDP 2020b). D'importants progrès ont également été réalisés en matière d'alphabétisation. En 1820, seulement 12 % environ de la population mondiale savait lire et écrire ; le taux était de 86,5 % en 2019 (OECD 2014 ; UIS 2020).

1 Calculé sur la base de *Gapminder (2020a)* et *IMF (2020)*.
2 Seuil de pauvreté extrême de 1,85 $/jour, basé sur le niveau des prix de 2011.

1.1.2 Utilisation efficace des ressources par le marché

La qualité de vie s'est donc significativement améliorée depuis la révolution industrielle. Et contrairement aux temps malthusiens, notre vie prospère ne dépend pas de la mort de nos voisins. Cependant le temps fait apparaître de nouveaux problèmes et la question centrale aujourd'hui est combien de temps cette phase de croissance peut se maintenir, si tant est qu'elle puisse encore perdurer. Le problème se pose en premier lieu en termes des ressources que la croissance consomme, alors que ces ressources ne sont disponibles qu'en quantités limitées ou qu'elles se renouvellent trop lentement pour suivre le rythme rapide de la croissance économique et démographique. En second lieu, ces ressources, une fois utilisées dans les processus productifs, peuvent donner lieu à des externalités négatives qui endommagent notamment notre écosystème.

Il semblerait à première vue que la croissance doive inévitablement épuiser les ressources naturelles – et dans un avenir plus proche que lointain. Entre 1980 et 2015, la consommation de matières premières a doublé, elle a même décuplé depuis 1900 (OECD 2015). A mieux examiner les chiffres cependant, une autre tendance se dessine : celle de l'augmentation de la productivité de l'utilisation des ressources, autrement dit la consommation de ressources par unité de PIB a diminué. Avec une unité de ressources en 2015, les pays de l'OCDE ont créé 30 % de valeur économique de plus qu'ils ne l'avaient fait en 2000 et même 50 % de plus qu'en 1990. L'évolution structurelle de l'activité vers le secteur des services, moins consommateur de ressources, a fortement contribué à cette évolution dans ces pays, mais pas seulement : les taux de recyclage des matières premières ont également progressé (OECD 2015).

La rapidité à laquelle le marché peut résoudre une (supposée) raréfaction des ressources peut être illustrée par l'exemple suivant : en 2010, à la suite d'un conflit maritime avec le Japon, la Chine a décrété un embargo sur les terres rares. La Chine contrôlait à cette époque environ 97 % de l'extraction mondiale. Bien que l'embargo ne frappât officiellement que le Japon, le conflit montra au reste du monde la vulnérabilité à laquelle l'exposait une dépendance à cette matière première (Gholz 2014). En conséquence de l'embargo, les prix des terres rares montèrent en flèche car de nombreuses entreprises constituaient des réserves. Ce renchérissement de la matière première a renforcé l'attractivité des méthodes de production alternatives qui ne nécessitaient pas ou peu de terres rares. D'autres fabricants développèrent des technologies alternatives, souvent financées par des investisseurs misant sur cette évolution compte tenu de la hausse des prix (Gholz 2014). Puis lorsque d'autres pays que la Chine ont augmenté leurs capacités d'exploitation de terres rares, les prix ont rechuté. En conséquence, de nombreux processus innovants furent mis à l'arrêt, et la Chine est encore à ce jour détentrice d'une forte part du marché. La situation de départ, dans cet exemple, a certes été restaurée lorsque les prix des terres rares ont chuté, mais cela relève du même mécanisme. Si la raréfaction avait duré, les prix auraient continué à monter et les technologies al-

ternatives auraient pu s'établir. Le marché offre cet avantage qu'il peut réagir de façon flexible à de telles situations – celles d'une rareté de ressources.

La rareté au sens physique et la rareté au sens économique sont deux notions on ne peut plus éloignées, et l'esprit d'innovation de l'être humain a maintes fois fait mentir les prévisions pessimistes : un coup d'œil en arrière le montrera aussi : en 1972, le Club de Rome annonçait, sur la base de modélisations informatiques basiques, que les limites de la croissance seraient atteintes au cours des cent prochaines années et que la grande majorité des ressources alors non renouvelables se renchériraient par conséquent à l'extrême. La réalité contredit jusqu'ici cette prévision de la plus nette des façons : si l'on considère un panier de 50 matières premières et produits de base – de l'aluminium au coton, en passant par le poulet, le café, le saumon, le riz, le blé, l'uranium, et jusqu'au zinc et au sucre –, on constate sur la période de 1980 à 2017 que son prix a diminué de 36,3 % (Pooley et Tupy 2018). Dans le même temps, le revenu mondial par heure travaillée est passé de 2,97 $ à 5,34 $. L'effet conjugué des prix et des revenus a conduit au résultat suivant : là où en 1980, l'humanité nécessitait encore 60 minutes de travail pour acquérir un bien déterminé, il lui suffisait en 2017 de 21 minutes de travail pour obtenir ce bien (Tupy 2019). De ce point de vue, les matières premières sont devenues nettement moins coûteuses – et par là également moins rares.

Il existe donc peu de raisons de craindre que la poursuite de la croissance nous prenne au dépourvu devant un épuisement inattendu des ressources finies, car la croissance vit des innovations mêmes qui nous permettent de recourir à des alternatives quand une matière première se raréfie.

Mais qu'en est-il des externalités négatives, à savoir les conséquences environnementales néfastes et non compensées de la consommation ? Examinons à présent différents défis environnementaux auxquels ont été confrontées les dernières décennies et la manière dont ils ont été traités.

1.1.3 La courbe environnementale de Kuznets

Le mouvement écologique actuel n'est apparu que vers la fin du XXe siècle, mais les conséquences qu'avaient sur l'être humain les problèmes environnementaux tels que la pollution de l'eau ou de l'air étaient déjà connus des Romains. Ces préoccupations se manifestaient cependant rarement par des protestations et révoltes dans la société ; celles-ci ont commencé seulement avec l'industrialisation (Elliot 2020) : la pollution environnementale a alors augmenté pour la première fois dans une telle proportion que l'eau n'était plus potable et l'air était devenu à peine respirable. Cette augmentation ne se fit cependant pas du jour au lendemain : en Europe et en Amérique du Nord par exemple, les émissions de dioxyde de souffre (SO_2), responsables pour l'essentiel de la pollution de l'air, ont augmenté continuellement à partir d'environ 1850, jusqu'à atteindre un pic en 1970 en Amérique du Nord, et en 1980 en Europe (voir figure 1a). On observe depuis une diminution constante des émissions. Mais comment a-t-on pu parve-

nir à ce retournement, alors que l'augmentation des émissions avait été tolérée pendant plus de cent ans ? Pour l'expliquer, la courbe environnementale de Kuznets avance que ce n'est qu'à partir d'un certain niveau de revenus et de prospérité que le besoin sociétal d'un environnement intact réussit à s'imposer politiquement.

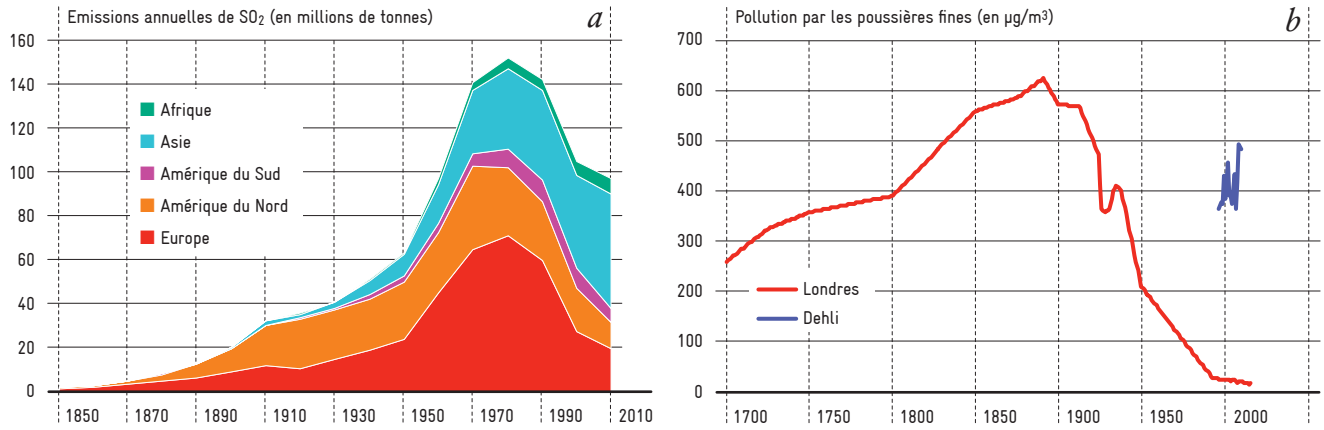
Ce phénomène ne doit cependant pas être interprété comme le résultat d'un pur idéalisme : l'inversion ne se produit pas primairement parce qu'on se consacrerait surtout à des desseins altruistes dès lors qu'on a atteint un certain niveau de revenu. Elle résulte plutôt du fait qu'une fois les besoins de base satisfaits, l'utilité d'une consommation supplémentaire de biens diminue et en comparaison, la préférence pour un environnement non pollué gagne en poids relatif (voir encadré 1).

Dans le cas de problèmes environnementaux locaux comme la pollution de l'air et de l'eau, la courbe de Kuznets est également largement confirmée empiriquement (Pearce 2002 ; Shafik et Bandyopadhyay 1992). Nul besoin de chercher loin pour cela : en Suisse par exemple, de nombreux problèmes environnementaux régionaux ont pu être résolus. Ainsi, après la motorisation de masse des années 1970, la prise de conscience des dangers de la pollution de l'air s'est accrue, et la société est passée à l'essence sans plomb et à l'installation de catalyseurs sur les véhicules (NZZ 2001). Peu après l'introduction des catalyseurs en 1985, les émissions de NO_x ont commencé à chuter rapidement (voir figure 1d). La même époque marqua également la naissance d'une sensibilité accrue pour des problèmes environnementaux comme la supposée menace de disparition des forêts, qui poussa les responsables politiques à agir (NZZ 2014). Une évolution semblable s'est observée à propos de la qualité de l'eau en Suisse. Ce n'est que dans les années 1950 que la population a exigé

Figure 1

La courbe environnementale de Kuznets dans la réalité

Quatre exemples de courbes environnementales de Kuznets sont représentés ici : a) L'évolution mondiale des émissions de SO_2. b) La pollution aux particules fines à Londres depuis 1700 en comparaison avec celle récente à Delhi. c) L'évolution de la teneur en phosphate des lacs suisses. d) L'évolution des émissions de différents polluants atmosphériques en Suisse.

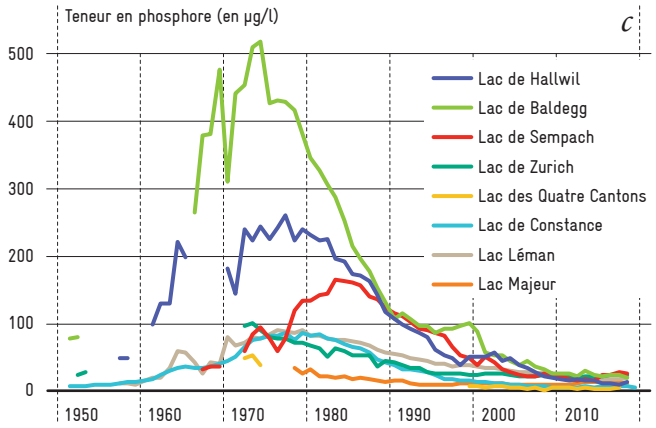


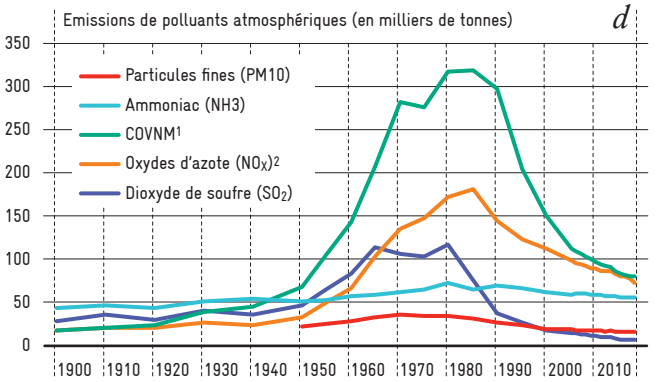
Encadré 1

Dérivation microéconomique de la courbe environnementale de Kuznets

Sur le plan microéconomique, la courbe de Kuznets peut être obtenue en considérant l'environnement et le climat comme des biens associés à des coûts et des utilités. Comme les biens de consommation, ils sont également facteurs de production, d'où il résulte nécessairement une concurrence d'utilisation (Shafik et Bandyopadhyay 1992). Si l'environnement est utilisé comme facteur de production, il permet à ce titre la consommation d'autres biens, avec l'utilité correspondante (rente du consommateur) que cela génère. Cependant le coût à payer est une augmentation de la pollution environnementale. Comme un environnement intact lui-même, en tant que bien de consommation, génère une utilité, l'augmentation de la pollution réduit cette utilité de consommation. Un individu cherchant à maximiser son utilité aura un niveau de demande pour un environnement intact d'autant plus faible qu'il peut facilement augmenter son utilité par la consommation d'autres biens. Mais l'utilité marginale d'une consommation matérielle supplémentaire décroît avec l'augmentation du niveau de consommation, et d'autre part l'utilité marginale d'un environnement intact s'accroît à mesure que la qualité environnementale se détériore. A partir d'un certain point, l'effet négatif de la pollution environnementale prédomine, ce qui conduit à une inversion des préférences (Pasten et Figueroa 2012). L'utilisation des biens environnementaux dépend donc de quel versant de ce problème d'optimisation se trouve une société. Il a été effectivement montré que des revenus plus élevés sont associés à une moindre dégradation environnementale lorsque celle-ci affecte directement le bien-être humain, car il existe alors une incitation à réduire la pollution environnementale (Shafik et Bandyopadhyay 1992).

Sources: Owid (2017a), Owid (2017b), Bafu (2021), BFS (2020).





1 Composés organiques volatils non méthaniques.
2 Les NO_X comprennent le NO et le NO_2. Les valeurs d'émission sont données en NO_2.

des mesures de protection des eaux, après qu'ont été déversées durant des années, sans épuration préalable, les eaux usées de l'industrie, mais aussi des foyers, dans les ruisseaux, les fleuves et les lacs, au point que des odeurs nauséabondes se dégageaient, et que mousse, tapis d'algues, déchets et mortalité élevée des poissons étaient à l'ordre du jour (Bafu 2017). Les conséquences négatives de la pollution environnementale apparaissaient donc pour les Suisses directement devant leurs portes. [3]

Dans le monde entier, maints problèmes environnementaux locaux aggravés par le développement industriel ont pu être largement résolus (voir figure 1). Ce n'est pas le cas pour les émissions de CO_2. Celles-ci semblent certes avoir déjà dépassé leur niveau maximum dans plusieurs pays occidentaux, mais cet effet n'est dû qu'en partie aux efforts de protection du climat, le reste résultant plutôt des changements structurels, à savoir le déplacement de la création de valeur depuis la production industrielle, qui rejette d'importantes quantités de CO_2, vers les secteurs de services qui en rejettent peu (Achten et al. 2018). La diminution repose également en partie sur la délocalisation de processus industriels (à moindre valeur ajoutée) vers l'étranger. A l'échelle mondiale, on constate jusqu'aujourd'hui une augmentation pratiquement sans frein des émissions de CO_2 – ou des gaz à effet de serre en général. Pourquoi cette ascension ?

1.1.4 Les causes des trop fortes émissions de gaz à effet de serre

Le problème fondamental que posent les biens environnementaux, c'est qu'ils sont ce qu'on appelle des «biens communs». Cette notion apparaît souvent dans le cadre de la définition du «bien public». Un bien public est un bien pour lequel : (1) il est techniquement quasi impossible d'exclure quelqu'un de sa consommation (même s'il n'a pas payé pour cela) (principe de la «non-excluabilité») ; (2) la consommation du bien par une personne n'a pas de conséquence sur la consommation du même bien par d'autres. En consommant un bien, une personne ne peut donc pas priver une autre personne de le consommer également (principe de «non-rivalité»). Un exemple classique de bien public est la défense nationale.

En cas de non-excluabilité, mais d'existence de rivalité de consommation, on parle d'un bien commun. [4] Le nom rappelle le bien communal, c'est-à-dire les pâturages accessibles par une communauté (sans attribution de droit de propriété) et où les paysans peuvent mener paître leurs bêtes. La structure d'incitations alors en place fait naître

3 Depuis, les exigences en matière de propreté des eaux ont continué à augmenter. C'est ce que montre bien notamment l'initiative pour une eau potable propre, sur laquelle le peuple se prononce le 13 juin 2021 – donc en même temps que le référendum sur la révision totale de la loi sur le CO_2. L'initiative demande que les agricultures qui continuent à utiliser des pesticides et des antibiotiques à titre prophylactique ne perçoivent plus de paiements directs publics.

4 Dans le cas contraire, c'est-à-dire si l'excluabilité est possible mais qu'il y a non-rivalité, on parle d'un bien de club. Celui-ci est illustré par l'exemple des services de streaming comme Netflix et compagnie. Bloquer l'accès aux non-abonnés ne pose aucun problème, et un nombre croissant d'autres utilisateurs ne diminue en revanche pas l'utilité de consommation d'un abonné (l'utilité s'accroît même éventuellement dans la mesure où cela augmente la probabilité que l'abonné puisse s'entretenir d'un programme particulier avec des personnes partageant les mêmes intérêts).

un danger de surexploitation des pâtures : en décidant d'envoyer ou non ses bêtes dans le pâturage, un agriculteur considérera seulement le profit qu'en retirent ses bêtes en négligeant le fait que les animaux supplémentaires qu'il amène réduisent ce que peuvent brouter les autres animaux (bétail appartenant à d'autres paysans) sur le pâturage. Des décisions «optimisées» au niveau individuel entraînent donc un résultat sous-optimal : trop de bêtes se trouvent sur le pâturage. La situation est parfaitement identique pour les biens environnementaux. Le bétail est simplement remplacé par la pollution environnementale, les pâturages sont la planète, et les paysans : ce sont nous tous.

Il s'agit de la tragédie des biens communs («tragedy of the commons»), dans laquelle les décisions rationnelles de chaque individu conduisent à un résultat collectif sous-optimal (Hardin 1968). Le problème peut être résolu si des mesures sont prises sur le plan collectif pour inciter les individus à agir pour le bien général (Ostrom 2015). La prise de décision pour instaurer et faire respecter de telles mesures est d'autant plus probable que le collectif au sein duquel se répartissent les coûts et utilités de l'activité à réguler est de taille réduite. L'instauration et le succès des mesures s'accroît aussi si elles peuvent être prises à un stade précoce par une autorité appropriée, ayant compétence pour définir des règles et sanctionner leur non-respect. C'est la raison pour laquelle – dans les pays avec un niveau de prospérité suffisante – une part considérable des problèmes environnementaux locaux se trouvent en bonne part résolus.

Le climat est cependant l'exemple même d'une situation contraire : les conséquences des émissions de gaz à effet de serre (émissions de GES) sont réparties dans le monde entier, et non seulement les responsables d'émissions ne tirent individuellement aucune utilité perceptible de leurs efforts de réduction, mais même des Etats nationaux tout entiers prenant ensemble des décisions pour la protection du climat ne percevront qu'à peine les effets de leurs efforts. En matière de protection du climat, le problème des biens communs n'existe donc pas seulement au niveau de l'individu par opposition à l'intérêt de l'Etat, mais également, et presque à l'identique, au niveau de l'Etat par rapport à la communauté internationale. Il manque cependant une instance globale qui – comme l'Etat pour les problèmes d'environnement locaux – puisse promulguer et faire respecter des règles et mécanismes qui incitent les Etats à coopérer.

Une difficulté supplémentaire vient du fait que, pour leur quasi-totalité, les coûts des émissions de GES ne retomberont pas du tout sur les personnes vivant aujourd'hui, mais affecteront seulement les générations futures. L'utilité des efforts de réduction consentis aujourd'hui profitera par conséquent à peine aux personnes vivant actuellement sur cette Terre, mais en grande partie à leurs descendants. Il n'est donc pas très surprenant que trop peu ait été accompli jusqu'ici pour la réduction des émissions de GES dans le monde, bien que le cœur du problème soit déjà connu depuis des décennies. Les conséquences de ce manque d'action font l'objet du chapitre suivant.

1.2 Données climatiques mondiales

1er janvier 2021 : l'humanité a émis au cours de son existence un total de 2,3 billions de tonnes de CO2 (IPCC 2018 p. 16). [5] Afin d'empêcher toute «perturbation anthropique dangereuse (induite par l'Homme) du système climatique» (objectif de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques), pas plus de 300 milliards de tonnes supplémentaires ne doivent s'y ajouter (ibid.). [6] Au rythme des émissions actuelles, ce budget sera épuisé en 2028. Si nous ne donnons pas auparavant un grand coup de barre pour redresser le cap, nous filons droit vers l'apocalypse – du moins à en croire l'alarme pressante donnée par les militants pour le climat. [7] Quelles sont les données scientifiques à l'appui de cette affirmation inquiétante ? Le présent chapitre examine cette question : de la définition des gaz à effet de serre (1.2.1), en passant par les statistiques sur les émissions (1.2.2), l'histoire et les scénarios d'avenir de la hausse des températures, ainsi que sa répartition globale (1.2.3), jusqu'aux conséquences mondiales du changement climatique (1.2.4).

1.2.1 CO_2 et autres gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre (GES) absorbent le rayonnement thermique de grande longueur d'onde (infrarouge) émis par le sol, lequel s'échapperait autrement de nouveau vers l'espace. Le «rétro-rayonnement atmosphérique» ainsi créé réchauffe la surface de la Terre, en addition de la lumière directement reçue du soleil. C'est grâce à la formation de GES que la température moyenne à la surface de la Terre atteint +15°C ; sans eux la température moyenne terrestre serait de -18°C, ce qui n'offrirait pas les conditions de base favorables au développement d'une vie évoluée. Du strict point de vue des chiffres, la vapeur d'eau [8] est le GES ayant le pouvoir de réchauffement le plus élevé. Par ciel clair, elle est responsable d'environ 60 % de l'effet de serre (Kiehl et Trenberth 1997 : p. 203). Cependant, elle reste souvent non mentionnée car sa concentration dans l'atmosphère dépend uniquement de la température moyenne globale ; il n'existe donc pas de moyen d'agir directement sur sa quantité, mais celle-ci dépend de la concentration d'autres GES (Kasang 2020). Parmi ces derniers, le CO_2 joue clairement le rôle le plus important.

Lorsque l'on parle habituellement d'effet de serre, il est le plus souvent uniquement question de la contribution anthropique au réchauffement climatique, c'est-à-dire causée par l'homme. En 2019, les émissions de CO_2 se montaient à 38 milliards de tonnes (Unep 2020). Le CO_2 est par là responsable de 75 % de l'effet de serre anthropique. [9] Le ta-

5 Le chiffre du GIEC date de fin 2017. 2,3 billions de tonnes se déduit par extrapolation des données à fin 2020.
6 Chiffre estimatif par extrapolation à fin 2020.
7 Voir le discours de Greta Thunberg au Sommet des Nations Unies sur l'action pour le climat, à New York *(NPR 2019)*.
8 Par «vapeur d'eau», on entend, selon la désignation scientifique, la part gazeuse de l'eau dissoute dans l'atmosphère, et non les nuages ou les nappes de vapeur de quelque nature que ce soit. Ces derniers sont constitués en effet, à strictement parler, de minuscules gouttes d'eau liquide.
9 Est incluse ici la modification du bilan de GES résultant des changements d'affectation des terres.

bleau 1 indique les principaux GES d'origine anthropique. Outre le CO_2, on y trouve le méthane, le protoxyde d'azote et les GES dits fluorés. Ils sont tous émis en quantités infimes en comparaison du CO_2, mais par unité de masse, leur pouvoir de réchauffement de la Terre (dit potentiel de réchauffement global) est nettement plus important – leurs valeurs dépassent celles du CO_2 d'un facteur considérable voire exorbitant. C'est pourquoi ils contribuent également, pour certains significativement, au réchauffement

Tableau 1

Les gaz à effet de serre (anthropiques), présentation générale

	Formule chimique	*Durée de séjour dans l'atmosphère**	*Emissions 2019*	*Potentiel de réchauffement global-relatif*	*Emissions 2019*	*Part dans les émissions totales de GES 2019*
			en millions de tonnes	par rapport à celui du CO_2	en millions de tonnes	en %
			valeurs nominales		en éq.CO_2	en éq.CO_2
Total					**59100**	**100,0**
Dioxyde de carbone	CO_2	100–1000 ans	38000	1	38000	64,3
Méthane	CH_4	12 ans	392	25	9800	16,6
Protoxyde d'azote	N_2O	121 ans	9	298	2800	4,7
Gaz à effet de serre synthétique (gaz à effet de serre fluoré)	F-gaz				1700	2,9
Hydrofluorocarbures (HFC)		0,3–270 ans		12–14800		
Hydrocarbures perfluorés (PFC)		2600–50000 ans		7390–12200		
Hexafluorure de soufre	SF_6	3200 ans		22800		
Trifluorure d'azote	NF_3	740 ans		17200		
Causé par changement de l'utilisation des sols	CO_2				6300	10,7
	CH_4, N_2O				500	0,8

*Durée après laquelle 63,2 % de la quantité initiale de la substance a disparu de l'atmosphère

Origines des GES :
- Méthane : les sources sont l'agriculture (surtout l'élevage de bétail et la riziculture), l'extraction de combustibles fossiles et la gestion des déchets (décharges et traitement des eaux usées).
- Protoxyde d'azote : provient de l'utilisation d'engrais azotés dans l'agriculture.
- GES synthétique :
  - Hydrofluorocarbures (HFC) : sont produits volontairement pour être utilisés comme réfrigérants (installations frigorifiques), agents propulseurs (bombes aérosols), agents moussants (mousses) ou solvants. Ils remplacent les chlorofluorocarbones (CFC) interdits, qui sont responsables de la destruction de la couche d'ozone.
  - Hydrocarbures perfluorés (PFC) : sont utilisés pour produire semi-conducteurs et solvants. Le perfluorométhane est libéré lors de la production d'aluminium.
  - La substance ayant le plus fort potentiel de réchauffement global est l'hexafluorure de soufre. Celui-ci est utilisé comme gaz isolant dans la technique des hautes tensions et comme gaz protecteur dans la production de magnésium.
  - Le trifluorure d'azote est utilisé dans l'industrie électrotechnique.

Sources : IPCC (2014 : p. 87), Unep (2020 : p. 5), Bafu (2020), propres calculs

Encadré 2

Qu'est-ce que le «zéro net»?

Il sera fréquemment question dans la suite du livre d'«émissions zéro net». Il est donc utile de préciser au préalable ce que signifie concrètement l'expression «zéro net». La notion en soi paraît évidente, et pourtant elle semble parfois donner lieu à des malentendus. Le zéro net désigne, en un mot, la neutralité climatique. Celle-ci est atteinte si l'humanité, sur une période d'observation donnée, retire de l'atmosphère, par des mesures d'ordre technique ou d'affectation des terres, autant de GES qu'elle en a émis du fait de ses autres activités.

La Terre possède un cycle du carbone. Celui-ci décrit la transformation des composés carbonés à l'intérieur des systèmes de la lithosphère (croûte terrestre), l'hydrosphère (océans, mers, fleuves, glaciers), l'atmosphère et la biosphère (respiration des animaux, photosynthèse des plantes, putréfaction). L'intervention humaine dans ce cycle peut conduire à une hausse de la part de carbone dans l'atmosphère – sous forme de CO_2 ou liée à d'autres GES. Le moyen le plus évident d'enrichir la teneur en CO_2 de l'atmosphère est d'extraire le carbone (C) de la croûte terrestre où il est stocké depuis des millions d'années, pour le ramener à la surface et le brûler (réaction avec l'oxygène O_2). C'est précisément le principe de tous les combustibles fossiles. Quelques exemples expliciteront ce qui est inclus dans les émissions de GES anthropiques – donc ce qui est comptabilisé dans le bilan zéro net – et ce qui ne l'est pas.

- 7,8 milliards d'êtres humains vivent aujourd'hui sur la planète. Par leur respiration, ils expirent tous en permanence du CO_2, environ 1 kg par jour en moyenne (Withers 2021). Cela représente un total de 2850 millions de tonnes de CO_2 par an – soit environ 7,5 % des émissions dues aux activités anthropiques. Cette quantité n'est aucunement négligeable. Elle n'a pourtant aucune influence sur le changement climatique car l'être humain ne peut par sa simple existence physique augmenter la teneur de l'atmosphère en CO_2. Il est un élément du cycle global du carbone: le CO_2 qu'il rejette en respirant avait auparavant été extrait de l'atmosphère par la photosynthèse des plantes dont il s'est nourri, et à leur place poussent de nouvelles plantes qui «consomment» du CO_2. [10]
- La vache s'est gagnée le titre peu enviable de perturbatrice du climat: comment cela s'explique-t-il? Ne fait-elle pas également partie du cycle du carbone? Oui et non. Si la vache émettait principalement du CO_2, cette objection serait correcte. Elle transforme cependant dans ses estomacs le carbone en d'énormes quantités de méthane, auquel le climat est nettement plus sensible (voir tableau 1). Elle augmente ainsi considérablement le potentiel de réchauffement global du carbone. Parce que ces centaines de millions de vaches ne vivent leur existence (généralement assez brève) qu'en raison de l'activité humaine, les gaz qu'elles dégagent sont inclus parmi les émissions de GES anthropiques.
- Les déforestations sans replantations équivalentes aboutissent à des émissions de GES anthropiques, parce que le carbone stocké dans la biomasse se retrouve tôt ou tard dans l'atmosphère.
- A contrario, les déforestations avec replantation équivalente ne modifient pas le bilan du CO_2 anthropique. Elles sont donc neutres en CO_2, même si le bois coupé est brûlé

Pour atteindre le zéro net, la totalité des émissions humaines de GES devraient donc être neutralisées par des mesures de compensation.

La variante low-tech pour y parvenir consiste à planter de nouvelles forêts. Au cours de leur croissance, celles-ci stockent, sous forme de biomasse, du carbone prélevé dans l'atmosphère. Toutefois, cette réduction ne peut être obtenue qu'une seule fois par site – et uniquement sur des terres qui n'étaient pas boisées auparavant; elle n'est en outre durable qu'à condition qu'une génération ultérieure ne déboise pas de nouveau cette forêt.

La variante high-tech est représentée par les technologies (encore en phase de développement) de retrait de CO_2 de l'atmosphère (CDR) suivi de son stockage permanent (CCS) (voir figure 7). Il s'agit donc de trouver une méthode permettant d'inverser le film des processus ayant conduit à l'extraction et à la combustion des vecteurs énergétiques fossiles.

planétaire. Pour faciliter la comparaison de l'impact des différentes émissions de GES et permettre de les additionner, ils sont habituellement indiqués directement en équivalent CO_2, ou éq.CO_2 en abrégé. Cette valeur s'obtient en multipliant la quantité d'émissions d'un GES par son potentiel de réchauffement global sur 100 ans exprimé en comparaison de celui du CO_2.

La durée de vie dans l'atmosphère d'un GES est également décisive pour son impact sur le climat. Alors que par exemple le méthane (CH_4) se décompose (en CO_2 et vapeur d'eau) dans l'atmosphère en 12 années, la décomposition du tétrafluorure de carbone, un PFC, dure 50 000 ans. [11] Par conséquent, le potentiel de réchauffement global à court terme (direct) d'un gaz comme le méthane, dont la durée de vie est de moins de 100 ans, est encore plus important que ce qu'indique le calcul de son équivalence CO_2 [12], et à l'inverse les gaz à longue durée de vie ont un impact à long terme encore plus importants que ce que suggère la conversion utilisée.

Concernant le CO_2, le processus est plus complexe. Il ne se décompose pas chimiquement dans l'atmosphère comme d'autres GES, mais il est soustrait de celle-ci par de nombreux processus physiques et biogéochimiques se produisant dans les océans et sur les terres, à des vitesses plus ou moins rapides, dans le cadre du cycle du carbone. La durée de vie du CO_2 ne peut donc pas être spécifiée précisément. Une part considérable est extraite de l'atmosphère en quelques décennies, mais le reste y persiste nettement plus longtemps. Après 1000 ans, de 15 % à 40 % du CO_2 anthropique émis se trouve encore dans l'atmosphère (IPCC 2013 : p. 29).

Une remarque concernant le cycle du carbone : le **tableau 1** tient également compte de l'influence qu'exercent sur le bilan des GES les changements d'affectation des terres (en raison de l'agriculture et de la sylviculture). Les forêts, les sols et leur végétation emmagasinent du carbone. Non seulement la déforestation sans replantation équivalente, mais aussi en général l'utilisation intensive des terres, libèrent des GES (Umweltbundesamt 2020a). En 2019, ces phénomènes ont émis dans le monde 6800 millions de tonnes d'éq. CO_2 (ce qui correspond à 12 % des émissions) (Unep 2020 : p. 5).

10 En outre l'être humain est en fait – si l'on peut dire – un petit puits de carbone : il ne rejette pas, par sa respiration tout au long de sa vie, autant de CO_2 que les aliments dont il s'est nourri en ont extrait de l'atmosphère – et la différence se reflète dans le poids de son corps. Environ 24 % de celui-ci correspond à du carbone (C) *(Holleman et Wiberg 2017)*. Pour un poids moyen de 55 kg (enfants inclus), cela correspond à 13 kg par personne. La croissance annuelle actuelle de la population, 73 millions d'êtres humains par an, retire donc pour ainsi dire 1 million de tonnes de CO_2 par an – une quantité cependant dérisoire en comparaison de ses émissions **(voir tableau 1)**. Ce n'est donc pas d'une croissance de la population qu'il faut attendre le salut climatique.

11 Plus exactement, ces valeurs indiquent le laps de temps nécessaire pour que la quantité initiale de la substance se réduise d'un facteur e (2,72), autrement dit après lequel 63,2 % de la quantité initiale a disparu de l'atmosphère *(Bafu 2020a)*.

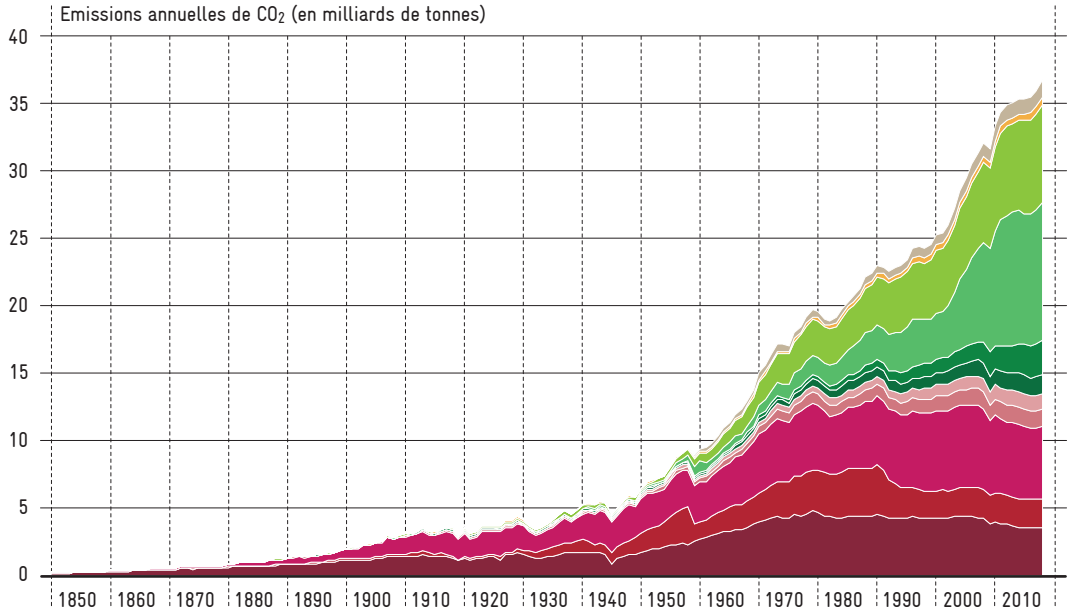
12 Car la valeur se réfère au potentiel de réchauffement sur 100 ans. Si donc le méthane CH_4 a un potentiel de réchauffement 25 fois supérieur à celui du CO_2 mais qu'il s'est déjà décomposé à plus de la moitié après 12 années, cela signifie par raisonnement inverse que son potentiel de réchauffement, restreint par exemple aux 20 premières années, prend une valeur encore plus importante – en l'occurrence un facteur 84 *(IPCC 2014 : p. 87)*.

1.2.2 Les émissions de GES en chiffres

Les quatre figures suivantes fournissent une vue d'ensemble de l'évolution et de la structure des émissions mondiales de GES. Jusqu'en 2018, le monde n'a pas enregistré de recul des émissions de CO_2 (2a), et c'est l'Amérique du Nord qui a accumulé la plus lourde «dette» de CO_2 (2b) ; 73 % des émissions de GES sont dues à la consommation d'énergie mondiale, 18,4 % résultent de l'agriculture et de l'utilisation des sols (3) ; enfin, un tracé chronologique fait apparaître la hausse en flèche quasi-verticale de la concentration de CO2 (4).

Figure 2a : Evolution des émissions annuelles de CO_2 par région du monde

Les émissions de CO_2 anthropiques n'ont pas atteint de niveau significatif avant 1850. Le graphique représente donc leur évolution mondiale à partir de cette date. Jusqu'en 1950, les émissions annuelles mondiales n'ont guère dépassé 5 milliards de tonnes et elles étaient à 90 % imputables à l'Europe et aux Etats-Unis. Les émissions ont ensuite augmenté très rapidement, et ont pris des proportions importantes également dans les autres parties du monde. Le premier choc pétrolier de 1973 n'a occasionné qu'une pause de deux ans dans cette croissance, mais le deuxième choc en 1980 provoqua un bref réel repli : le niveau de 1979 n'a été retrouvé qu'en 1984. L'effondrement du bloc de l'Est est clairement visible sur le graphique : les émissions de CO_2 des pays autres que les 28 membres de l'Union européenne ont chuté quasiment de moitié au début des années



Source : Owid (2021a)

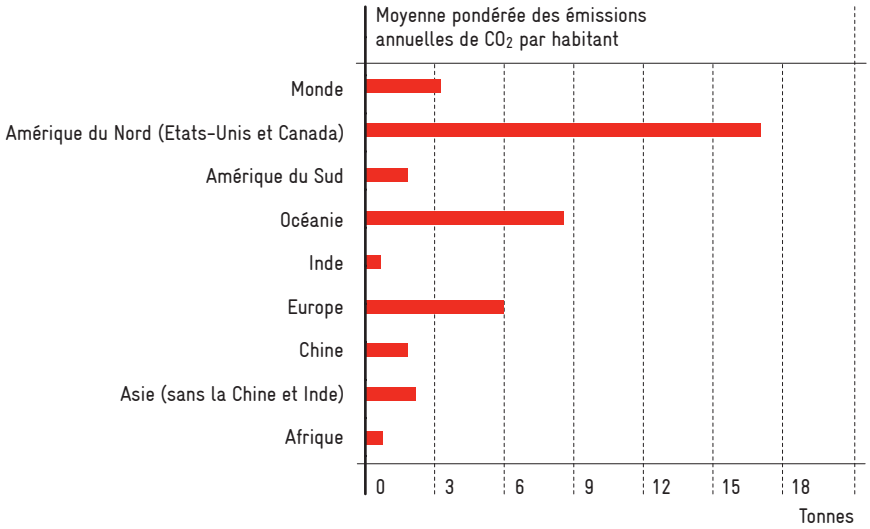
1990. Les émissions de la Chine ont véritablement explosé dans les années 2000 ; depuis 2011 leur augmentation a pu être fortement ralentie – malgré la poursuite de la création de richesse. Aujourd'hui la Chine est de loin le plus grand émetteur de CO_2, et l'Asie émet plus de CO_2 que l'ensemble du reste du monde – sachant toutefois que la population d'Asie est aussi plus nombreuse que celle de l'ensemble du reste du monde.

Le graphique donne également une idée du volume cumulé des émissions. Celui-ci correspond simplement à la totalité de la surface colorée jusqu'à une année donnée. A partir de 1850 et durant les 100 années qui suivent, les émissions de l'Europe (par l'intermédiaire du Royaume-Uni surtout) et des Etats-Unis dominent l'ensemble, mais comme ces émissions étaient encore très faibles en termes absolus, leur masse ne pèse pas énormément dans le cumul jusqu'à aujourd'hui. En 1911, les Etats-Unis ont dépassé le Royaume-Uni et sont devenus le pays responsable du plus grand volume d'émissions (cumulées). Mais avec 43 milliards de tonnes d'émissions totales depuis 1850, ces deux pays cumulaient alors ensemble à peine la quantité émise aujourd'hui par le monde en une seule année. Fin 2018, 33 % du cumul total de CO_2 anthropique émis depuis l'origine était à mettre sur le compte de l'Europe, 25 % sur celui des Etats-Unis et déjà plus de 30 % sur celui de l'Asie (Owid 2021a).

- Transport international
- Océanie
- Asie (sans la Chine et l'Inde)
- Chine
- Inde
- Afrique
- Amérique du Sud
- Amérique du Nord (sans Etats-Unis)
- Etats-Unis
- Europe (sans UE-28)
- UE-28

Figure 2b : La «dette carbone historique» (depuis 1850)

Pour évaluer la «dette carbone historique» [13] de l'Occident vis-à-vis des émissions passées de CO_2, au centre de bien des discussions, il ne suffit pas de faire une comparaison directe des parts d'émissions au cours de l'histoire (comme dans la figure 2a). Celles-ci doivent être rapportées au nombre d'habitants. Dans l'ensemble du monde, pour la période de 1850 à 2018, les émissions annuelles de CO_2 pondérées par le nombre d'habitants [14] se montent à 3,19 tonnes par habitant. Certaines régions présentent des valeurs nettement inférieures : pour l'Afrique et l'Inde, le chiffre se situe en dessous d'1 tonne. La Chine, le reste de l'Asie et l'Amérique du Sud se trouvent également nettement en dessous de la moyenne mondiale. L'Europe au contraire présente un historique d'émissions par habitant qui est presque le double de la moyenne mondiale. «En tête», avec une énorme avance, se trouve l'Amérique du Nord (USA et Canada), avec des émissions moyennes annuelles de 17 tonnes par habitant.

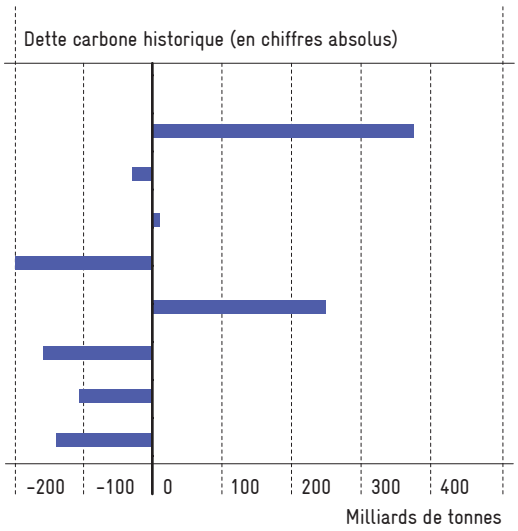


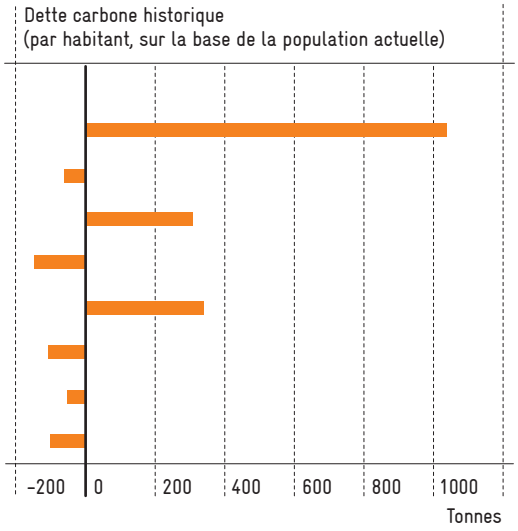
13 La notion de «dette carbone» est naturellement en soi discutable. Les progrès permis par la révolution industrielle (sans laquelle il ne serait pas même question ici de combustion des énergies fossiles) ont apporté un bien-être considérable dans le monde. De ce point de vue, on pourrait tout aussi bien affirmer que les autres pays sont débiteurs de l'Occident. Auquel on pourrait cependant alors opposer la dette de la colonisation. Bref : les arguments concernant la «dette» ne sont pas très productifs dans le débat sur le climat. Les valeurs calculées ici ne visent donc pas à déterminer la responsabilité morale, mais simplement à représenter des faits statistiques.

14 La moyenne de toutes les émissions annuelles de CO_2 par habitant, pondérées par le nombre d'habitants dans ladite année. Cela correspond au quotient suivant : émissions de CO_2 cumulées (1850–2018) / nombre d'habitants cumulés (1850–2018).

La dette historique est représentée dans le graphique par la différence entre les émissions de CO_2 effectivement cumulées par une région du monde et la valeur que ce cumul devrait avoir si la moyenne historique d'émissions par habitant de cette région avait suivi la moyenne mondiale (3,19 tonnes). Ces valeurs (en milliards de tonnes) correspondent donc à la «dette» historique (valeurs positives) ou au «crédit» historique (valeurs négatives) d'une région du monde envers la communauté mondiale. Une dette historique grossit si lors d'une année, un pays a émis des émissions de GES par habitant plus élevées que la moyenne mondiale, et elle se réduit dans le cas contraire.

Si l'on divise cette valeur par le nombre actuel d'habitants d'une région, on obtient un résultat un peu plus parlant: par habitant actuel, les Etats-Unis et le Canada devraient rembourser une dette historique de plus de 1000 tonnes [15], celle de l'Europe serait de 332 tonnes par habitant. L'Inde bénéficierait au contraire d'un «crédit» de 153 tonnes par habitant, et chaque habitant d'Afrique et de Chine aurait également un avoir de plus de 100 tonnes.





Source: propres calculs, basés sur (Owid 2021a)

15 Ou pour le dire autrement: si l'Amérique du Nord ramenait immédiatement ses émissions de CO_2 à zéro, le reste du monde pourrait encore émettre pendant 216 ans son contingent de 4,8 tonnes par habitant, avant que la dette nord-américaine soit amortie.

Figure 3 : Origine des émissions de GES par secteur (2016)

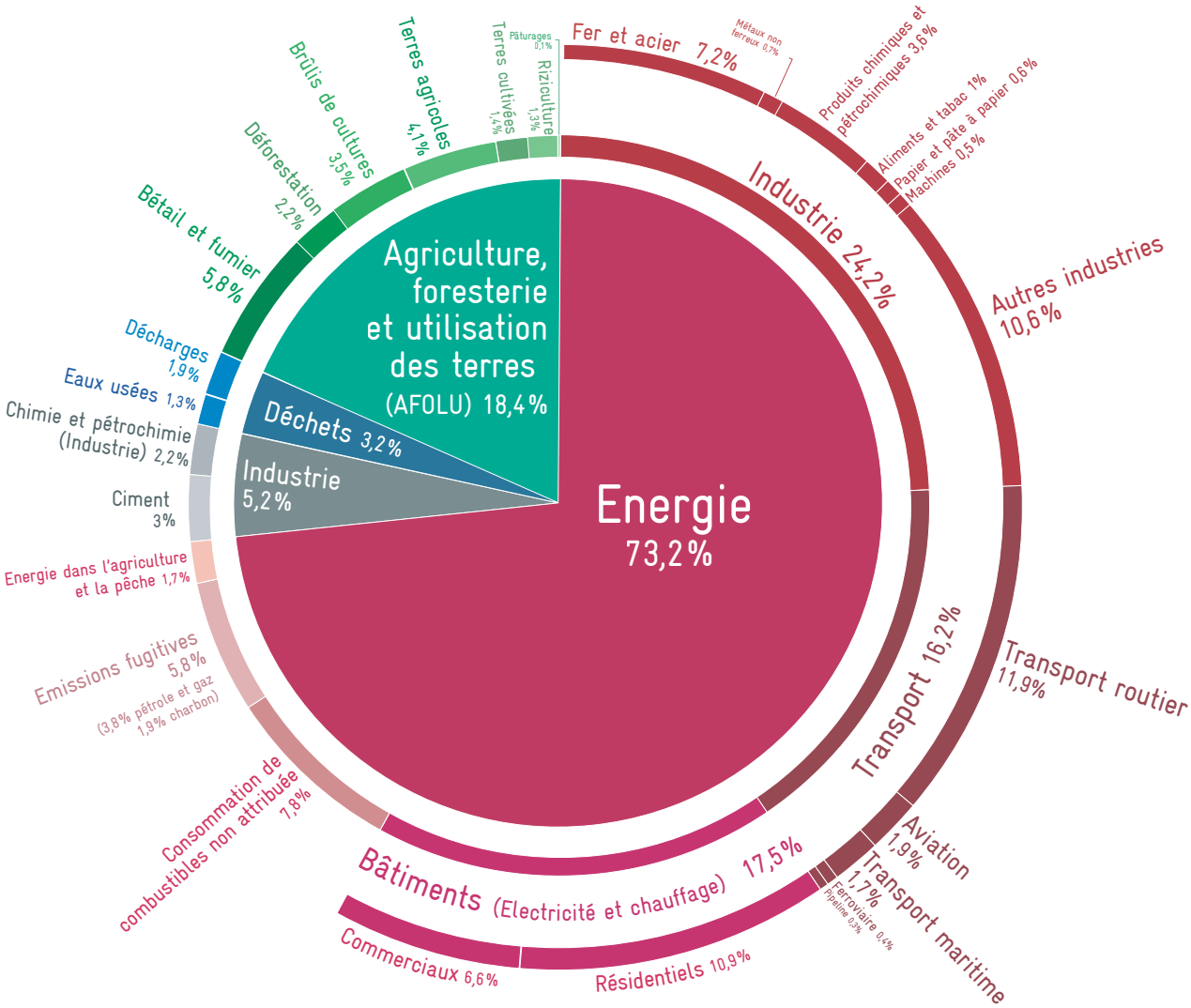
Parmi les émissions de GES actuelles – mesurées en éq.CO_2 –, (seuls) un peu moins des trois quarts résultent de la production ou de l'utilisation d'énergie. Un bon quart n'est pas issu de la production d'énergie, c'est-à-dire de la combustion d'agents énergétiques fossiles, mais est le résultat d'autres processus biologiques/chimiques ou d'un changement d'affectation des terres : 18 % sont imputables à l'agriculture et à des changements d'affectation des terres, [16] dont un tiers résulte de l'élevage de bétail (méthane) et de l'utilisation d'engrais (nitrate). Une part de 8 % provient en outre de la gestion des déchets (processus de décomposition) et de produits industriels. Parmi ces derniers, le ciment est prédominant. Il serait même globalement responsable de 8 % de l'ensemble des GES (Tagesspiegel 2019). Les 3 % indiqués se réfèrent uniquement aux émissions lors de la réaction chimique lors de la production [17] ; 5 % supplémentaires sont attribuables à l'énergie nécessaire au chauffage du calcaire – ils sont par conséquent comptabilisés sous le label Energie du diagramme circulaire (Owid 2021b).

La consommation d'énergie se répartit dans des proportions similaires dans les secteurs de l'industrie, des bâtiments et des transports. Au niveau mondial, la consommation d'énergie pour le logement est responsable de 11 % du total des émissions de GES, et celle du trafic routier pèse 12 %. Le transport aérien souvent décrié lors des démonstrations pour le climat ne représente que 1,9 % [18] et pour le transport maritime, ce ne sont même que 1,7 %. Près de 6 % des GES sont libérés lors de l'extraction de combustibles fossiles.

16 La consommation d'énergie dans l'agriculture est en outre responsable de 2 % du total des émissions. Tout compris, un cinquième de l'ensemble des émissions de GES sont donc produites par l'agriculture.

17 L'oxyde de calcium (CaO) nécessaire pour le ciment est obtenu à partir du carbonate de calcium (CaCO3). Cette transformation produit du CaO et du CO_2.

18 Par la production de traînées de condensation et l'émission de NO_x, SO_2 et de suie, les avions ont cependant un impact plus grand sur le climat : sur 100 ans **(voir tableau 1)**, celui-ci est environ 50 % supérieur à celui du CO_2 émis *(Neu 2021)*.

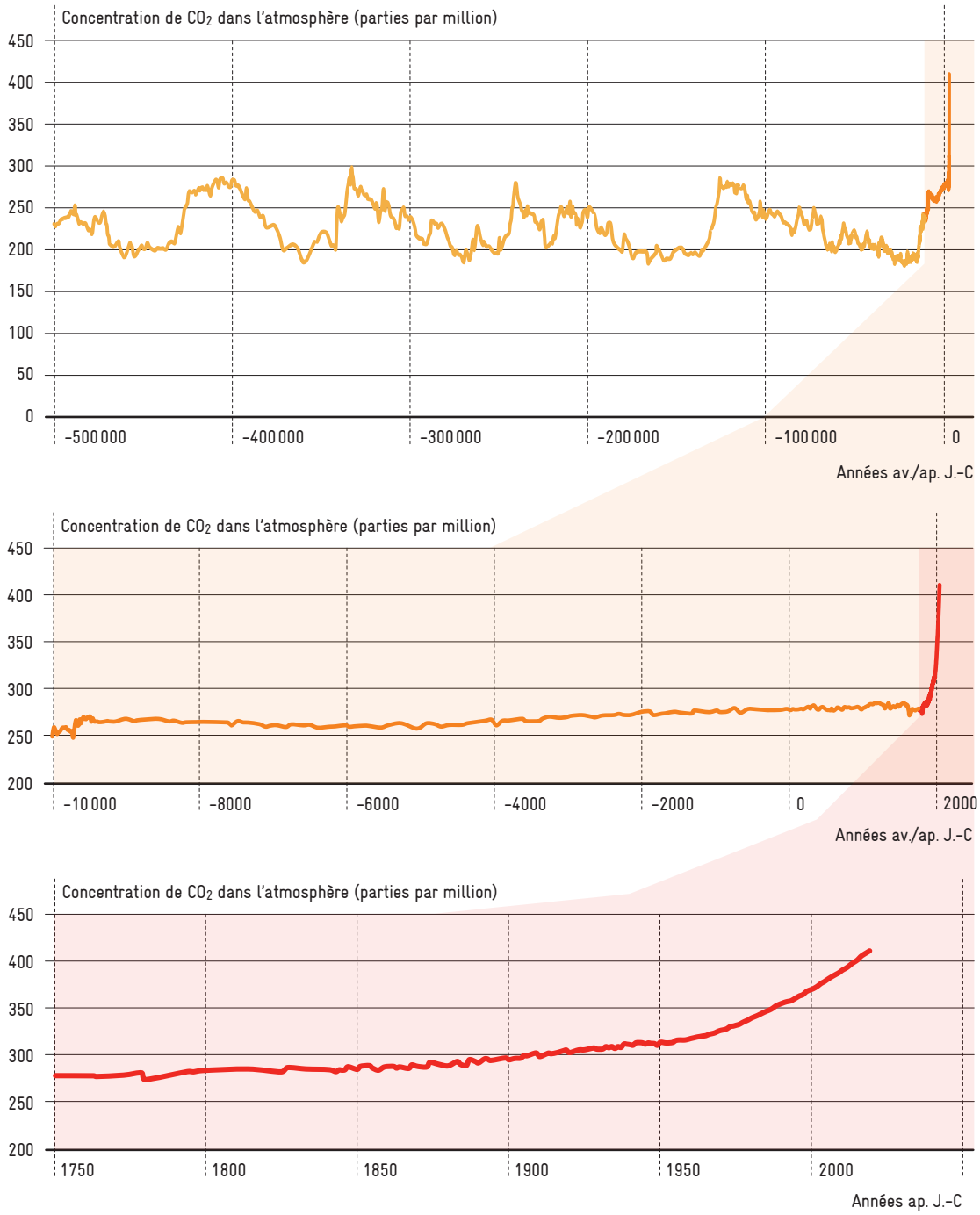


Source: Owid (2021b)

Figure 4 : La concentration de CO2 au cours des âges

Les effets des émissions anthropiques de CO_2 apparaissent plus que clairement quand on représente l'évolution temporelle de la concentration de CO_2, mesurée en ppm, c'est-à-dire en parties par million (relativement au poids). Le graphique du haut montre l'évolution de ces concentrations au cours des derniers 500 000 ans. Dans l'histoire totale de la Terre (4 600 000 000 ans), ce n'est rien – un temps trop bref par exemple pour des modifications substantielles dans la tectonique des plaques ou pour des formations montagneuses. Géologiquement parlant, la Terre il y a 500 000 ans était quasiment la même qu'aujourd'hui. Depuis quelques millions d'années, nous nous trouvons dans un âge glaciaire (définition : au moins une région polaire durablement sous les glaces). Celui-ci a succédé à un âge de climat chaud pendant lequel la température à la surface de la Terre était environ de 5° à 10° Celsius plus élevée qu'aujourd'hui. De tels âges de climat chaud ont représenté de 80 % à 90 % de l'histoire de la Terre. Un âge glaciaire est au contraire caractérisé par des périodes de glaciation se produisant à intervalles réguliers. La dernière glaciation en date a pris fin il y a environ 12 000 ans.

Ces périodes de glaciation sont bien visibles dans le graphique du haut : au cours de ces cinq périodes de glaciation, la teneur en CO_2 de l'atmosphère est descendue quasiment sous 200 ppm. Dans les périodes chaudes intercalaires, la concentration est remontée vers un niveau de 300 ppm (sans jamais le dépasser). Ce n'est qu'à la fin de cette chronologie que se produit une hausse verticale soudaine vers des valeurs dépassant les 400 ppm. Le deuxième graphique, qui se concentre sur la dernière période de réchauffement interglaciaire, montre à quel point cette hausse monte en flèche à la verticale. Au cours de ces 12 000 dernières années, la concentration en CO_2 se situait entre 260 et 280 ppm, et la hausse à l'extrémité de cette période, malgré un fort agrandissement de l'échelle de temps, montre toujours un profil quasiment vertical. Il faut zoomer encore sur les dernières 270 années, autrement dit la période depuis le début de la révolution industrielle, pour voir enfin apparaître une montée initialement lente puis s'accélérant. Impossible donc de nier que non seulement par son ampleur, mais aussi et surtout par sa rapidité, la hausse récente de la concentration de CO_2 a un caractère absolument unique.



Source: propre représentation basée sur Owid (2020)

1.2.3 Hausse des températures jusqu'à nos jours et scénarios pour le futur

L'Accord de Paris, ratifié à ce jour par 191 pays (UNTC 2015), prévoit de contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2°C – et ce non par rapport à aujourd'hui, mais par rapport aux niveaux préindustriels. Les figures des pages suivantes montrent où nous nous situons sur cette voie, évaluent si l'objectif peut encore être atteint, et si oui, à quelles conditions.

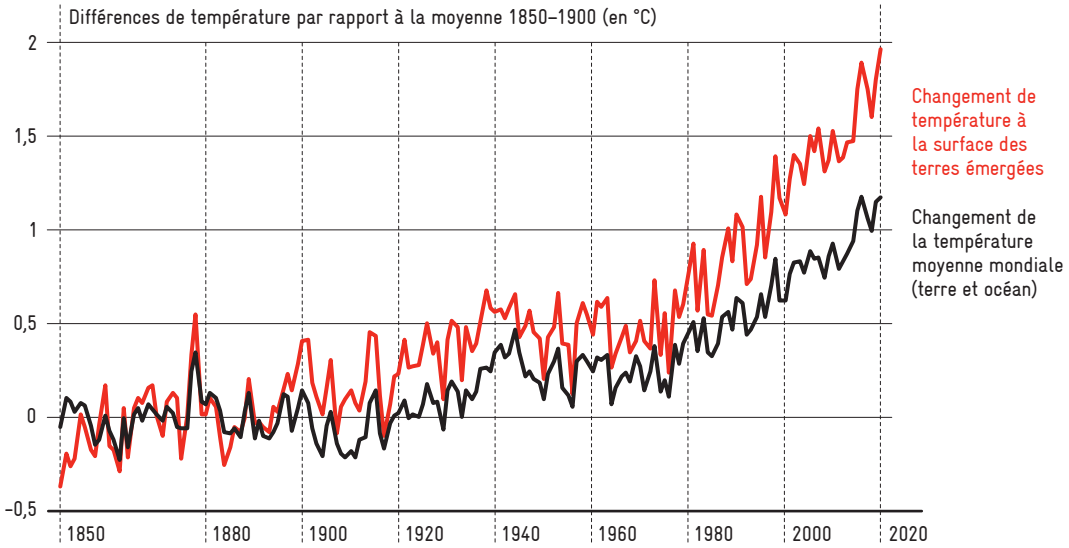
Une autre question est naturellement celle de savoir pourquoi l'Accord de Paris a choisi précisément un objectif de 1,5°C ou «nettement en dessous de 2°C»: qu'est-ce que ce chiffre a de si spécial, et serait-il vraiment si grave de le dépasser? Ces questions seront abordées dans la section 1.2.4 ci-dessous.

Figure 5: Elévation de la température à la surface du globe et des terres émergées depuis 1850

Pour représenter la «période préindustrielle» qui doit servir de point de comparaison, on utilise généralement les années de 1850 à 1900, parfois celles de 1860 à 1880. [19] A cette époque, la révolution industrielle tournait déjà à plein, mais les émissions mondiales de CO_2 se situaient encore à un niveau négligeable; et les données fiables font défaut pour les années plus anciennes. La courbe représentée provient du rapport spécial du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) intitulé «Changement climatique et terres émergées», publié en 2019 (IPCC 2019). Elle représente la moyenne de quatre jeux de données mutuellement indépendants [20] et a été complétée pour les années 2019 et 2020 à l'aide des derniers relevés de la base de données GISTEMP de la Nasa (NASA 2021a).

Avec une augmentation de presque 1,2°C par rapport à la période 1850–1900, l'année 2020 a été, avec 2016, l'année la plus chaude depuis le début des relevés, et vraisemblablement aussi la plus chaude de tout l'holocène [21], et peut-être même de tout le quaternaire. La très grande majorité de la hausse s'est produite au cours des 50 dernières années. Si les moyennes pluriannuelles des températures vers 1970 n'étaient encore que 0,3°C au-dessus du niveau préindustriel, la hausse est aujourd'hui d'environ 1,1°C. Pour ne pas dépasser la valeur recommandée de 1,5°C, la marge n'est donc plus très grande.

Lorsque de telles valeurs sont mentionnées, on ne doit pas oublier qu'elles indiquent la température moyenne *globale* à la surface du globe. [22] Sur les terres émergées – donc (s'il est utile de le rappeler) là où vit 100 % de l'humanité – l'élévation moyenne des températures est, en raison de l'absence d'effet compensateur des océans, nettement plus importante qu'au-dessus de ces derniers. Aujourd'hui déjà, la température à la surface des terres émergées est supérieure de 1,75°C à son niveau préindustriel (voir courbe rouge) et l'objectif global de limiter la hausse à 1,5°C correspondrait à 2,5°C supplémentaires sur les terres.



Source : IPCC (2019a : p. 82) complétées avec NASA (2021b)

19 Ce choix ne fait quasiment aucune différence pour la moyenne des températures. La moyenne des années 1860 à 1880 se situe seulement 0,02°C au-dessus de la moyenne pour la période 1850–1900 (*Owid 2020*).

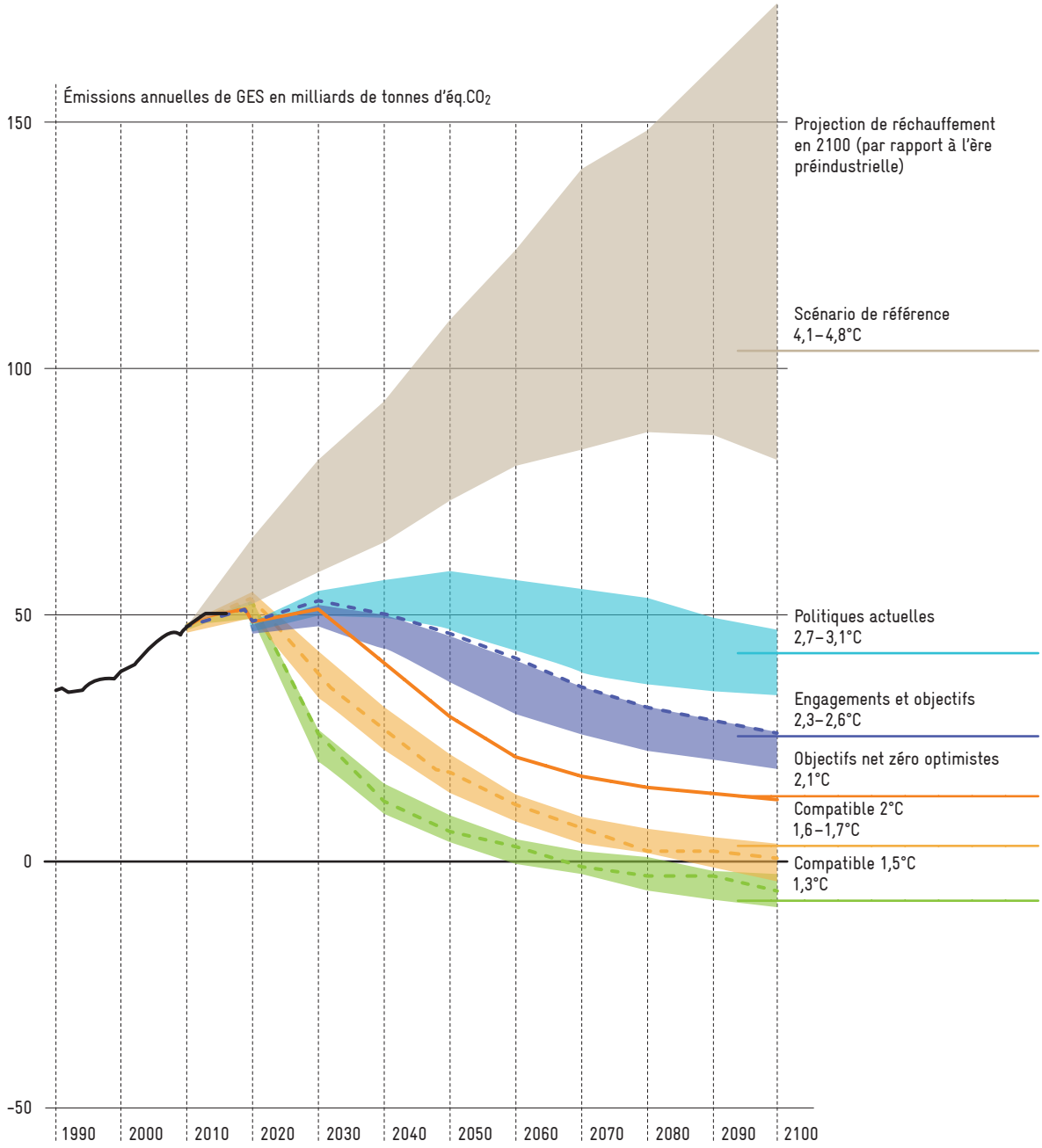
20 NOAA GHCNm v4, NASA/GISS GISTEMP, University of East Anglia CRUTEM4.6, Berkeley Earth Surface Temperature (BEST LSAT).

21 La période actuelle de l'histoire de la Terre, qui commence avec le réchauffement à la fin de la dernière glaciation, il y a 11 700 ans.

22 Mesurée environ 1,5 mètre au-dessus de la surface de la terre ou bien à la surface de la mer (température de l'eau).

Figure 6 : Scénarios concernant les émissions de gaz à effet de serre et le réchauffement climatique

Ce graphique, publié sur www.climateactiontracker.org, résume de façon très visuelle – mais quelque peu simplifiée – les différents scénarios climatiques. Sans aucun effort de préservation du climat, les émissions annuelles de GES continueraient d'augmenter à un rythme marquant à peine de ralentissement (scénario «de référence»). Il en résulterait en 2100 une hausse des températures de 4,1 à 4,8°C par rapport au niveau préindustriel. En appliquant les mesures climatiques actuelles, nous sommes sur une trajectoire qui conduirait à un réchauffement d'environ 3°C. Si les pays mettent en application leurs engagements et réalisent leurs objectifs actuels, la hausse pourrait être limitée à environ 2,5°C. Un total de 127 pays ont jusqu'ici adopté des objectifs zéro net ou sont en discussion pour le faire. Si tous ces objectifs zéro net trouvaient leur implémentation réelle dans les politiques et étaient effectivement atteints, le réchauffement pourrait, avec une probabilité de 50 %, être limité à un maximum de 2,1°C (Cat 2020). Pour ne pas dépasser la limite des 2°C, avec une probabilité de 66 % (selon la notation utilisée par le GIEC), les émissions de GES devraient cependant être réduites encore plus massivement, et surtout plus rapidement. Enfin, pour rester «probablement» sous la limite des 1,5°C, les émissions mondiales devraient être au moins divisées par deux dès avant 2030, et passer même en territoire négatif au cours de la seconde moitié du siècle



Source: CAT (2020)

Tableau 2 : Scénarios concernant la concentration de gaz à effet de serre, leurs émissions et le réchauffement climatique

Moins visuelles, les illustrations contenues dans les rapports d'évaluation du GIEC sont aussi méthodologiquement plus transparentes. Leur sixième édition sera publiée le mois prochain [23], et le tableau qui suit est donc extrait du cinquième rapport d'évaluation datant de 2014.

Premièrement, sur la base de la concentration de GES dans l'atmosphère atteinte en 2100 (mesurée en éq.CO_2), des probabilités sont calculées (voir les colonnes de droite) que l'élévation globale des températures reste d'ici cette année-là au-dessous de certains seuils d'augmentation (par rapport à la période 1850–1900). En second lieu sont indiquées, sous forme d'intervalle de confiance, les réductions d'émissions de GES qui seraient nécessaires de réaliser à l'échéance 2050 et 2100 pour pouvoir atteindre les concentrations correspondantes en 2100 (colonnes 4 et 5). Le niveau de concentration en éq. CO_2 dû aux émissions de GES dépend de nombreux facteurs jouant un rôle dans

Concentrations en éq.CO_2 en 2100 (ppm éq.CO_2) [f] *Désignation de la catégorie (plage de concentration)*	*Sous-catégories*	*Position relative des RCP* [d]	*Changement des émissions en éq.CO_2 à comparer à 2010 (%)* [c]	
			2050	2100
<430	Des niveaux inférieurs à 430 ppm éq.CO_2 n'ont été pris en compte que dans un petit nombre d'étude			
450 (430–480)	Plage complète [a, g]	RCP 2.6	entre -72 et -41	entre -118 et -78
500 (480–530)	Sans dépassement de 530 ppm éq.CO_2		entre -57 et -42	entre -107 et -73
	Avec dépassement de 530 ppm éq.CO_2		entre -55 et -25	entre -114 et -90
550 (530–580)	Sans dépassement de 580 ppm éq.CO_2		entre -47 et -19	entre -81 et -59
	Avec dépassement de 580 ppm éq.CO_2		entre -16 et 7	entre -183 et -86
(580–650)	Plage complète	RCP 4.5	entre -38 et 24	entre -134 et -50
(650–720)	Plage complète		entre -11 et 17	entre -54 et -21
(720–1000) [b]	Plage complète	RCP 6.0	entre 18 et 54	entre -7 et 72
>1000 b	Plage complète	RCP 8.5	entre 52 et 95	entre 74 et 178

le cycle du carbone et ne pouvant être tous calculés avec précision. Les valeurs indiquées représentent les limites des déciles inférieur et supérieur des scénarios d'émissions conduisant aux concentrations de GES fixées en colonne 1. Les valeurs positives correspondent à une poursuite de l'accroissement des émissions, les valeurs négatives correspondent à leur diminution, et les valeurs inférieures à -100 signifient que les émissions nettes sont devenues négatives.

Les scénarios sont résumés dans ce qu'on appelle des trajectoires représentatives de concentration (Representative Concentration Pathways, RCP). Ces trajectoires se basent sur la concentration en gaz à effet de serre et le forçage radiatif [24] prévus dans de nombreux scénarios tirés de publications scientifiques (Wiki Klimawandel 2021). Chaque RCP est associé à un scénario socioéconomique (comprenant des facteurs tels que l'accroissement de population, l'évolution du PIB, la consommation d'énergie, le mix énergétique). Le RCP ayant la valeur la plus élevée – RCP 8,5 – correspond par exemple à la dernière ligne du tableau, ou au scénario de référence représenté dans la figure 6. Les politiques climatiques actuellement en place suivent approximativement la trajectoire du RCP 4,5. Pour atteindre l'objectif des 2 degrés, il serait nécessaire de s'engager sur le RCP 2,6.

Dans son sixième rapport d'évaluation, le GIEC présentera – comme cela avait déjà été le cas dans le rapport spécial «Réchauffement planétaire de 1,5°C» de 2018 – le résultat des nouveaux calculs des fourchettes de budget carbone qui restent à l'humanité en fonction des objectifs d'élévation de température à ne pas dépasser (IPCC 2018: p. 108).

	Probabilité de ne pas dépasser au cours du XXIe siècle la hausse de température indiquée (par rapport à 1850-1900) (d, e)			
	1,5°C	2°C	3°C	4°C
s portant sur un modèle (j)				
	Plus improbable que probable	Probable	Probable	Probable
	Improbable	Plus probable qu'improbable		
		A peu près aussi probable qu'improbable		
		Plus improbable que probable (i)		
		Improbable	Plus probable qu'improbable	
	Improbable (h)		Plus improbable que probable	
		Improbable (h)	Improbable	Plus improbable que probable

(a) jusqu'à (j): voir p. 49

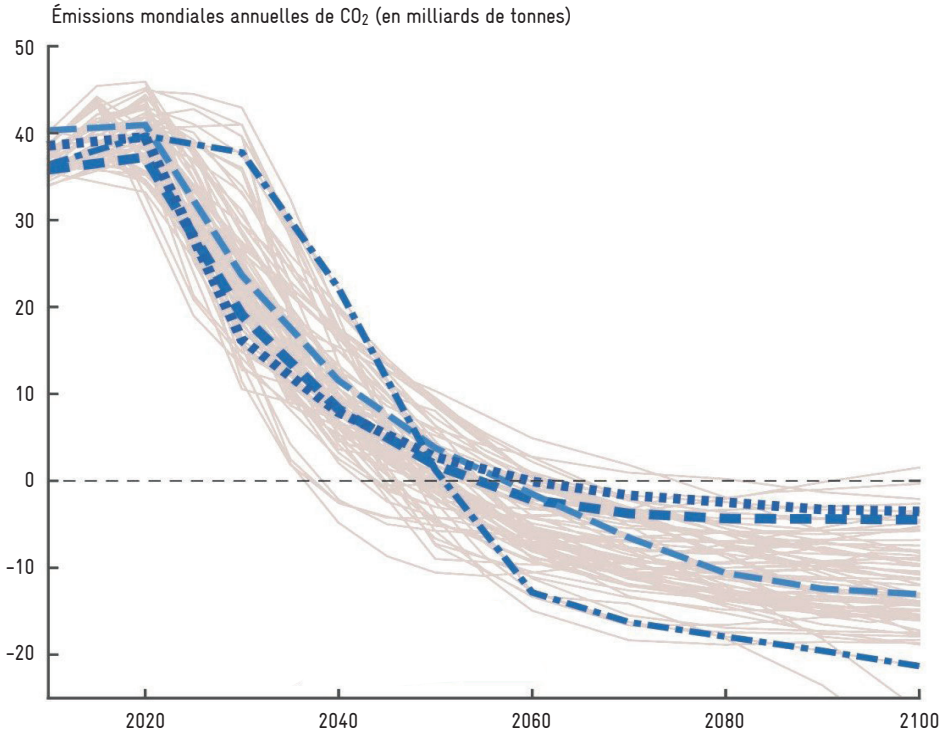
Source: IPCC (2014: p. 20)

23 En juillet 2021 seront publiés les rapports de groupe de travail «Physical Science Basis» et «Mitigation of Climate Change», suivis en octobre de la contribution de groupe «Impacts, Adaption and Vulnerability». Enfin, en juin 2022 est prévue la publication du rapport de synthèse. Voir *IPCC (2021)* pour une vue d'ensemble.

24 La variation constatée dans le bilan énergétique atmosphérique est dénommée forçage radiatif. Il est mesuré en Watt par mètre carré. Le rayonnement infrarouge réfléchi par les GES anthropiques entraîne un forçage radiatif dans l'atmosphère. Les scénarios RCP indiqués dans le tableau sont intitulés directement d'après le forçage radiatif, lequel résulte de la hausse de concentration de GES. RCP 8,5 signifie donc: +8,5 W/m2 par rapport à la période préindustrielle.

Figure 7a : Scénarios de réduction pour atteindre l'objectif de 1,5 degré

Le graphique représente les trajectoires de réduction de GES qui, selon les calculs des modèles climatiques, sont suffisantes pour limiter le réchauffement à 1,5°C par rapport au niveau préindustriel (IPCC 2018 : p. 113). Quatre scénarios types sont mis en évidence. Dans certains scénarios, la hausse des températures dépassera temporairement la limite de 1,5 degré au XXIe siècle, pour repasser en dessous de celle-ci en 2100. Tous les scénarios ont en commun d'intégrer la nécessité à plus ou moins brève échéance d'une période d'émissions négatives pour atteindre l'objectif de 1,5 degré. En toute logique, les émissions devraient descendre d'autant plus profondément en territoire négatif dans la deuxième moitié du XXIe siècle qu'elles auront été réduites lentement à notre époque. C'est dans ce sens qu'il faut interpréter l'avertissement cité au début de ce chapitre (1.2), selon lequel nous aurions encore huit ans pour «sauver le monde» : si les émissions restent à leur niveau actuel, et sans possibilité de réaliser un bilan négatif d'émissions, le budget de CO_2 correspondant à la cible de 1,5°C serait déjà consommé en 2028. A partir de cette date, les émissions devraient instantanément tomber à 0 et y demeurer indéfiniment.



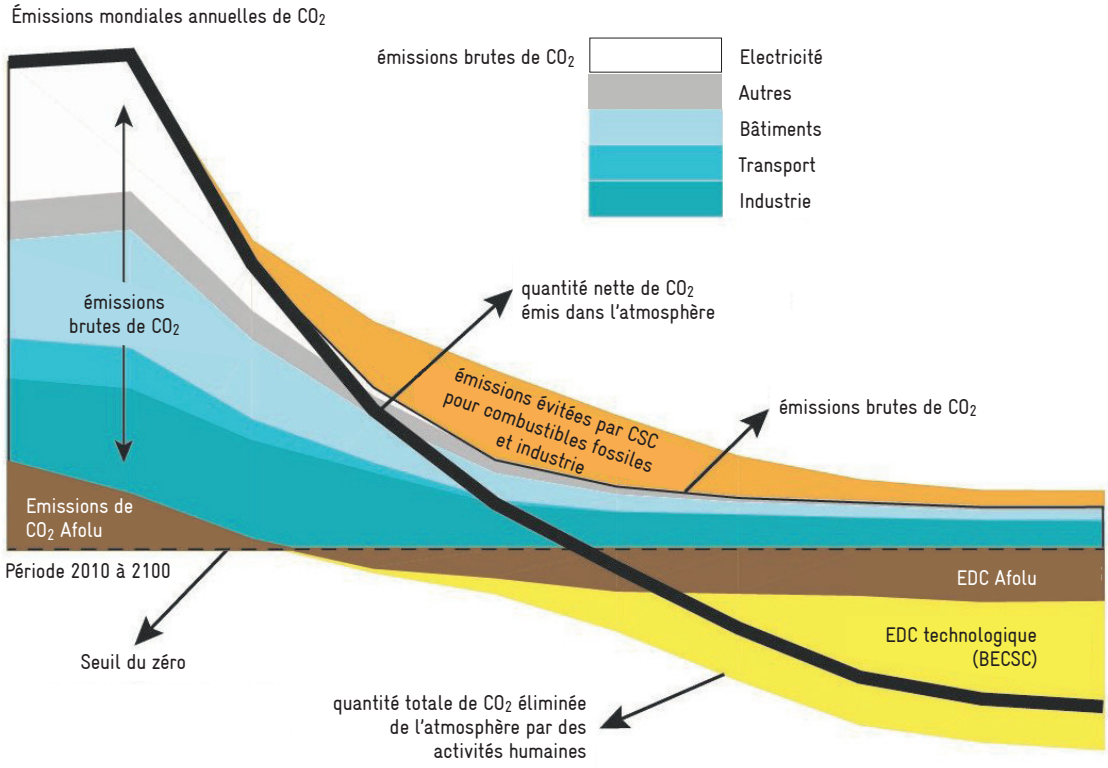
Source: IPCC (2018: p. 113)

Figure 7b: Composition du bilan des émissions de gaz à effet de serre dans le scénario de réduction d'émissions axé sur l'objectif de 1,5°C

La figure représente de quelle manière approximativement, pour une trajectoire de réduction donnée, cet objectif d'émissions nettes de GES pourrait être atteint:

- La totalité de la production d'électricité (surface blanche) devrait rapidement devenir neutre en CO_2 dans les prochaines décennies.
- Les émissions de GES pour la production d'énergie dans les domaines des bâtiments, du transport et de l'industrie (surface turquoise) devraient également chuter fortement et ne devraient pas dépasser au cours de la seconde moitié du siècle plus de 20 % de la valeur actuelle. Une part essentielle de cette réduction devrait être réalisée par les technologies de captage et stockage du dioxyde de carbone (CSC), en anglais «Carbon Capture and Storage» («CCS»). Il s'agit de procédés utilisés directement dans les centrales de production d'énergie pour capturer les émissions de CO_2 et les stocker à long terme dans des «sites de stockage permanents» souterrains (surface orange). Ces procédés interviennent avant même que le CO_2 ne finisse dans l'atmosphère.
- Les émissions nettes de GES issues de l'agriculture, de la foresterie et des autres utilisations des terres (Afolu [25]) sont actuellement encore nettement positives: les techniques de culture, l'élevage de bétail et (en définitive) la déforestation (voir figure 3) contribuent à ce solde d'émissions positif. Celui-ci devrait bientôt devenir négatif, avant tout grâce à de vastes programmes de reboisement.
- Cependant, pour atteindre réellement des émissions nettes négatives, même en réduisant largement les futures émissions de GES et en inversant le bilan de l'Afolu, il resterait inévitable de recourir à des moyens technologiques pour récupérer le CO_2 de l'atmosphère, à savoir des technologies d'élimination du dioxyde de carbone (EDC), ou en anglais «technological Carbon Dioxide Removal» («technological CDR») (surface jaune). De tels procédés existent certes déjà mais ils sont encore trop coûteux et trop difficiles à mettre en œuvre à grande échelle. Des recherches sont cependant en cours pour mettre au point des méthodes potentiellement prometteuses à moyen terme (Bundesrat 2020: p. 22 et suiv.).

25 Agriculture, foresterie et autres utilisations des terres



Source: IPCC (2018: p 113)

1.2.4 Les conséquences de la hausse des températures

L'année 2020 a été une année de crise. Avec 1,2°C au-dessus du niveau préindustriel, elle a été avec 2016 l'année la plus chaude de l'histoire de l'humanité. La crise ne venait cependant pas du climat, mais de la pandémie de Covid-19. La question de la crise climatique quant à elle – une fois les derniers feux de brousse australiens éteints –, s'est faite nettement plus discrète dans ce contexte de crise sanitaire. Et cela, bien que nous ne soyons plus qu'à 0,3°C de l'objectif de 1,5 degré fixé par l'Accord de Paris. Quelle probabilité y a-t-il donc qu'un dépassement de ces 0,3°C change réellement la face du monde ?

Ce que nous savons et ce que nous ignorons

La hausse (moyenne) mondiale des températures est une question de bilan radiatif – et il est prouvé que celui-ci dépend également de la concentration de GES dans l'atmosphère. Un doublement de la concentration de CO_2 est associé à long terme à un réchauffement d'environ 3 degrés (intervalle de confiance 1,5°C - 4,5°C) (IPCC 2013 p. 16).

Cette relation avait déjà été postulée en 1895 par le chimiste suédois Svante Arrhenius, quoique son estimation concluait à un effet encore plus fort (environ 6°C). Les premiers modèles climatiques ont livré, il y a déjà environ 50 ans, des chiffres compris dans l'intervalle de fluctuation mentionné ci-dessus (Hansen et al. 1981; Manabe et Wetherald 1967). Les modèles se sont depuis considérablement améliorés, mais les résultats continuent de fluctuer à l'intérieur de cette fourchette. La relation est log-linéaire : si un doublement de la concentration de CO_2, passant de 280ppm à 560ppm entraîne une hausse de 3°C, il serait alors nécessaire de doubler à nouveau la concentration et atteindre 1120ppm pour augmenter à nouveau la température de 3°C supplémentaires.

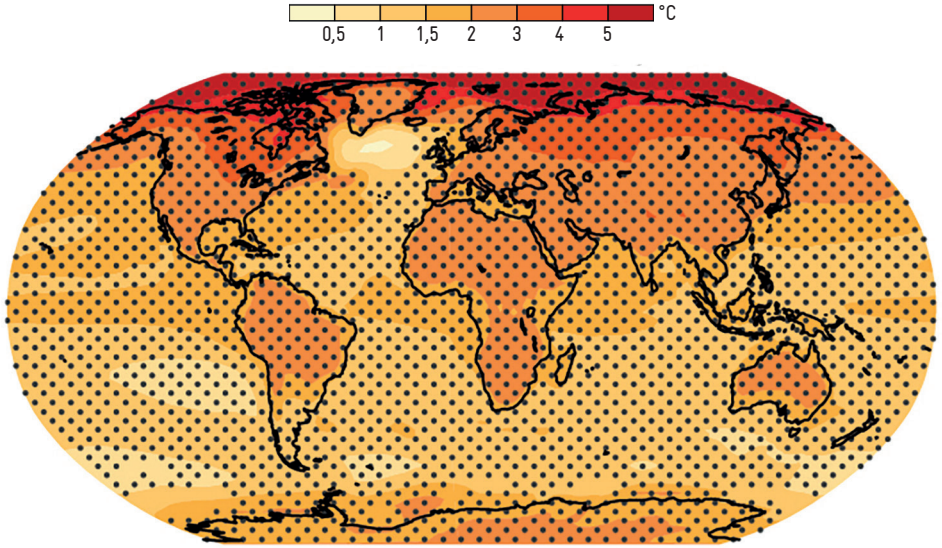
Il est également clair qu'une plus forte chaleur accentue l'évaporation de l'eau. Il s'ensuit une hausse des précipitations – lesquelles sont toutefois loin d'être uniformément réparties : les régions les plus humides, comme les tropiques ou les latitudes moyennes, tendent à devenir plus humides parce qu'un air plus chaud peut contenir davantage d'eau, et les précipitions s'intensifient ; les régions sèches au contraire, comme les régions subtropicales, tendent à s'assécher encore davantage en raison de la plus grande évaporation (IPCC 2018 p. 10). Ce phénomène à lui seul suffit à rendre les épisodes de sécheresse et de précipitations tendanciellement plus extrêmes (que ce soit en durée ou en intensité).

Une bien plus grande incertitude entoure en revanche les modifications spécifiques aux différents climats régionaux. Ces derniers ne dépendent pas simplement du bilan radiatif global, mais de la répartition de l'énergie dans l'atmosphère (océan, terres, montagnes, rétroactions régionales) et sont ainsi sous l'influence de l'organisation à grande échelle des courants dans l'atmosphère. Les dynamiques d'évolution de ces derniers restent encore incertaines (Zappa 2019). Certains schémas de base sont connus : les températures à la surface des continents augmenteront nettement plus qu'à la surface des

Figure 8

Répartition de la hausse mondiale des températures (RCP4,5, 2081–2100 vs. 1986–2005)

La carte représente la répartition des hausses de températures moyennes à la surface du globe, pour la période 2081–2100 comparée à la période 1986–2005, dans le cas d'un scénario «RCP 4,5», qui serait approximativement le résultat des politiques climatiques actuellement mises en œuvre. Les régions du pôle Nord sont nettement celles où l'augmentation est la plus forte.



Source : IPCC (2013 : p. 1063)

océans (voir figure 5). Le réchauffement le plus important devrait concerner les régions du pôle Nord, c'est-à-dire le nord de la Sibérie, le Canada et l'Arctique (voir figure 8).

Ces changements s'accompagneront d'une réduction du gradient de température entre les régions polaires et les tropiques dans les couches inférieures de l'atmosphère. L'influence exacte que ce phénomène aura sur le front polaire n'est pas encore claire. Le front polaire sépare l'air froid polaire de l'air chaud subtropical. Plus la différence de température entre ces masses d'air est élevée, plus les différences de pression s'accentuent et par conséquent plus les vents du jet stream polaire prennent de la vitesse. [26] Ce jet stream peut adopter une grande variété de formes, mais il prend typiquement une forme ondulatoire. Ces ondulations se déplacent habituellement d'ouest en est, ce qui explique les variations régulières des conditions météorologiques sous nos latitudes tempérées : lorsque nous nous trouvons au nord de l'onde formée par ce courant, nous sommes sous l'influence de l'air polaire froid ; lorsque nous sommes au sud de l'onde,

26 L'air se dilate lorsque les températures augmentent, par conséquent il se crée dans la haute troposphère (à environ 10 km de hauteur) une différence de pression entre les zones subtropicales (haute pression) et la région polaire (basse pression). Cette différence de pression forme des vents orientés du sud vers le nord, mais qui sont déviés vers l'est par la force de Coriolis. C'est ce qui donne naissance au jet stream du front polaire dont la vitesse atteint plusieurs centaines de km/h à 10 km d'altitude.

l'air chaud subtropical domine. Les calculs des modèles climatiques indiquent que les ondulations du jet polaire pourraient devenir plus stationnaires avec l'affaiblissement du gradient de température, ce qui se traduirait par un allongement de la durée des épisodes météorologiques (sécheresse, pluie, chaleur, froid) et donc, par ce simple fait (y compris en l'absence d'une plus forte intensité), par des effets plus extrêmes (Coumou et al. 2018; Mann et al. 2017). En raison du réchauffement de la région arctique, le front polaire devrait en outre se décaler légèrement vers le Nord, en particulier durant l'été. Une sécheresse estivale accentuée menace ainsi notamment la zone méditerranéenne.

Points de basculement (tipping points)

Les points de bascule, ou de basculement, désignent des valeurs seuils et dans le contexte du changement climatique, des températures seuils dont le dépassement entraîne un changement de situation non réversible. Ce phénomène est généralement lié au déclenchement d'un processus d'auto-renforcement (rétroaction positive). Il existe cependant également des processus climatiques s'auto-renforçant qui ne comportent pas de véritable point de basculement – et qui donc sont en principe réversibles. [27] Les points de basculement sont un argument de poids pour appeler à limiter le réchauffement climatique à 1,5°C. Il est cependant généralement ardu de déterminer leur valeur – il est possible de modéliser les processus, mais plus difficile de prédire quel niveau de réchauffement constituera un point de basculement pour tel ou tel système. Les paragraphes qui suivent en présentent quelques exemples importants :

Banquise arctique : la valeur critique pour la fonte totale de la banquise en été se situe vraisemblablement entre 1,5 et 2°C (de réchauffement global) (IPCC 2018 : p. 258). La banquise arctique est cependant plutôt soumise à un processus graduel – réversible – et ne présente pas de point de basculement bien défini (ibid. : p. 262). La rétroaction glace-albédo [28] a déjà entraîné à ce jour un réchauffement de l'Arctique bien supérieur à 2°C. La fonte de la banquise arctique n'a en outre pas d'effet sur le niveau des mers : la glace flottante déplace déjà un volume d'eau correspondant à sa masse – par conséquent le niveau d'eau reste inchangé lorsqu'elle fond.

Calotte glaciaire du Groenland : en fondant, la calotte glaciaire du Groenland diminue de hauteur par rapport au niveau de la mer, et sa surface rentre donc au contact de températures plus chaudes, ce qui accentue le processus de fonte. La calotte continuerait ainsi à fondre, même si la température mondiale cessait d'augmenter. Le point

27 Par exemple, la teneur en vapeur d'eau dans l'atmosphère est un facteur de rétroaction sans point de basculement. Le réchauffement planétaire augmente le taux d'évaporation et donc la teneur en vapeur d'eau dans l'atmosphère. La vapeur d'eau est un gaz à effet de serre (voir p. 20), et à ce titre elle contribue à son tour au réchauffement. L'albédo (capacité de réflexion des rayonnements par la surface de la Terre) est également un phénomène autorenforçant, mais sans véritable point de basculement : les températures élevées font diminuer les surfaces enneigées et englacées. Ainsi la surface de la Terre devient plus sombre, ce qui signifie que le rayonnement solaire est davantage absorbé et moins réfléchi, ce qui renforce à nouveau le réchauffement.

28 Voir deuxième partie de la note 27.

de basculement de ce processus se situe avec une assez grande certitude en dessous de 2°C de hausse de température, et certains scientifiques soupçonnent même qu'il est déjà franchi (Palmer 2020). Une chose est sûre : avec les températures actuelles, une calotte glaciaire ne pourrait plus se former sur un Groenland dégagé de toute glace. La fonte totale de la calotte glaciaire du Groenland élèverait le niveau des mers de 7 mètres. Ce processus prend cependant au moins plusieurs siècles, voire plus de 1000 ans (Lenton et al. 2019).

Inlandsis d'Antarctique occidental : l'Antarctique comprend deux sous-continents, l'Antarctique oriental et l'Antarctique occidental (au sud de l'Amérique du Sud), d'étendue nettement plus réduite. La calotte glaciaire de l'Antarctique occidental repose en grande partie sur l'eau [29] et c'est principalement cette partie immergée qui fond par l'effet de l'eau de mer, et non pas sa surface. Sa fonte élèverait le niveau des mers de jusqu'à 6 mètres (durée : de quelques siècles à plus de 1000 ans). Une forte fonte ou un point de basculement ne sont cependant pas attendus au cours de ce siècle. L'immense Antarctique oriental, avec sa calotte de glace atteignant jusqu'à 4 km d'épaisseur, est encore plus stable. Il est néanmoins lui aussi touché par une fonte de sa partie inférieure par l'action de l'eau de mer, récemment observée sur des masses de glaces immergées (IPCC 2019 : p. 346 et suiv.).

Dégel du pergélisol (permafrost) en Russie et au Canada : un dégel de ce pergélisol pourrait libérer d'importantes quantités du méthane qui y est stocké, un GES dont le potentiel d'effet de serre est 25 fois celui du CO_2 (voir tableau 1). Il n'est toujours pas précisément connu à partir de quand ce phénomène pourrait se produire à grande échelle et quelle serait son ampleur. Il n'intervient probablement qu'à partir d'un réchauffement planétaire supérieur à 2°C [30] (IPCC 2018 : p. 262).

Gulf Stream : Le Gulf Stream est certainement l'élément à risque de basculement étudié depuis le plus longtemps. Ce courant océanique chaud apporte des températures clémentes à bon nombre de régions d'Europe du Nord malgré leurs latitudes élevées. Il est une conséquence de l'effet de pompage qui se produit lorsque des eaux de surface fortement refroidies et relativement salées – et donc plus lourdes – plongent dans les masses d'eau polaires (entre le Groenland et l'archipel de Spitzberg). Le réchauffement et l'apport croissant d'eau douce (plus légère) dans la région polaire (augmentation des

29 Elle repose sur le socle rocheux, qui se trouve cependant à des centaines de mètres sous la surface de la mer. Si la chaleur de l'eau fait fondre les niveaux inférieurs de la glace, celle-ci peut dans certaines conditions se soulever du fond et finir par flotter à la surface. La diminution des frottements en bordure de glacier augmente la vitesse d'écoulement de ce dernier. Ce mouvement entraîne également les zones situées à l'arrière du glacier, parfois jusqu'à celles dont la base est située au-dessus du niveau de la mer. Ainsi augmente le mouvement des masses de glace situées sur les terres. Le même phénomène se produit avec les grandes plateformes de glace flottante. Elles agissent comme un bouchon qui empêche les glaciers sur la terre ferme de s'écouler. Si elles s'effondrent ou fondent, le niveau de la mer n'augmente pas, mais la diminution de l'effet de bouchon accélère l'écoulement des glaciers terrestres et c'est ce qui élève le niveau de la mer.

30 Le réchauffement global de 2°C implique pour ces régions des hausses de températures nettement plus fortes (voir figure 8). Le dégel du permafrost sibérien peut déjà s'observer aujourd'hui. Il ne semble cependant pas que le point de basculement soit déjà franchi.

précipitations, fonte des glaciers et de la banquise arctique) diminuent la vitesse de plongée des eaux, ce qui affaiblit également l'effet de pompage. Ce processus semble déjà amorcé (Rahmstorf 2020) et devrait se renforcer au cours du siècle. Le seuil de basculement entraînant la véritable disparition du courant n'est pas connu avec précision. Il est cependant jugé invraisemblable qu'il soit franchi au cours de ce siècle. (IPCC 2019 : p. 618 et suiv.). En outre, un tel effondrement du courant ne ferait pas s'abattre sur nous un brusque âge polaire, tel que le présente le film de Roland Emmerich «Le Jour d'après». Le plus grand effet qu'il pourrait avoir sur les températures d'Europe du Nord serait de les ramener à leur niveau préindustriel. Néanmoins l'affaiblissement du courant cause un refroidissement de la surface de la mer au sud du Groenland et un réchauffement devant les côtes d'Amérique du Nord, ce qui pourraient influer sur les schémas de circulation atmosphérique.

El Niño [31] / La Niña [32]: L'évolution future de ces courants marins situés entre l'Australie et le Chili, et dont les variations peuvent se ressentir dans les conditions météorologiques du monde entier, ne fait pas consensus parmi les scientifiques. L'existence d'un point de basculement, et la détermination de son seuil éventuel, sont également incertaines. Il est supposé que les épisodes El Niño pourraient être plus intenses à l'avenir et également plus fréquents. Leurs effets dans d'autres régions pourraient également s'accentuer (NOAA 2020).

Forêt tropicale amazonienne: La forêt tropicale amazonienne présente peut-être même deux points de basculement : l'un climatologique, l'autre biologique. Ce dernier constitue le plus grand danger : en raison de ses énormes capacités de stockage hydrique, la forêt tropicale génère pour ainsi dire ses propres précipitations. L'eau des pluies est emmagasinée dans la forêt, s'évapore de nouveau à la chaleur et crée de nouvelles précipitations. Sans la forêt, l'eau s'écoulerait et s'infiltrerait au contraire rapidement. En cas de trop forte déforestation (env. 40 %) [33], un seuil critique pourrait être dépassé, à partir duquel la baisse des précipitations est telle que la forêt tropicale se transforme en steppe. Parce que la forêt tropicale est le plus grand puits de carbone existant sur les terres émergées, ce phénomène aurait des conséquences marquées sur la concentration de CO_2 dans l'atmosphère. Le point de basculement climatologique (transformation possible en steppe en raison des sécheresses causées par un renforcement des épisodes El Niño) ne devrait en revanche être atteint qu'à partir d'un réchauffement de 4°C (Nobre et al. 2016).

31 El Niño se produit à intervalles irréguliers, à une fréquence moyenne de quatre ans. Il réchauffe les eaux de surface devant la côte pacifique du Chili, ce qui entraîne une augmentation de l'évaporation et des précipitations dans cette région normalement très sèche, tandis que les régions côtières du sud-est de l'Asie, (normalement humides) connaissent un temps sec.

32 La Niña est en quelque sorte le phénomène inverse. Elle renforce la sécheresse sur la côte ouest de l'Amérique du Sud, tandis que les précipitations se renforcent dans le sud-est de l'Asie et l'Australie.

33 A ce jour, environ 15 % de la forêt amazonienne a été déboisée *(Deutschle 2021)*.

Différences régionales et bilan général

Les conséquences du changement climatique présentent des différences très marquées selon les régions. Les zones les plus négativement impactées sont (en généralisant beaucoup) les zones chaudes, les zones déjà soumises actuellement à une forte sécheresse comme le Sahel, ainsi que potentiellement toutes les zones côtières – surtout si elles sont plates – et les petites îles (IPCC 2018 : p. 259 et suiv.).

Certaines régions très chaudes sont particulièrement densément peuplées – et le plus souvent, ce n'est pas un hasard : le froid rendait autrefois la vie nettement plus difficile aux populations humaines. C'est pourquoi des densités très fortes de population se sont développées dans certaines régions particulièrement chaudes. Un cas typique est le nord de l'Inde. En cas de poursuite de l'élévation des températures de quelques degrés Celsius, le travail ou même la vie en plein air deviendraient quasiment insupportables (McKinsey Global Institute 2020 : p. 18). Les régions tropicales et l'Afrique sub-saharienne seront également probablement éprouvées – particulièrement en ce qui concerne leur agriculture (IPCC 2018).

Pour les zones déjà complètement sèches aujourd'hui, le changement climatique ne causera pas de différence importante, d'autant que ces régions (par exemple le Sahara) sont à peine habitées. La situation est différente dans les zones actuellement sous climat méditerranéen (caractérisé par une sécheresse estivale marquée) : le changement climatique risque d'accentuer la sécheresse, entraînant une détérioration des conditions de vie dans ces régions.

Les zones côtières plates sont naturellement concernées par l'élévation du niveau de la mer. Les estimations données dans les scénarios du GIEC semblent certes à première vue plutôt anodines : dans le scénario le plus favorable (RCP 2,6), cette hausse devrait «vraisemblablement» se situer d'ici au prochain siècle entre 20 cm et 50 cm (valeur attendue 43 cm), et dans le scénario le moins favorable (RCP 8,5) «vraisemblablement» entre 61 cm et 110 cm (valeur attendue 84 cm) (IPCC 2019b : p. 7). [34] Ces données étant des moyennes, l'élévation attendue devrait être plus importante sur certaines côtes (en fonction de la géologie et des modifications de courants marins) – par exemple sur la côte est des Etats-Unis. Les risques liés aux grandes marées et aux raz-de-marée sont également significativement accentués. Sans oublier que cette élévation (du moins pour les scénarios RCP les plus pessimistes) se poursuivrait au cours des siècles suivants en raison du franchissement de différents points de basculement, même si les émissions de GES diminuaient massivement à la suite des réductions d'émissions passées.

Pour certains pays, le changement climatique offre cependant également des opportunités – en premier lieu pour les deux plus grands : le Canada et la Russie (Tagesanzeiger

34 La plus grande part de l'élévation du niveau est due à la dilatation thermique de l'eau, et non pas aux fontes des calottes glaciaires du Groenland ou d'Antarctique. Celles-ci n'arrivent qu'en 3e et 4e position, après la fonte des glaciers. *(IPCC 2019b : p. 352).*

2020a). Ces deux pays possèdent des millions de kilomètres carrés pratiquement inhabités. Le climat qui y régnait (plutôt continental, et donc soumis à des variations saisonnières marquées) était jusqu'ici tout simplement trop hostile à la civilisation pour encourager l'installation de densités significatives de population. Le changement climatique pourrait modifier la donne – surtout grâce à l'important réchauffement de ces régions en hiver.

Lorsque l'on oppose ainsi les améliorations et les détériorations des conditions de vie, on ne doit pas oublier que le changement en soi, même dans les régions climatiquement «favorisées», entraîne des défis à relever. [35] Quel que soit le lieu, la société s'est adaptée aux conditions de température régnantes et a optimisé en conséquence ses infrastructures, son agriculture et plus généralement son mode de vie. Une modification de cet environnement entraîne donc toujours des coûts d'adaptation. De plus, la répartition de la population mondiale n'est pas modifiable à volonté : même si la Sibérie et le Canada devaient offrir à l'avenir, en cas de changement climatique non contrôlé, de meilleures conditions de vie sur des millions et millions de kilomètres carrés, on peine à imaginer qu'un milliard d'habitants venus d'Afrique ou d'Inde viennent s'installer sur ces territoires après avoir connu une détérioration de leurs conditions d'existence dans leur région d'origine.

Conclusion

Les observations dans cette section l'ont montré : nous ne courrons ni inexorablement à la catastrophe en cas de dépassement de la limite de 1,5 degré fixée par l'Accord de Paris, mais il n'est pas garanti non plus que le respect de cette limite nous mette à l'abri de toute conséquence négative notable du changement climatique. Il convient en même temps de bien noter que l'objectif de 1,5 degré n'est pas le simple résultat de négociations entre politiciens zélés, mais une valeur déterminée sur la base de faits scientifiques. Pour reprendre les termes du GIEC, il s'agit de la valeur encore en mesure, avec une probabilité élevée, d'empêcher toute «perturbation anthropique dangereuse du système climatique». Et l'objectif initial de 2 degrés n'a pas été abaissé à 1,5 degré parce que les dirigeants politiques souhaitaient montrer qu'ils prenaient le problème vraiment au sérieux, mais parce que de nouveaux résultats scientifiques ont indiqué que certains points de basculement importants pourraient se situer à des niveaux plus bas qu'initialement estimés. [36]

35 Par exemple, de vastes étendues inhabitées en Sibérie commenceraient probablement par se transformer en un vaste marécage. Les infrastructures en place (y compris par ex. les pipelines) seront ainsi en danger *(ESKP 2020)*.

36 Pour une discussion des différences entre l'objectif de 2 degrés et celui d'1,5 degré, voir par ex. : *Levin (2018)* ou *IPCC (2018)*.

37 Déjà au cours du dernier âge de réchauffement, il y a environ 120 000 ans, lorsque les températures étaient 1 à 2 degrés au-dessus du niveau préindustriel, le niveau des mers (à son niveau d'équilibre à long terme) se trouvait entre 6 et 10 mètres plus élevé que celui d'aujourd'hui *(IPCC 20 : p. 409f et p. 425f)*.

Et pourtant : si nous manquons l'objectif de 1,5 degré (ce qui est assez vraisemblable), il sera toujours préférable de limiter la hausse à 2°C plutôt qu'à 2,5°C. Et si les 2°C sont encore hors de portée, alors 2,5°C seront un moindre mal que 3°C. Chaque fois que la hausse de température s'accentue, ce n'est pas seulement le risque de franchir certains points de basculement clés du système climatique qui augmente, c'est aussi la vitesse d'exécution des effets de rétroaction une fois qu'ils seront déclenchés. Si nous devions par exemple réaliser un jour que la calotte glaciaire du Groenland ne peut plus être sauvée, il sera toujours capital de savoir si elle disparaîtra en 300 ou en 1200 ans. Et il convient également de garder à l'esprit : une hausse de température de 5°C, que nous risquerions en cas de complète inaction, équivaudrait à vivre sous des conditions comparables à celles qui régnaient durant les âges de climat chaud antérieurs au Quartenaire. Durant ces périodes, l'Antarctique était libre de glace. Si toutes les masses de glace actuelles fondaient, le niveau des mers s'élèverait d'environ 70 mètres. [37] Ce processus prendrait certes certainement plus de 1000 ans, mais il laisserait derrière lui un monde radicalement différent de celui que nous connaissons.

Notes se rapportant au tableau 2 :
Les notes ci-dessous sont une copie exacte des notes situées sous le graphique correspondant du GIEC. Elles sont simplement recopiées ici afin de satisfaire aux exigences d'utilisation des graphiques du GIEC. Elles n'ont pas en principe d'importance plus particulière pour les lecteurs de la présente étude.

a) La «plage complète» pour les scénarios prévoyant de 430 à 480 ppm éq.CO_2 correspond à l'amplitude du 10e au 90e centile de la sous-catégorie de ces scénarios figurant dans le tableau 6.3 du rapport du Groupe de travail III.
b) Les scénarios de référence sont classés dans les catégories > 1 000 et 720-1 000 ppm éq.CO_2. Cette dernière catégorie comprend aussi des scénarios d'atténuation. Selon les scénarios de référence dans cette catégorie, la hausse de la température atteint en 2100 entre 2,5 et 5,8°C au-dessus de la moyenne pour 1850–1900. Pour les scénarios de référence des deux catégories réunies, on obtient en 2100 une hausse de température se situant entre 2,5 et 7,8°C (fourchette fondée sur la réponse médiane du climat : 3,7 à 4,8°C).
c) Les émissions mondiales en 2010 dépassent de 31 % les niveaux de 1990 (en accord avec les estimations des émissions de GES historiques présentées dans ce rapport). Les émissions en éqCO_2 comprennent la liste des gaz réglementés en vertu du protocole de Kyoto (le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O) ainsi que les gaz fluorés).
d) L'évaluation ne se limite pas aux RCP (profils représentatifs d'évolution de concentration), puisqu'elle prend en compte de nombreux scénarios ayant fait l'objet de publications scientifiques. Pour évaluer les conséquences de l'évolution de la concentration d'éq.CO_2 et du climat selon ces scénarios, on s'est servi du modèle MAGICC (modèle de bilan énergétique pour l'évaluation des changements climatiques dus aux gaz à effet de serre) en mode probabiliste. Pour établir une comparaison entre les résultats du modèle MAGICC et ceux des modèles dont il est question dans le volume GT I, voir les sections 12.4.1.2 et 12.4.8 du volume GT I et 6.3.2.6 du volume GT III.
e) L'évaluation proposée dans ce tableau est basée sur les probabilités calculées pour l'ensemble des scénarios pris en compte par le GT III à l'aide du modèle MAGICC et sur l'évaluation du GT I des incertitudes des projections de température non représentées par les modèles climatiques. Les assertions coïncident donc avec celles du volume GT I, qui se fondent sur les simulations CMIP5 (cinquième phase du projet de comparaison de modèles couplés) basées sur les RCP et les incertitudes évaluées. Les énoncés de probabilité couvrent donc différents éléments employés par les deux GT. La méthode du GT I a aussi été appliquée aux scénarios de concentrations intermédiaires pour lesquels on ne dispose d'aucune simulation CMIP5. Les énoncés de probabilité n'ont qu'une valeur indicative {GT III 6.3} et correspondent généralement aux termes utilisés dans le RID du GT I: probable 66–100 %, plus probable qu'improbable > 50–100 %, à peu près aussi probable qu'improbable 33–66 % et improbable 0–33 %. En outre, le terme plus improbable que probable 0-<50 % est également employé.
f) La concentration en éq.CO_2 (voir glossaire) est calculée par le modèle MAGICC sur la base d'un forçage total pour une simulation simple du cycle du carbone et du climat. La concentration en 2011 est estimée à 430 ppm éq.CO_2 (avec un intervalle d'incertitude de 340 à 520 ppm). Ceci est fondé sur une évaluation du forçage radiatif anthropique total pour 2011 relativement à 1750, figurant dans le volume GT I du RE5, à savoir 2,3 W/m², avec un intervalle d'incertitude de 1,1 à 3,3 W/m2.
g) La grande majorité des scénarios dans cette catégorie dépassent la limite de 480 ppm éq.CO_2.
h) Pour les scénarios de cette catégorie, aucune simulation CMIP5 ainsi qu'aucune réalisation MAGICC ne restent au-dessous du niveau de température précisé. Pourtant, si la mention improbable est retenue, c'est pour signaler les incertitudes qui pourraient ne pas être prises en compte par les modèles climatiques actuels.
i) Les scénarios de la catégorie 580–650 ppm éqCO_2 comprennent à la fois des scénarios de dépassement et des scénarios qui ne dépassent pas le niveau de concentration dans la partie haute de la catégorie (comme RCP4,5). Pour ce dernier type de scénarios, on estime, en général, qu'il est plus improbable que probable qu'une hausse de température de 2°C ne soit pas dépassée, tandis que pour le premier type, on estime qu'il est essentiellement improbable que ce niveau de température ne soit pas dépassé.
j) Dans ces scénarios, les émissions mondiales en éq.CO_2 se situent en 2050 entre 70 et 95 % au-dessous des émissions de 2010, et, en 2100, entre 110 et 120 % au-dessous des émissions de 2010.

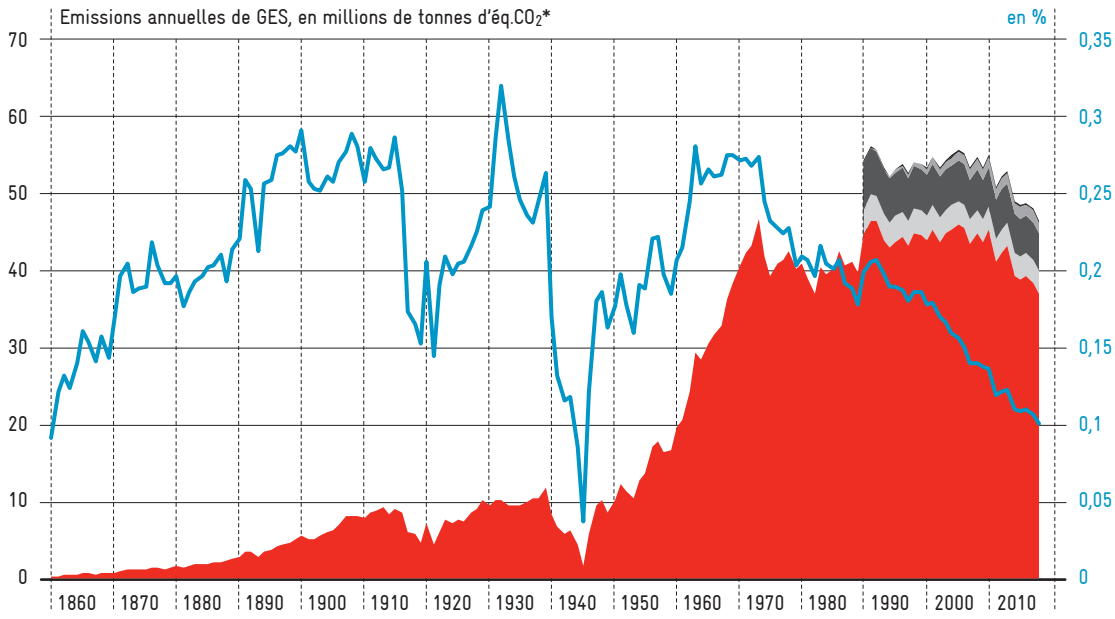
1.3 Données climatiques suisses

On entend régulièrement dire que la Suisse serait particulièrement touchée par le changement climatique. Est-ce réellement le cas? La deuxième partie (1.3.2) du présent chapitre se penche sur cette question. Tout d'abord, une première partie (1.3.1) présente différentes statistiques concernant les émissions suisses afin de situer le pays parmi les autres émetteurs de CO_2 et étudier la structure de ses émissions de GES. A cette fin, six graphiques sont présentés et analysés ci-après.

1.3.1 Les émissions de gaz à effet de serre de la Suisse

Figure 9: Evolution des émissions de gaz à effet de serre depuis 1860

La figure présente les émissions annuelles de CO_2 de la Suisse depuis 1860 (surface rouge). Les données à compter de 1990 couvrent en outre les émissions d'autres types de GES. Partant d'un très faible niveau en 1860, les émissions de CO_2 croissent à un rythme exponentiel durant les 50 années qui suivent. Cette croissance est freinée par la Première guerre mondiale et ses conséquences sur les années qui suivent. Le creux est en-



* A partir de 1990: données de l'inventaire des gaz à effet de serre de l'Office fédéral de l'environnement (Ofev).
1860–1989: données de ourworldindata.org.

Source: Bafu (2020b), Owid (2021c)

core plus prononcé durant la Seconde guerre mondiale – on peut cependant soupçonner que cela tient en partie à l'insuffisance de données. L'après-guerre connaît une augmentation considérable et sans précédent des émissions de CO_2, qui atteignent 46 millions de tonnes en 1973. Les deux crises pétrolières les ramènent sous les 40 millions de tonnes, avant qu'elles ne repartent à la hausse jusqu'à l'année 2000 où elles réatteignent 46 millions de tonnes. Depuis, elles diminuent lentement, mais à un rythme qui s'accélère. En 2018, la Suisse a émis 37 millions de tonnes de CO_2. S'y ajoutent près de 10 millions de tonnes d'équivalent CO_2 correspondant à d'autres GES – en premier lieu le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O). Ces derniers diminuent depuis bientôt 30 ans mais le repli enregistré est modeste.

Le tracé bleu indique la part des émissions suisses dans la totalité des émissions de CO_2 mondiales. Jusqu'à la Première guerre mondiale, cette part augmente de 0,1 % à presque 0,3 %, ce qui atteste du processus de rattrapage industriel suisse. Les chutes abruptes pendant les guerres mondiales doivent de nouveau être interprétées avec prudence. Jusqu'à la première crise pétrolière, la croissance des émissions se reflète également dans le pourcentage d'émissions mondiales, avec une rapide remontée jusqu'à 0,25 %. Depuis le milieu des années 1970, la part de la Suisse est en constant repli. Elle est aujourd'hui redescendue à seulement 0,1 % des émissions mondiales, ce recul étant davantage dû à la forte croissance des rejets mondiaux qu'à la baisse des émissions suisses.

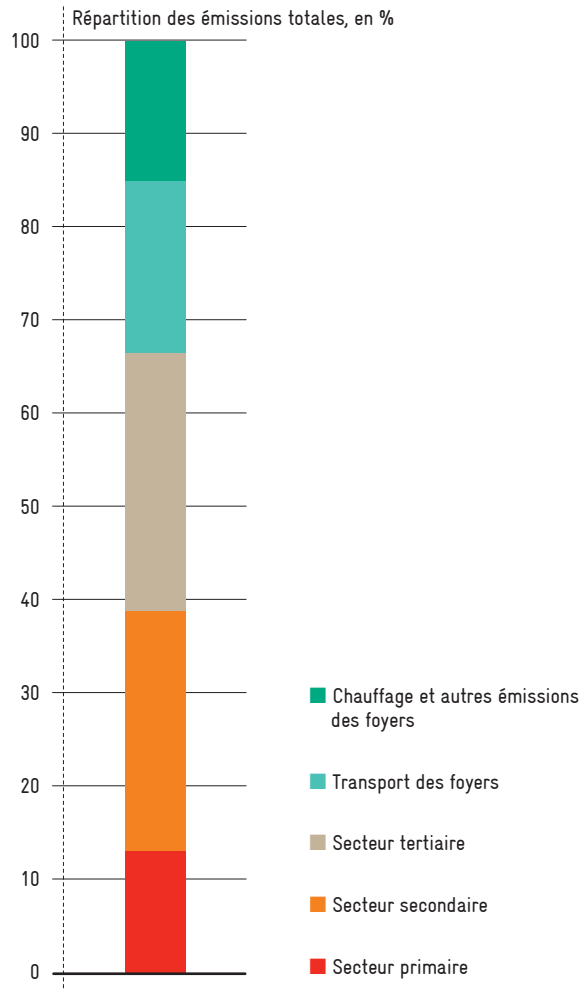
- SF_6, NF_3, PFC*
- HFC*
- CH_4*
- N_2O*
- CO_2
- Part dans les émissions mondiales de CO_2

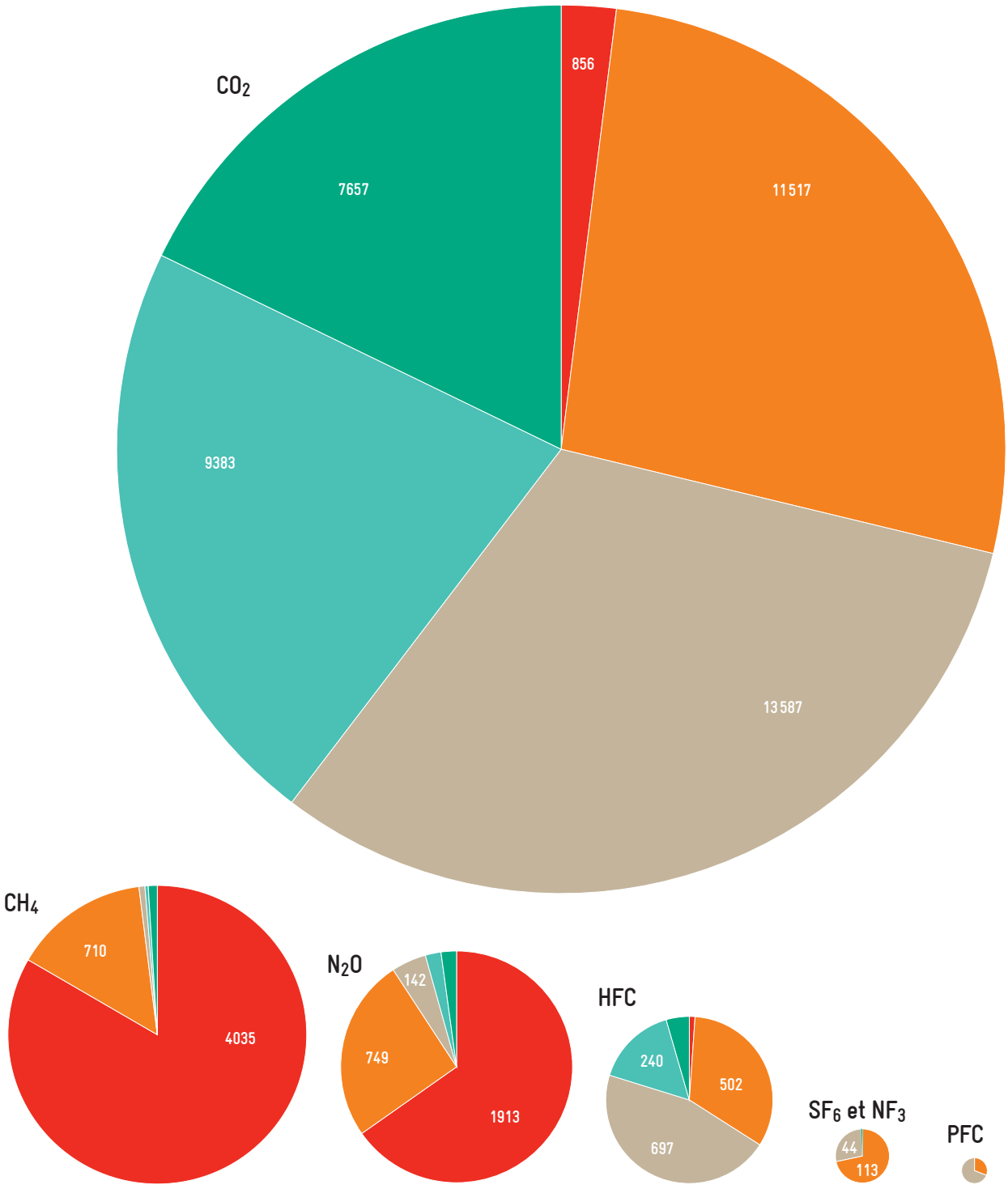
Figure 10: Répartition des émissions de gaz à effet de serre par secteur

Ce graphique montre la répartition par secteur d'origine des différents gaz à effet de serre (voir tableau 1) pour l'année 2018. Les aires du diagramme circulaire – et par conséquent celles des secteurs d'activité correspondants – sont proportionnelles aux quantités d'émissions (en éq.CO_2).

L'activité économique est responsable de 60 % du total des émissions de CO_2 (fossiles), et les foyers privés par conséquent en émettent 40 %. Le secteur des services représente un peu plus de la moitié des émissions de l'économie suisse (tandis qu'il génère 74 % de sa valeur ajoutée) (BFS 2020b). Les foyers émettent plus de la moitié de «leur» CO_2 pour le transport, et le reste résulte très largement du chauffage.

L'agriculture génère en revanche la très grande majorité des émissions de méthane (élevage de bétail) et de protoxyde d'azote (fertilisation). Les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF_6) sont utilisés principalement dans le secteur secondaire et tertiaire.





Les données se rapportent aux émissions de 2018, en milliers de tonnes d'éq.CO_2.

Source: BFS (2020c)

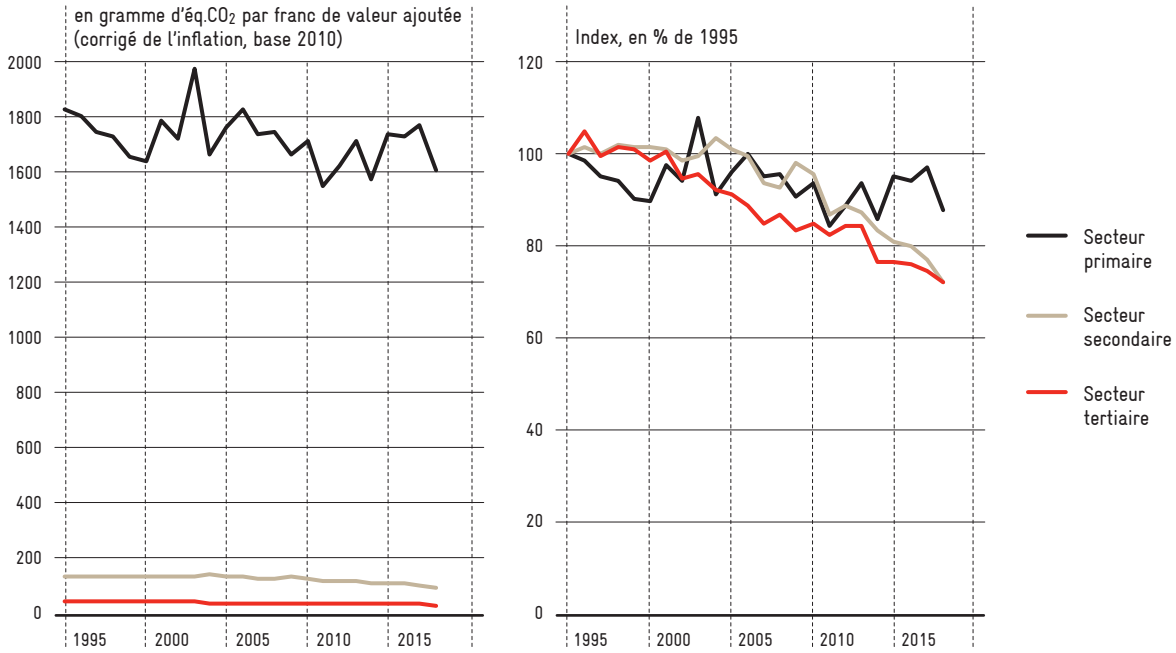
Figure 11 : Intensité des émissions par secteur

A partir des données sur les émissions de GES par secteur et celles sur la création de valeur ajoutée, il est possible de calculer l'intensité des émissions. Celle-ci permet ainsi de répondre à la question : combien de grammes d'éq.CO_2 sont émis par franc de valeur ajoutée créée [38] dans les secteurs primaire, secondaire et tertiaire ? Sans surprise, le secteur industriel présente ici des chiffres nettement plus élevés que le secteur des services : en 2018, le rapport était de 95 contre 30 (grammes/franc.). L'agriculture obtient le plus mauvais résultat : pour chaque franc de valeur ajoutée en 2018, elle a émis pas moins de 1600 grammes d'éq.CO_2 (très majoritairement sous forme de méthane et de protoxyde d'azote, voir figure 10). Parmi les trois secteurs économiques, l'agriculture affiche également la tendance la plus défavorable : tandis que l'intensité des émissions des secteurs secondaire et tertiaire en 2018 est descendue à 72 % de la valeur qu'elle avait en 1995, l'agriculture reste à 88 % – et ce chiffre embellit même la situation car aucune tendance d'ensemble ne se dégage clairement : en 2017, la valeur était encore de 97 %.

Ces chiffres permettent également de calculer aisément la charge financière qui pèserait sur les différentes branches en cas de tarification des GES. Pour un tarif de 100 francs par tonne d'éq.CO_2, une intensité de X grammes d'émissions par franc de valeur ajoutée correspond à une charge tarifaire de X/100 centimes par franc de valeur ajoutée (chiffre d'affaires moins les prestations préalables). Avec une intensité d'émissions de 1600 grammes par franc, l'agriculture serait donc confrontée en moyenne à une charge de 16 centimes par franc de valeur ajoutée. Dans l'industrie la charge moyenne se situerait à près d'un centime par franc, et dans les services à seulement 0,3 centime par franc.

38 corrigé de l'inflation, année de base 2010

Intensité des émissions

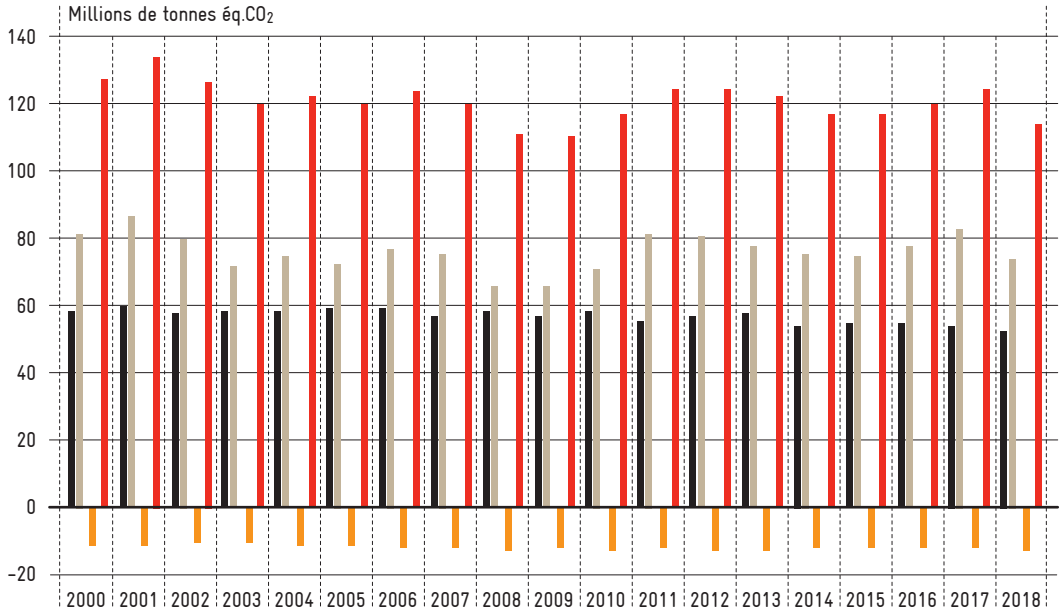


Source: BFS (2020a)

Figure 12: L'empreinte de production et celle de consommation

Si nous voulons vraiment savoir à quel point le mode de vie des habitants en Suisse laisse une forte empreinte carbone, nous devons abandonner le point de vue de la production, auquel s'intéressent habituellement les statistiques (et également les cinq figures restantes de cette section), et adopter à la place une perspective tournée vers la consommation. Pour déterminer les émissions de GES causées par notre consommation, il est nécessaire de soustraire les émissions causées par des biens produits dans notre pays et destinés à l'exportation, et d'autre part d'ajouter les émissions causées par les biens produits à l'étranger et importés dans notre pays.

Il apparaît rapidement que ces dernières sont bien plus importantes que les premières. Les émissions de GES des importations surpassent même nettement les émissions de GES de toute la production intérieure suisse. De plus, tandis que ces dernières affichent une lente diminution (de 60 à 52 millions de tonnes d'éq.CO_2) [39], aucune tendance n'est identifiable pour les importations: leurs émissions oscillent entre 65 et



Source: BFS (2020a)

85 millions de tonnes. Les GES émis par les exportations restent à un niveau assez stable, entre 10 et 13 tonnes par an. Au total, la consommation de la population suisse émet environ 120 millions de tonnes de GES, un chiffre ayant à peine varié au cours des 20 dernières années.

Fermer le pays aux importations n'améliorerait d'ailleurs pas notre bilan carbone. Ce qui ne serait pas importé devrait être produit dans notre pays. Le bilan carbone d'une tomate suisse n'est souvent pas meilleur que celui d'une tomate produite en Espagne – et ce malgré le transport. [40] En rapatriant la production de biens industriels, quelques économies de CO_2 seraient certes éventuellement possibles grâce à notre mix énergétique favorable, mais cela ne vaudrait d'une part qu'aussi longtemps qu'assez d'électricité sera disponible, et d'autre part un tel scénario autarcique déboucherait sur des pertes massives de prospérité, ce qui en dernière ligne réduirait nettement l'efficience énergétique de notre économie (voir figure 14).

- Emissions GES production intérieure
- Emissions GES importations
- Emissions GES exportations
- Emissions GES consommation intérieure

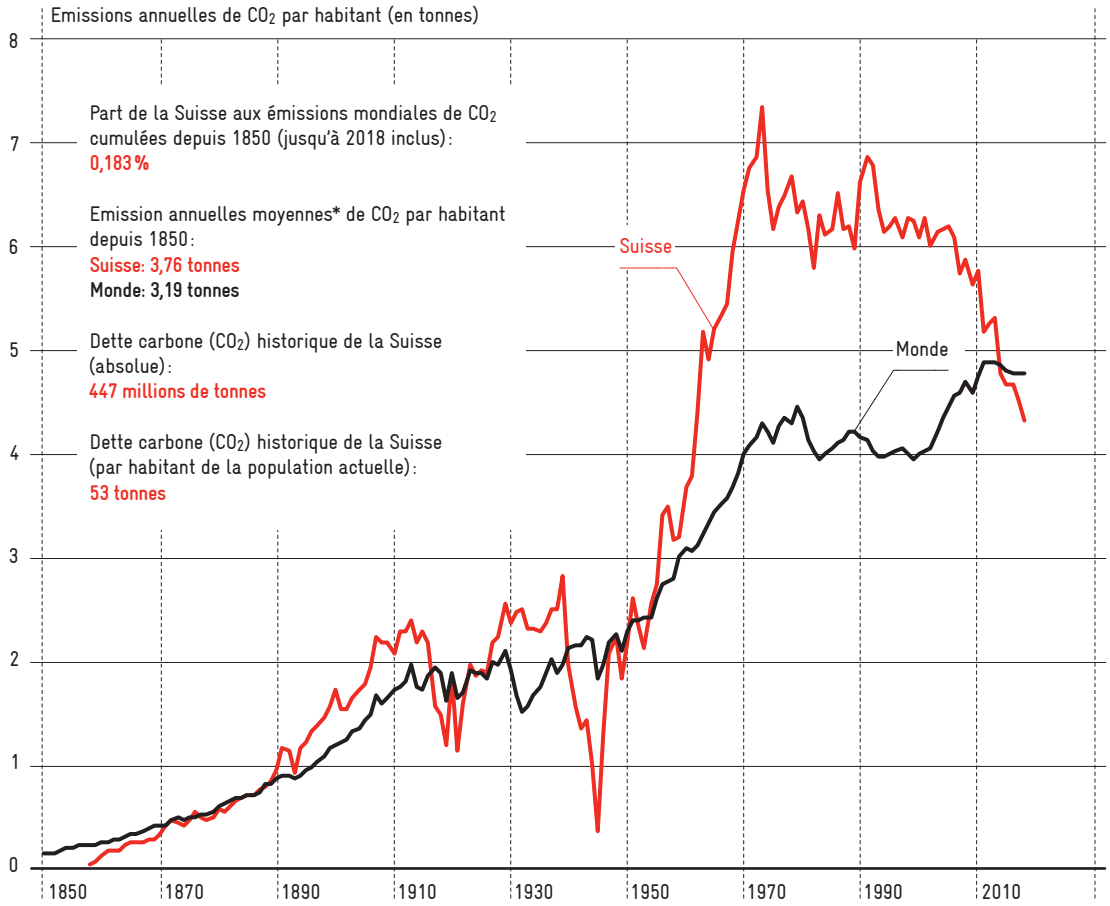
39 Les chiffres de l'OFS représentés ici ne coïncident pas exactement avec ceux de l'Ofev (voir figure 9). Selon l'inventaire des gaz à effet de serre de l'Ofev, les émissions ont diminué de 55 millions à 46 millions de tonnes d'éq.CO_2.

40 Bien plus que le transport, c'est la production qui fait la différence. Si les serres en Suisse – comme c'est le cas en de nombreux endroits – sont chauffées avec des combustibles fossiles pour cultiver des tomates, une tomate murie au soleil importée d'un pays du sud est alors plus respectueuse de l'environnement.

Figure 13: La dette carbone suisse

La Suisse a-t-elle fait bonne ou mauvaise figure au cours de l'histoire en matière d'émissions de CO_2, en comparaison avec la moyenne mondiale? Le graphique suivant et les chiffres qui y sont ajoutés donnent un éclairage sur la question: c'est seulement vers la fin du XIXè siècle que les émissions annuelles par habitant ont dépassé la moyenne mondiale (sachant que celle-ci était très fortement tirée vers le haut par l'industrialisation précoce de la Grande-Bretagne). A l'exception des chutes abruptes – et non réalistes [41] – lors des deux guerres mondiales (voir figure 9), cette situation s'est maintenue, atteignant son niveau maximal en 1973, lorsque les émissions suisses ont dépassé les 7 tonnes par personne. Depuis 2005, elles sont en nette baisse, et en 2018 elles se situaient à 4,3 tonnes par personne, et ainsi sous la moyenne mondiale (4,8 tonnes).

Sur toute la période écoulée depuis 1850, la Suisse a contribué à 0,183 % de la totalité du CO_2 émis depuis cette date. Pour juger du niveau de «dette» suisse et comparer ainsi les cumuls d'émissions historiques, il est cependant plus utile d'utiliser un ratio par habitant (voir à ce sujet les explications dans la figure 2b). Sur cette longue période, la moyenne annuelle pondérée des émissions de CO_2 par habitant se situe pour la Suisse à 3,76 tonnes, à comparer à la moyenne mondiale de 3,19 tonnes par habitant. En proportion de sa population, la Suisse a donc contribué davantage aux émissions mondiales de CO_2, mais la disproportion n'est pas aussi forte qu'on aurait peut-être dû le craindre au vu du très haut niveau de prospérité dans notre pays. [42] La raison essentielle en est l'assez bonne efficience énergétique de la Suisse (y compris au cours de son histoire) et son mix énergétique pauvre en CO_2 (voir figure 14).



* La moyenne de toutes les émissions annuelles de CO_2 par habitant, pondérée par le nombre d'habitants de chaque année. Cela correspond au quotient suivant: émissions cumulées de CO_2 (1850-2018) / nombres d'habitants cumulés (1850–2018).

Source: Owid (2021c), propres calculs

41 L'ampleur des chutes est probablement due en partie au manque de données disponibles.

42 Le résultat de la Suisse serait moins bon si l'on mesurait les émissions en se basant sur la consommation comme dans la figure 12, plutôt que sur la production. Il n'existe cependant pas de longues séries de données pouvant donner une vue sur la consommation.

Figure 14 : Evolution de l'efficience énergétique et du facteur d'émission de la Suisse par rapport au monde

Les émissions de CO_2 sont le résultat de différents facteurs : combien de personnes vivent sur la Terre (ou dans le pays concerné) ? Quel est le niveau de consommation de ces personnes ? Combien d'énergie est nécessaire à la production de ces biens de consommations ? Et : combien de CO_2 est émis lors de la production de cette énergie ? Par un développement de fractions, il est possible d'exprimer les émissions de CO_2 en les décomposant en ces facteurs, à savoir des fractions dont le numérateur et le dénominateur s'annulent en croix d'un quotient à l'autre :

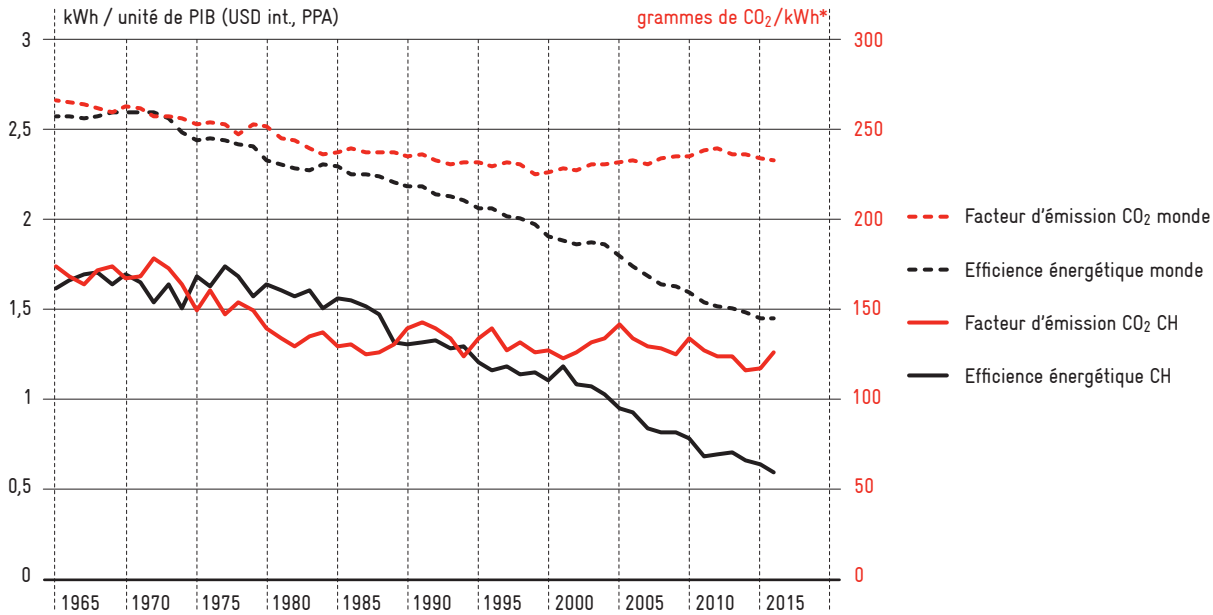
$$CO_2 = habitants \times \frac{PIB}{habitants} \times \frac{énergie}{PIB} \times \frac{CO_2}{énergie}$$

Tandis que les défenseurs radicaux de l'environnement tendraient plutôt à réduire la composante humaine – c'est-à-dire le nombre d'habitants – pour sauver le climat, ou bien du moins feraient campagne pour tourner le dos à la société de consommation (PIB/habitants), les personnes soucieuses d'un climat et d'un remède modérés cherchent des solutions pour réduire les quotients énergie/PIB et CO_2/énergie. Le présent graphique s'intéresse donc à l'évolution de ces deux valeurs.

En matière d'efficience énergétique surtout, la Suisse a fait d'importants progrès : la consommation énergétique par unité de PIB créée a pu être ramenée de presque 1,7 kWh à la fin des années 1960 à 0,6 kWh (2016). En ce qui concerne le facteur d'émission (CO_2/énergie), qui dépend du mix énergétique, les progrès ne sont pas aussi nets : il est passé d'environ 170 grammes/kWh à environ 120 grammes/kWh, en notant toutefois qu'ici – tout au contraire de l'efficience énergétique – aucun recul significatif n'a plus pu être accompli dans les 30 dernières années. Suivant un tracé quasiment parallèle à ces deux courbes – mais à un niveau beaucoup plus élevé – l'évolution des valeurs moyennes mondiales montre une hausse de l'efficience énergétique, passant de 2,6 kWh par dollar de valeur ajoutée à 1,45 kWh (ce qui dessine certes le tracé parallèle évoqué, mais représente en pourcentage une diminution plus faible qu'en Suisse). Le facteur d'émission n'a que faiblement baissé, passant de 260 à 230 grammes/kWh. Depuis l'année 2000, il stagne ou a même de nouveau légèrement augmenté.

Il est étonnant que les émissions de CO_2 par kilowattheure d'énergie produite n'aient pas fortement baissé au cours des 30 dernières années, ni dans le monde ni en Suisse. C'est durant cette période en effet que s'amorça en Occident la transition des énergies fossiles vers les énergies renouvelables. On ne peut que formuler des hypothèses pour expliquer cette lente évolution : il est possible que l'énorme création de richesse en Asie s'accompagnant d'une hausse de consommation d'une énergie à forte empreinte carbone (centrales à charbon) ait tiré vers le haut la moyenne mondiale de ces ratios (et ait contrebalancé certains progrès réalisés par les pays adoptant des mesures de protection du climat). La Suisse, en raison de la part importante que l'énergie hydraulique

et nucléaire occupent déjà depuis des décennies, a depuis longtemps un mix énergétique pauvre en CO_2, auquel l'intensification du passage aux nouvelles énergies renouvelables ne peut rien changer ; enfin, l'intensité carbone des agents énergétiques fossiles importés a vraisemblablement peu varié durant les dernières décennies.



Source : Owid (2021c)

* Valeurs comparatives (émissions de CO_2 en grammes par kWh d'électricité)

Charbon	1000
Gaz naturel	350 à 500

1.3.2 Le changement climatique en Suisse

Scène vue l'été dernier sur la rive du lac de Zurich: un t-shirt portant l'inscription «I survived +2°C». «J'ai survécu à +2°C»: le porteur du t-shirt voulait-il seulement faire un clin d'œil humoristique, ou souhaitait-il ainsi exprimer son ferme scepticisme concernant les conséquences (et les causes) du réchauffement climatique? Cela est demeuré inconnu à l'auteur de ces lignes.

Hausse des températures à ce jour et à l'avenir

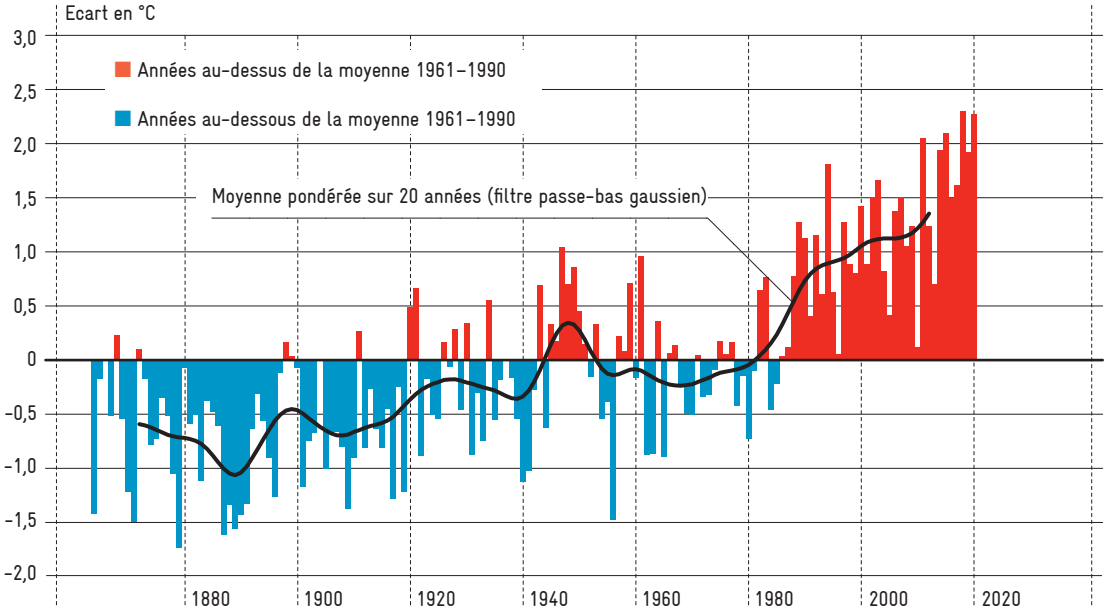
Techniquement, le porteur du t-shirt a raison: en Suisse, les températures annuelles moyennes ont augmenté de plus de 2°C depuis 1861 (voir figure 15). Cette élévation s'est produite à un rythme assez lent jusqu'en 1980 (augmentation d'environ 0,8°C en 120 ans) et s'accélère nettement depuis 1980 (augmentation d'environ 1,6°C en 40 ans).

Sur le fonds, la phrase est cependant inexacte: la personne se réfère manifestement aux 2°C fixés par l'Accord de Paris comme objectif pour contenir le réchauffement planétaire «nettement en dessous de 2°C» par rapport aux niveaux préindustriels. Cependant, les continents se sont réchauffés (voir figure 5) et se réchauffent (voir figure 8) nettement plus que les océans. Sur les terres, la température moyenne mondiale a jusqu'ici

Figure 15

Températures en Suisse de 1864 à 2020

Par rapport à la période de référence 1961–1990, les températures moyennes annuelles en Suisse ont augmenté de 1,5°C jusqu'en 2020. La période de référence était quant à elle environ 0,8°C plus chaude que 100 années auparavant.

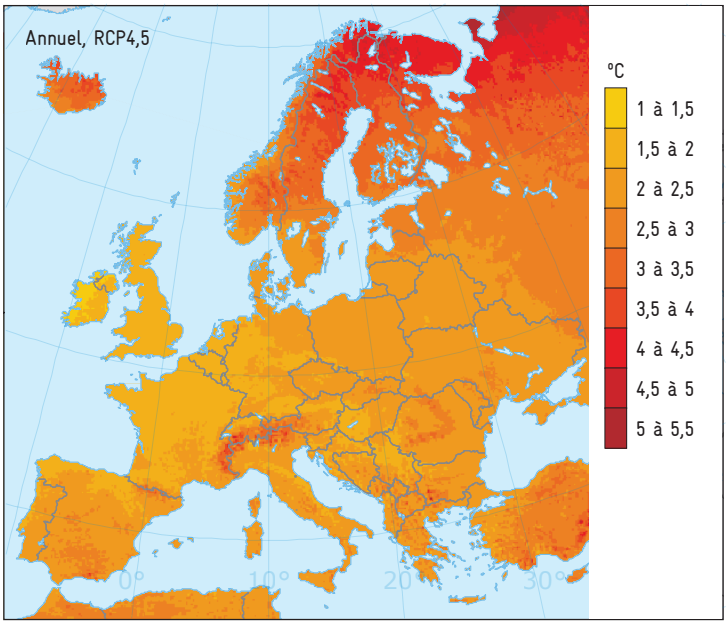


Source: Meteo Schweiz (2020a)

Figure 16

Elévation des températures en Europe (2071–2100 par rapport à 1971–2000)

La carte montre la répartition de l'élévation prévue des températures annuelles moyennes en cas de scénario RCP4,5 (voir tableau 2)*, qui est considéré comme le scénario probable si la politique climatique actuelle se poursuit. La hausse la plus faible devrait concerner le nord-ouest de l'Europe (à l'exception de l'Islande), tandis que le nord-est du continent, ainsi que l'arc alpin, devraient connaître une hausse nettement plus marquée.*



Source: EEA (2014)

augmenté de 1,8°C – et en Suisse, comme le montre le graphique, de même 2,4°C. Il est probable que le réchauffement futur en Suisse atteindra également 130 % à 140 % de la hausse moyenne mondiale des températures sur les terres émergées, en d'autres termes jusqu'à 200 % de la hausse moyenne sur la planète (ETH 2021). Un réchauffement planétaire de 3°C, vers lequel nous nous dirigeons sur la base des politiques climatiques actuelles (RCP4,5) [43], signifierait donc pour la Suisse un réchauffement de jusqu'à 6°C– soit 3 degrés Celsius s'ajoutant au niveau de température actuel.

La carte de la figure 16 montre l'intensité du réchauffement en Europe à la fin du XXIe siècle par rapport à la fin du XXe siècle si le scénario RCP4,5 (réchauffement mondial de 3°C) se produit. Les valeurs ne sont pas directement comparables avec celles citées précédemment, car les écarts ne se basent ici ni sur la période préindustrielle ni sur les années actuelles. [44] La carte permet cependant de se faire une idée de la répartition des hausses des températures. Ces hausses devraient être les moins sensibles en Irlande, en Grande-Bretagne, en France, au Bénélux et dans les régions ouest de l'Allemagne.

43 Voir figure 6 et note 24, p. 37.
44 Pour obtenir l'élévation de température par rapport à la période préindustrielle, les valeurs devraient être majorées d'environ 25 %.

Le réchauffement se renforce nettement en allant vers le nord-est, et s'accentue légèrement également vers l'espace méditerranéen. Selon les modèles climatiques couramment utilisés aujourd'hui, la hausse devrait en outre être particulièrement marquée dans les Alpes.

Le fait que les scénarios climatiques actuels prédisent que la Suisse connaîtra une hausse de température plus marquée que celle en moyenne dans le monde, et que cette hausse serait également supérieure à la moyenne du reste du continent, a donné lieu par le passé à une mise en garde répétée : «La Suisse est particulièrement touchée par le changement climatique !» – Mais est-ce vraiment le cas ? «Etre touchée» ne dépend-il pas plutôt de nombreux autres facteurs que la seule ampleur de la hausse des températures ? C'est ce que nous allons examiner dans la section suivante.

Conséquences du changement climatique en Suisse

En 2018, l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse a publié un rapport détaillé intitulé «CH2018», comprenant des scénarios climatiques pour le pays (NCCS 2018). D'après ce rapport, les conséquences climatologiques principales du changement climatique sont les suivantes : étés plus secs, davantage de jours estivaux (température maximale >25°C), davantage de journées tropicales (température maximale >30°C), davantage de nuits tropicales (température minimale >20°C), moins de jours de gel (température minimale <0°C), moins de jours sans dégel (température maximale <0°C), des précipitations plus extrêmes (surtout en hiver) et des hivers peu enneigés (sur le Plateau suisse). Six de ces changements sont la conséquence directe et logique de températures plus élevées et s'expliquent donc d'eux-mêmes. Les facteurs «étés secs» et «précipitations plus extrêmes» complètent ce tableau et sont part d'une évolution qui peut se résumer en une phrase : le climat suisse devient méditerranéen. Ce changement résulte de la remontée du front polaire vers le nord en raison du réchauffement des régions arctiques, surtout en été ; en conséquence, la Suisse se trouvera la plupart du temps au sud de ce front. Les longues périodes hivernales d'air froid (et plutôt sec) se raréfieront également et dureront en général moins longtemps qu'aujourd'hui. D'une façon générale, les éventuelles modifications du tracé du front polaire ont un plus grand effet sur la fréquence et la durée de certaines futures situations météorologiques en Suisse que la seule montée des températures.

Cette «méditerranéisation» du climat suisse peut être vue, objectivement et sans moralisme ni nostalgie, comme une évolution tout à fait positive :

- En soi, des températures plus élevées dans un pays situé sous des latitudes tempérées et ayant connu jusqu'ici un climat relativement frais sont plutôt agréables. Cette appréciation doit naturellement beaucoup au fait que la Suisse en tant que pays continental n'est pas directement touchée par l'élévation du niveau des mers.
- Davantage de jours estivaux seraient certainement accueillis comme un changement positif par la majorité des Suisses. Nombre d'entre eux réservaient par le passé leurs

vacances d'été dans les pays méridionaux parce que la Suisse ne pouvait offrir la garantie d'un temps chaud et ensoleillé. Cela est en passe de changer. Personne ne souhaite de vagues de chaleur à proprement parler. Mais nous ne devons pas nous illusionner : dans les pays que de nombreux suisses choisissent comme destination de vacances, les «vagues de chaleur» sont la situation météorologique permanente. Elles sont supportables dans ces pays parce que tous les bâtiments y sont climatisés. Une vague de chaleur en Suisse nous met à l'épreuve parce qu'aucun bâtiment (à l'exception des magasins) n'est climatisé et qu'il est donc presque impossible d'échapper à la chaleur et pas davantage de trouver un répit la nuit. Le climat méditerranéen en Suisse conduira certainement à admettre le besoin d'équiper les bâtiments de climatiseurs. Les défis énergétiques que cela représente sont moins importants qu'il peut sembler : avec l'expansion de l'énergie solaire, des pénuries d'électricité sont peu probables en été.

- En hiver en revanche, le besoin de chauffage devrait diminuer. Ce n'est pas seulement positif pour la consommation totale d'électricité dans l'année, mais également spécifiquement pour cette saison froide : compte tenu des transformations de l'infrastructure énergétique européenne, cette saison risque de connaître des pénuries d'électricité. Tout ce qui diminue la consommation d'énergie en hiver est donc bienvenu.
- Dans l'agriculture, les processus d'adaptation qui s'imposeraient représentent certainement un défi pour certaines exploitations. Au final cependant, il est même vraisemblable que l'agriculture sous les latitudes tempérées profite du changement climatique (CDP 2020).
- Le tourisme hivernal ne doit pas nécessairement être impacté négativement par l'élévation des températures. Les stations de basse ou moyenne altitude ne pourront certes que difficilement maintenir leurs domaines skiables ; celles d'altitude sont cependant plutôt assurées d'un enneigement. Dans la mesure où la Suisse compte comparativement de nombreux domaines d'altitude, elle possède à cet égard un avantage compétitif par rapport à ses concurrents européens.

Naturellement, le changement climatique en Suisse n'est pas exempt de défis :

- La sécheresse estivale met en difficulté de larges pans de notre végétation. Nos forêts n'ont pas évolué pour résister à cette sécheresse. Une forêt ne peut se renouveler en quelques décennies ni s'adapter à de fortes modifications des conditions climatiques. Si le changement climatique est rapide, la probabilité s'accroît que les processus d'adaptation de l'écosystème passent par des phases peu réjouissantes – par exemple des disparitions temporaires de forêts.
- Le besoin de protection contre les événements extrêmes (précipitations, tempêtes, sécheresses) s'accroît.
- Le dégel du pergélisol dans les montagnes rend nécessaires de nouveaux ouvrages de protection (pour la stabilisation des pentes et la protection contre les éboulements).

- Même s'il est possible de limiter le réchauffement global à 2°C, 75 % du volume des glaciers suisses disparaîtra (Proclim 2016 p. 65). La question n'est d'ailleurs plus si cela arrivera – car le point de basculement est déjà franchi pour les glaciers alpins – mais à quelle vitesse cela se produira. Indépendamment de la beauté du spectacle qu'il offre au regard, un glacier a entraîné d'énormes masses de débris rocheux au cours de son existence, et ces derniers deviennent instables lorsqu'ils sont libérés de la pression du glacier qui a fondu. En cas de fortes précipitations surtout, des éboulements sont à craindre – et ces derniers peuvent être particulièrement dangereux s'ils finissent dans un lac glaciaire. Les vallées dégagées par le retrait des glaciers seraient en soi toutes désignées pour la création de lacs de retenue. Il serait cependant nécessaire d'exclure le danger d'éboulements (Proclim 2016 p. 93f). Lors d'une catastrophe de ce type en 1963 en Italie, 2000 personnes environ avaient trouvé la mort (Wikipedia 2021a). Les autorités ont par conséquent plutôt pris un chemin inverse jusqu'à ce jour, en vidant les lacs nouvellement formés par la fonte du glacier de Grindelwald et de celui de la Plaine-Morte au moyen de tunnels spécialement construits à cet effet, pour empêcher un déversement incontrôlé des eaux en cas d'éboulements des pentes. La construction du tunnel du glacier de Grindelwald a eu un coût de 15 millions de francs– un montant assez faible par rapport au danger ainsi évité.
- Outre ces effets mesurés à la seule aune de la Suisse, il n'en reste naturellement pas moins une chose : la Suisse n'est pas une île. Des récessions mondiales provoquées par des crises climatiques d'envergure ne l'épargneront pas. La question des réfugiés est également régulièrement évoquée dans le cadre du changement climatique. Il convient cependant de noter ici : les causes principales des migrations de réfugiés vers l'Europe ont été jusqu'ici les guerres, les gouvernements dysfonctionnels et les persécutions politiques. Jusqu'ici, le climat n'est pas du tout reconnu comme motif d'asile par la Convention de Genève. Les grandes catastrophes climatiques conduisent généralement à des déplacements de population dans des régions directement voisines, et non vers l'Europe. Des perspectives économiques troublées par des conditions climatiques défavorables pourraient à leur tour causer des migrations vers l'Europe et la Suisse, mais, comme déjà mentionné, elles ne constitueraient pas un motif d'asile selon le droit en vigueur.

Qui estimerait cette énumération trop subjective et teintée des a priori des auteurs, pourra trouver une analyse réalisée à travers des lunettes moins roses dans le rapport «Risques et opportunités liés au climat» de l'Ofev. Celui-ci liste pour neuf secteurs [45] – de façon neutre en soi – les risques et les opportunités du changement climatique pour la Suisse (Bafu 2017b). L'analyse se base cependant sur un scénario de changement climatique majeur, par suite d'émissions de GES continuant à augmenter de manière

45 Gestion des eaux, économie forestière, agriculture, tourisme, santé, énergie, développement territorial, gestion des dangers naturels, gestion de la biodiversité.

incontrôlée (RCP 8,5). En raison des mesures pour le climat prises par des douzaines de pays, il est prouvé que nous ne nous trouvons pas sur cette voie (voir figure 6 et tableau 2). La liste des risques est certes nettement plus longue que les opportunités dans chaque secteur d'activité. On ne peut cependant s'empêcher de penser qu'une pondération des risques et opportunités indiqués aurait donné une image plus équilibrée. On lit par exemple – chaque fois d'égale importance – les points suivants :

- **Agriculture**
  - Risque : «Nouveaux risques de production en raison du décalage entre les périodes d'activité des pollinisateurs et la saison de floraison des plantes utiles».
  - Opportunité : «Amélioration du rendement du fait de la hausse des températures moyennes et de l'allongement de la période de végétation».
- **Tourisme**
  - Risque : Perception négative du milieu montagneux en tant que lieu de détente/destination touristique suite à des évènements naturels ayant causé des dommages aux personnes ou d'importants dommages matériels.
  - Opportunité : Allongement de la saison estivale, amélioration des conditions météorologiques pour les activités en extérieur.
- **Energie**
  - Risque : Accroissement du charriage dans les cours d'eau de montagne en raison de l'augmentation de l'érosion et de la hausse des crues ; diminution de la capacité des lacs d'accumulation en raison de l'augmentation des dépôts de sédiments.
  - Opportunité : Grâce à une durée d'enneigement plus courte, augmentation de la production d'énergie issue des installations hydrauliques, photovoltaïques et solaires durant le semestre d'hiver.

Conclusion

Bien que le changement climatique pose naturellement des défis également à la Suisse, on peut souligner – à rebours des opinions souvent entendues – le point suivant : la Suisse n'est pas «particulièrement touchée» par le changement climatique – du moins pas si «être touchée» est défini à la fois par l'ampleur et les conséquences d'un changement négatif, et également par les moyens disponibles pour y réagir. Tout au contraire : la Suisse se trouve à cet égard dans une situation qui lui semblerait plutôt prédestinée. Néanmoins : le degré des effets négatifs (ou positifs) du changement climatique sur la vie en Suisse ne peut être le critère déterminant pour décider des mesures que le pays adopte à son encontre. Si le changement climatique, en additionnant ses effets dans le monde entier, présente un solde négatif – ce qui est le cas, comme l'a montré le chapitre 1.2.4 –, il est de la responsabilité de la Suisse, au vu de son haut niveau de vie et considérant que ses émissions par habitant ont été par le passé supérieures à la moyenne, de montrer le bon exemple dans la lutte contre le réchauffement. Avec cette conduite exemplaire, elle peut servir de modèle d'action pour d'autres pays. Mais il est néces-

saire pour cela d'adopter des mesures de protection du climat bien pensées (voir les développements à ce sujet dans le chapitre 3.2).

Que la Suisse soit touchée ou non par le changement climatique est également indifférent en ce sens que la contribution qu'elle apporte (ou n'apporte pas) pour y remédier ne lui est pas destinée : en tant que pays émetteur à l'origine d'à peine un millième des émissions mondiales, son engagement dans la lutte contre le changement climatique ne changera absolument pas la donne. Par conséquent, un engagement en faveur de mesures efficientes répond à l'impératif catégorique kantien, et non à de banals intérêts particuliers.

1.4 Etat des lieux des débats

Le présent chapitre dresse un état des lieux des débats actuels sur le changement climatique – tous éclipsés qu'ils aient été entretemps par la crise du Covid-19 – à la lumière des observations des chapitres 1.1 à 1.3. De façon similaire aux controverses sur le Covid, ce sont les voix extrêmes qui détonent le plus ici : d'un côté les semeurs de «climatopanique», selon qui nous devrions tout stopper, sur-le-champ et toute affaire cessante, afin de sauver la planète de la destruction humaine – de l'autre, les «climatosceptiques», qui nient entièrement la réalité d'un changement climatique causé par l'homme. Nous nous tournons d'abord vers ces derniers – même si leurs voix se font faites un peu plus discrètes dernièrement devant la force des éléments de preuve scientifiques.

1.4.1 Climatosceptiques

Les climatosceptiques sont convaincus que l'humanité ne devrait rien entreprendre contre le changement climatique. Il est intéressant de noter que cette thèse est défendue par des arguments tout à fait dissemblables, qui ne sont certes pas à proprement parler contradictoires, mais dont on se demande ce qu'apporte tel argument dans la discussion si tel autre est supposé déjà être correct. Pour résumer grossièrement :

01_ La Terre n'est pas du tout en train de se réchauffer. Le changement climatique est une invention statistique des lobbystes des technologies vertes.

02_ Le changement climatique n'est pas causé par l'homme (ce qui concède implicitement que la Terre se réchauffe).

03_ Le changement climatique n'a pas, au bout du compte, de conséquences négatives pour notre civilisation (ce qui admet donc implicitement que la Terre se réchauffe et les émissions de GES anthropiques en sont cause).

Les arguments de la troisième catégorie, concernant les coûts et les avantages du changement climatique, sont en réalité les seuls à pouvoir trouver une certaine justification. L'être humain, avec sa disposition d'esprit privilégiant le statu quo, a effectivement cette tendance à voir tout changement comme non naturel et désavantageux, et donc à se focaliser sur les aspects négatifs du changement climatique. Une analyse pragmatique des conséquences du changement climatique est bienvenue : tous les pays ne seront pas affectés de la même façon, certains en tireront même probablement avantage. Cependant le changement en lui-même implique aussi des difficultés à résoudre. Les zones côtières sont particulièrement concernées. En l'absence de toute mesure de protection du climat, le niveau des océans s'élèverait de 2 à 5 mètres d'ici 2300 (IPCC 2019b : p. 11) et forcerait des milliards d'êtres humains à déplacer leur habitat.

Les paragraphes ci-dessous présentent quelques-uns des arguments les plus souvent avancés par les climatosceptiques pour défendre leurs thèses des deux premières catégories ; à chaque fois une courte réponse est apportée :

Pendant que tout le monde parle du changement climatique, la Terre, tranquillement et sans crier gare, a arrêté de se réchauffer.» Cette objection s'entendait fréquemment il y a quelques années. Les sceptiques se référaient par là à une période de 15 années allant de 1998 à 2013 pendant laquelle – considérée isolément – ils ne constataient pas de hausse de température. Cela est cependant tout simplement dû au fait que l'année 1998 qu'ils ont choisie comme année de départ a été exceptionnellement chaude ; en raison des oscillations annuelles relativement fortes en comparaison des tendances à long terme, on ne pouvait donc y repérer de hausse (voir figure 5). Mais dès les années très chaudes de 2015 et 2016 au plus tard, leur thèse se trouvait contredite. Si l'on considère la courbe sur l'ensemble de la période, personne n'aurait l'idée de déclarer une quelconque stagnation entre 1998 et 2013.

Le Groenland tient son nom du fait que les Vikings ont baptisé l'île «Terre verte» lorsqu'ils la découvrirent au Moyen Âge. Autrement dit, il faisait autrefois beaucoup plus chaud qu'aujourd'hui !» Vers l'an 1000 après J.-C., des Vikings émigrant d'Islande se sont installés au Groenland et lui ont donné le nom encore en usage aujourd'hui. Il est vrai que la période autour de l'an mil se trouvait dans ce qu'on appelle l'optimum climatique médiéval. Il régnait alors régionalement – et tout particulièrement au Groenland – des températures plus élevées – cependant non par rapport à aujourd'hui mais par rapport aux températures des temps préindustriels. Le Groenland n'était toutefois pas particulièrement vert. L'appellation doit plutôt être comprise comme un euphémisme, reflet des désirs plus que de la réalité. Il en va de même par exemple pour le Pacifique, c'est-à-dire l'océan «calme», alors qu'il n'est absolument pas calme, mais tout au contraire plutôt imprévisible.

«Les soi-disant 97 %.» En 2013, une méta-analyse publiée par Cook et al. (2013) a relevé que 97 % des scientifiques spécialistes du climat souscrivaient à la théorie du changement climatique induit par l'homme. Les climatosceptiques se sont fait un plaisir de disséquer ce chiffre : «97 % de qui ? Pourquoi ne prendre seulement que les études publiées ? Pourquoi se limiter aux climatologues ? Leur jugement est forcément partial par définition !» Ce sont de bien étranges objections. Si l'on veut connaître l'état des connaissances sur la question des fluctuations quantiques, on n'interroge pas des géologues ou son boulanger d'à côté. Selon une plus récente étude, le consensus (parmi les climatologues) atteint même d'ailleurs 99,94 % (Powell 2016).

La concentration de CO_2 est la conséquence de la hausse des températures et non sa cause.» Cette affirmation est exacte pour les cycles climatiques passés : ces derniers (connus sous le nom de cycles de Milankovitch) ont été principalement causés par l'inclinaison de l'axe de la Terre et la trajectoire de son orbite. La hausse des températures était suivie, avec un certain décalage dans le temps, par une augmentation de la concentration de CO_2 [46] – qui élevait à son tour les températures (Klimafakten 2014). L'effet de serre du CO_2 est cependant déjà connu depuis le XIXe siècle – et rien n'a changé à l'orbite de la Terre dans les dernières décennies. La très rapide montée actuelle des

températures est sans conteste la conséquence, et non la cause, de l'augmentation de concentration de CO_2.

«Ce petit rot de l'Etna a relâché plus de CO_2 que toute l'humanité au cours de son histoire.» Une photo d'une éruption volcanique avec cette légende est devenue virale en 2019 sur les réseaux sociaux. Il s'agissait purement et simplement d'une infox. Actuellement, la totalité (mondiale) de l'activité volcanique rejette environ 180 à 440 millions de tonnes de CO_2 par an (USGS 2021). Cela est moins d'1% des rejets de CO_2 anthropiques, qui se montent à près de 40 milliards de tonnes de CO_2 par an.

«Le réchauffement de la Terre est la conséquence de l'activité solaire.» Une autre affirmation souvent entendue. Et amplement développée en 2012 dans le livre «Le Soleil froid» («Die kalte Sonne») (Vahrenholt et Lüning 2012), et depuis fréquemment reprise – bien que la thèse des auteurs prédisant que l'affaiblissement de l'activité solaire entraînerait une baisse de 0,2°C de la température moyenne mondiale par rapport aux années 2000, n'aurait pu recevoir de plus flagrant démenti par la réalité. (Rahmstorf 2016).

Tentatives de discréditation de la science et du GIEC

Les climatosceptiques expriment souvent le soupçon que derrière l'histoire du changement climatique causé par l'homme se trouverait un puissant lobby des technologies vertes qui voudrait ainsi s'assurer des fonds publics et une réglementation avantageuse. Il n'est pas faux que les lobbyistes financent volontiers ici ou là des études de complaisance et qu'ils convoitent les subventions de l'Etat. Mais il est plutôt irréaliste de supposer que précisément l'industrie des technologies vertes – qui ne pesait pas encore lourd avant la sensibilisation de la société aux problèmes du changement climatique – réussirait toujours et partout à influencer en sa faveur les résultats scientifiques, tandis que le lobby du pétrole, très bien établi et disposant de moyens financiers bien plus considérables, devrait apparemment y avoir complétement échoué.

Ces tentatives de discréditation ont également pris par le passé un tour criminel : en 2009, des climatosceptiques se sont procuré par piratage l'accès à l'ensemble de la correspondance e-mail de l'unité de recherche climatique de l'université d'East Anglia, en charge de l'une des séries de température mondiales. Ils ont épluché des centaines d'emails à la recherche de déclarations compromettantes. Et ils en «trouvèrent» aussi, dans des phrases telles que «*I've just completed Mike's Nature trick of adding in the real temps to each series for the last 20 years (…) to hide the decline*» («Je viens de finir d'utiliser l'astuce de la publication de Mike dans Nature en ajoutant les températures réelles à chaque série des 20 dernières années (…) pour masquer le déclin», qu'ils sortirent complétement de leur contexte [47] pour les faire parvenir à divers médias et provoquer

46 Cette augmentation de concentration résulte en premier lieu du réchauffement des océans. Une eau plus chaude dissout moins facilement le CO_2, raison pour laquelle du CO_2 s'échappe des océans et gagne l'atmosphère.

47 En réalité il s'agissait ici d'une discussion purement technique concernant l'utilisation de séries temporelles de données paléoclimatiques, et le «déclin» ne se référait pas du tout aux températures, mais à la croissance de cernes d'arbres. Voir *Wikipedia (2021b)* pour une présentation complète de l'incident.

ainsi un véritable «Climategate». Cela déclencha effectivement la mise en place de plusieurs commissions d'enquêtes officielles. Toutes sont cependant parvenues à la conclusion que les chercheurs n'avaient pas commis de faute scientifique.

Le travail du GIEC lui-même a été régulièrement la cible de tentatives de discréditation. Bien qu'aucune de ces tentatives n'ait eu de réel succès, une partie de l'opinion publique en a gardé l'impression que le Groupe sur l'évolution du climat faisait partie d'une mouvance alarmiste. Ce serait plutôt le contraire qui est vrai :

- Le GIEC ne publie pas de prévisions mais simplement des scénarios. Chaque scénario est associé à une estimation quantifiée de sa probabilité (voir tableau 2), et pour les probabilités élevées et très élevées, le Groupe indique également quel est le degré de confiance de la recherche sur ce point, sur une échelle qualitative (allant d'un degré de confiance «très faible» à «très élevé»).
- Toute personne qui consulte les rapports du GIEC constatera rapidement qu'ils ont une sobriété toute académique et qu'ils ne cherchent aucunement à remuer des émotions. Dans les trois rapports spéciaux publiés en 2018 et 2019, à savoir «Réchauffement planétaire de 1,5°C» (IPCC 2018), «Changement climatique et terres émergées» (IPCC 2019a) et «L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique» (IPCC 2019b), il n'est pas rare qu'un chapitre de 100 pages de texte et graphiques soit suivi d'une bibliographie couvrant plus de 40 pages.
- Les modèles climatiques utilisés pour les scénarios du GIEC intègrent uniquement les processus qui ont pu être étudiés dans les conditions climatiques actuelles. Ils ne prennent pas en considération les éléments dont on sait certes qu'ils pourraient se passer – par exemple en cas de franchissement de certains points de basculement – mais dont la simulation ne présente pas toutes garanties de sérieux. De ce point de vue, les rapports du GIEC prennent plutôt un parti prudent.

De fait, les études empiriques menées ces dernières années sont plusieurs fois parvenues à la conclusion que certains changements se sont produits plus vite que prévu, par exemple le réchauffement de l'Arctique et par conséquent la fonte de la banquise arctique (Xu et al. 2018). Dans le 6e rapport d'évaluation à paraître prochainement, certaines révisions à la hausse ne seraient donc pas une grande surprise, d'autant plus qu'au sein de la communauté scientifique aussi se sont levées des voix pour demander de mettre moins de retenue dans la communication.

L'alarmisme ne vient donc pas du GIEC, mais des activistes environnementaux et de nombreux acteurs des médias qui citent volontiers, sans aucune mise en contexte, les scénarios les plus pessimistes (RCP 8,5) en laissant penser que ce sont des certitudes, là où la science indique des fourchettes et des degrés d'incertitude.

1.4.2 Climatopanique

Les climatosceptiques, qui étaient les plus audibles dans la période autour de 2010, sont devenus depuis un peu plus discrets. Leurs contreparties sont les semeurs de climato-

panique. Leurs voix n'ont commencé à vraiment porter que depuis quelques années seulement (principalement grâce à Greta Thunberg). Leur langage est souvent accusateur, sélectif et imprécis. Les activistes du climat moralisent, dramatisent, et de nombreux médias reprennent leurs paroles sans examen critique. La présente section cite quelques exemples des formulations les plus couramment rencontrées et les replace dans un contexte scientifique.

Sauver le climat et la Terre : on peut certes être compréhensif pour la recherche d'expressions frappantes, mais il est frappant de voir à quel point «le climat» peut être souvent personnifié. Il peut «être mal en point» (Alt 2019), on peut lui nuire ou même le tuer («climat killer»), et cela non seulement en tant qu'être humain – par exemple en prenant l'avion (Bund 2018) – mais aussi même si l'on est une vache (BR Wissen 2019). On entend tout aussi souvent dire que nous devons sauver la Terre du changement climatique. On peut comprendre ces choix de mots dans des démonstrations. Mais que même un professeur d'éthique économique se fende dans la NZZ d'un : «Le parasite humain détruit son hôte, la planète» (NZZ 2019a), cela est plutôt déconcertant.

Qu'il soit permis ici de le clarifier très brièvement : il est égal au climat qu'il fasse chaud ou non, et il ne peut pas non plus subir de dommages. L'être humain ne détruit certainement pas la planète avec ses émissions de CO_2, et il ne nuit pas non plus à l'environnement, à le prendre dans un sens plus étroit. Le CO_2 n'est pas un poison. Le CO_2 n'est pas une pollution environnementale. Le CO_2 est un élément absolument nécessaire au métabolisme des plantes. Celles-ci le transforment à l'aide de la photosynthèse (et d'eau) en glucose (et une moindre quantité d'eau) ; il en résulte également un «sous-produit» qui est l'oxygène (Brüesch 2016 : p. 251). Même la concentration actuelle d'un peu plus de 400 ppm de CO_2 dans l'atmosphère est en dessous de la valeur optimale pour la croissance des plantes. Ce n'est pas sans raison que la teneur en CO_2 est artificiellement augmentée dans les serres.

Mais plus de CO_2 signifie pourtant des températures plus élevées ? Oui. Mais durant la plus grande partie de l'histoire de la Terre, les températures ont été nettement plus élevées qu'aujourd'hui (voir texte accompagnant la figure 4). [48] La Terre en soi, dont la flore et la faune s'accommodent parfaitement de plus hautes températures.

Mais la vitesse du changement climatique ne menace-t-elle pas certains écosystèmes et donc certaines espèces ? Oui, la flore et la faune se modifieront. Certains écosystèmes ne parviendraient pas à s'adapter à un changement climatique débridé et s'effondreraient. Mais à la place, à moyen terme – en l'espace de quelques siècles, ce qui est toujours un battement d'aile dans les temps géologiques – de nouveaux écosystèmes se développeraient. [49] C'est un fait à bien souligner : en définitive, une fois toutes les adap-

48 L'article Wikipedia sur l'histoire du climat fournit une bonne synthèse de la question.

49 On peut naturellement argumenter que l'être humain n'a en soi aucun droit d'intervenir aussi lourdement dans le destin de la nature. Mais il le fait déjà de toute façon, indépendamment des émissions de GES, et de façon radicale. Par exemple pour sa consommation de viande, l'humanité fait naître «artificiellement», année après année, environ 70 milliards d'animaux pour les tuer ensuite *(Owid 2019b)*. Dans ce contexte, une lente modification des populations animales et végétales en raison du changement climatique n'est pas l'argument le plus convaincant pour justifier l'urgente transformation de toute notre infrastructure énergétique.

tations effectuées, une Terre plus chaude abriterait davantage de biomasse vivante (flore, faune) (Baldwin et al. 2014 ; Lin et al. 2010).

On peut donc tourner le problème comme on voudra : en livrant le combat contre le changement climatique, il ne s'agit pas de sauver la Terre d'une montée des températures, mais seulement et uniquement de conserver à long terme une situation climatique avantageuse pour notre civilisation humaine et pour laquelle nous avons conçu notre mode de vie et notre infrastructure. Insister sur cette distinction, ce n'est pas faire preuve d'une pédanterie étriquée, c'est au contraire souligner un point essentiel. Car ainsi un problème, souvent chargé de morale ou même de religion (naturelle), peut devenir un problème factuel – un problème donc qu'on n'apaise pas par des actes symboliques, mais qui exige des solutions pragmatiques, efficientes et efficaces. Par «protection du climat», on devrait donc comprendre notre protection *contre le* climat, et non une protection *du* climat, autrement dit un acte – relativement à l'ensemble de notre espèce – avant tout égoïste.

Termes bibliques : sans eux – du moins dans les médias à sensation – il semble inconcevable d'écrire un article : Le pécheur climatique, l'apocalypse climatique. Nous péchons, et la Nature nous punit pour cette faute. On aurait autrefois directement évoqué Dieu ; il a été aujourd'hui remplacé par la Nature, comme si celle-ci était animée d'un être doté de volontés – de sentiments de vengeance même. Il semble que l'être humain ne puisse vivre sans ce carcan de faute et de péché qui donne un sens aux événements. Il est vraiment étrange cependant que même des scientifiques spécialistes des données recourent à ces expressions. On lit ainsi au-dessus d'un graphique à barres sur www.statista.com : «Voici les plus grands pécheurs contre le climat en Europe» (Statista 2019).

Bulletins climatologiques : à la fin de chaque mois, MétéoSuisse publie un rapport climatique sur le temps des 30 derniers jours (Meteo Schweiz 2021). Ce qui est exprimé de façon correcte dans les rapports, avec des expressions telles que «beaucoup de soleil» ou «température au-dessus de la norme», devient rapidement dans de nombreux médias ou dans le langage courant «trop ensoleillé» ou «trop chaud». Ce qui soulève les questions : «Pour quoi ? Pour qui ?». Cela semble un exemple anodin, et pourtant il est très révélateur, car il montre que précisément dans les questions d'environnement, une notion d'équilibre très statique domine. La formulation suggère qu'il y aurait une sorte d'état originel (intact) qui serait «correct», par rapport auquel tout écart serait par principe «trop [quelque chose]». Pour que cela continue à être le cas, le pendant allemand de MétéoSuisse, le service météorologique allemand, a annoncé qu'il continuerait à exprimer ses comparaisons en utilisant l'ancienne période de référence (1961–1990), quoique la nouvelle période de référence sur 30 ans, allant de 1991 à 2020, soit disponible depuis 2021 : une comparaison des valeurs climatiques actuelles avec la nouvelle période de référence aurait pu fourvoyer le public en lui laissant penser que le changement climatique s'était arrêté (FAZ 2021).

Chiffres bruts sans contexte : en octobre 2020, l'organisation à but non lucratif «Carbon Disclosure Project» a publié une étude estimant les coûts mondiaux futurs – financiers comme non financiers – du changement climatique en les opposant aux coûts de futures mesures de protection du climat (CDP 2020). Une tentative à l'intention louable mais qui était vouée à l'échec car aucun groupe d'experts au monde ne peut sérieusement prédire ce que coûtera tel ou tel élément dans 50 ans, et encore moins dans 180 ans – l'évolution de différents facteurs technologiques et économiques influant profondément sur les coûts demeurant inconnue. Les auteurs ont calculé que si aucune mesure de protection du climat n'était prise (donc une trajectoire RCP 8,5, sur laquelle il est prouvé, en raison des efforts entrepris aujourd'hui, que nous ne nous trouvons pas), les coûts annuels liés au changement climatique se monteraient à 5,1 billions de dollars [50] en 2070 et à 31 billions de dollars en 2200 (!). Il va sans dire que les coûts d'atténuation du changement climatique seraient inférieurs et que par conséquent l'étude concluait à l'intérêt économique des mesures.

Ces chiffres, notamment parce qu'ils étaient les premiers du genre, ont été largement repris par les médias. De préférence sous le titre : «Le coût du changement climatique pourrait atteindre plusieurs billions en 2070». Un tel chiffre laisse penser : «Tout est dit. Des billions... des milliers de milliards ! Un montant inconcevable ! Nous devons immédiatement faire quelque chose !» On chercherait en vain une mise en perspective dans les articles. Qu'il soit permis de l'entreprendre ici, car elle est confondante : en 2019, le PIB mondial était de 67 billions de dollars. [51] En supposant une croissance économique mondiale de 2 % par an (le taux était nettement supérieur dans les dernières décennies), le PIB mondial de 2070 se situerait donc aux environs de 180 billions de dollars, et il atteindrait 2366 billions de dollars en 2200. Les coûts prévus du changement climatique – dans le scénario le plus défavorable – correspondraient donc en 2070 à 2,8 % du PIB mondial, et en 2200 à même seulement 1,2 % de celui-ci. Cela est très peu [52], alors que selon le credo habituel, l'absence de mesures de protection du climat rendrait notre planète inhabitable d'ici la fin du siècle.

Il faut malheureusement s'attendre à ce que les chiffres réels soient en réalité beaucoup plus élevés. Les auteurs ont certainement négligé certains facteurs – malgré leur volonté de souligner l'avantage qu'apporte la prise de mesures plus strictes de protection du climat. Il aurait été éclairant d'aborder ces questions. Les médias se sont cependant contentés de placer «des billions !» dans le titre et ainsi de générer des clics – ignorants du fait qu'ironiquement, «des billions» est un chiffre invraisemblablement faible en l'occurrence.

50 Réels, en dollars de 2005.
51 Egalement en dollars de 2005. En dollars de 2019, donc selon le niveau de prix actuel, cela représente 88 billions de dollars.
52 Sur la base de ces chiffres, une amélioration de la croissance du PIB mondial, passant de 2 % à 2,01 %, suffirait déjà pour compenser les coûts du changement climatique encourus pour l'année 2200.

Tout est changement climatique : quelque événement climatique se produise dans le monde aujourd'hui, que ce soit des épisodes de chaleur, des sécheresses, des feux de forêt, des pluies, des tempêtes, des inondations, ou même dernièrement la vague de froid de février 2021 aux Etats-Unis (Forbes 2019) : on tend à en attribuer la cause au changement climatique. Mais le lien entre des événements climatiques extrêmes et le changement climatique est relativement complexe. Le changement climatique n'est jamais la cause unique d'un événement extrême. Celui-ci résulte toujours de l'interaction de différents facteurs cumulés. Et la sévérité des conséquences est également toujours fortement conditionnée par différents facteurs liés aux technologies, à l'aménagement du territoire et aux caractéristiques socio-économiques.

Dans le cas de chaleurs, l'influence du changement climatique est souvent relativement facile à prouver. Un mois d'août affichant plus de 20°C de température moyenne à Zürich est un signe clair du réchauffement climatique, car selon les relevés météorologiques de la période de référence 1961–1990, la probabilité d'une telle température n'est environ que d'une fois tous les 1000 ans [53], alors que quatre mois d'août aussi chauds se sont produits depuis 1991. De même, selon la climatologue allemande Friederike Otto, la vague de chaleur de l'été 2020 en Sibérie est due au changement climatique. Cette scientifique a cependant également analysé d'autres événements extrêmes pour évaluer leur lien avec le changement climatique (Otto et Brackel 2019), avec les conclusions suivantes : le lien n'est pas toujours présent. Pour l'ouragan Harvey, qui a dévasté une partie de Houston en 2017 : événement renforcé par le changement climatique, pour le moins. Feux de brousse australiens fin 2019 – début 2020 : lien incertain. Une inondation en Thaïlande en 2011, à propos de laquelle Greenpeace avait sollicité des dons : absence de lien. Les sécheresses de la dernière décennie au Kenya, en Ethiopie et en Somalie : pas de lien. Les distinctions que fait la climatologue Otto dans ses déclarations n'ont pas été pour réjouir Oxfam, une ONG engagée dans les Etats en question (Barter 2019).

Surpopulation : Les personnes sous panique climatique, plus encore que d'autres, en sont souvent persuadées : «Nous sommes tout simplement trop nombreux ! La Terre n'est pas faite pour 7 milliards d'êtres humains !» (ce sera près de 7,9 milliards en 2021, mais la plupart ne semblent pas le savoir). Cette affirmation – quand bien même elle serait vraie – a pour le moins cela d'irritant qu'elle est complètement inutile. Oui, moins d'êtres humains rejetteraient moins de GES. Mais quelle conclusion cela est-il supposé appeler ? Que nous devons arrêter de nous reproduire (pour éviter des bébés «killers» du climat, c'est-à-dire qui pourraient le mener à sa perte) ? C'est déjà la situation dans laquelle se trouve l'Occident depuis des décennies. En Suisse, le taux de fécondité est déjà depuis 1970 inférieur à 2 enfants par femme, et depuis 1975 il oscille autour de 1,5. Les chiffres sont similaires dans le reste de l'Europe. Si cette faible natalité ne se mani-

53 Calculs propres sur la base de *Meteo Schweiz (2020b)*. 20°C se situe trois écarts-types au-dessus de la température moyenne des mois de juillet[août] de la période 1961-1990.

Encadré 3

Greta Thunberg

Difficile de ne pas parler ici de l'icône n° 1 de la lutte contre le réchauffement climatique. Qu'on nous permette de souligner préalablement quelque chose : quiconque voit la colère lui monter au visage à l'évocation de son nom et qui fait d'elle la cible de toute son animosité, devrait prendre une grande respiration, se mettre un instant en retrait, et examiner les faits avec un peu de recul. Greta Thunberg est devenue une icône alors qu'elle était mineure. Elle ne l'a pas demandé mais elle a naturellement saisi la chance que les médias – puis les politiques – lui ont offerte. C'est son bon droit, et si elle peut ainsi sensibiliser des millions d'enfants et adolescents à l'environnement, alors c'est une chose merveilleuse, dont le monde profitera encore longtemps et pour laquelle elle a amplement mérité le prix Nobel alternatif qui lui a été décerné en 2019. Nous nous permettons cependant de réagir à trois de ses plus graves accusations [54].

You have stolen my dreams and my childhood with your empty words: Greta Thunberg a eu en Suède (malgré le réchauffement climatique) tout loisir de réaliser ses rêves. Se plaindre d'une enfance volée est inapproprié au regard de la souffrance d'enfants qui par exemple sont touchés par la faim et la misère dans des pays sous-développés, ou qui sont victimes d'agressions sexuelles.

People are suffering, people are dying, entire ecosystems are collapsing. We are in the beginning of a mass extinction and all you can talk about is money and fairytales of eternal economic growth: Jusqu'ici, le changement climatique ne s'est pas trouvé à la cause de morts et de souffrances dans des proportions notables. La croissance économique critiquée par Greta Thunberg est précisément ce qui aiderait considérablement à financer des mesures et réaliser des innovations grâce auxquelles il sera possible de continuer à empêcher le danger qu'elle dénonce. Les crises économiques nuisent à la lutte contre le changement climatique parce qu'elles relèguent rapidement celle-ci au rang de priorité secondaire (voir chapitre 2.3.2).

They (nota: les scénarios de réduction) rely on my generation sucking hundreds of billions of tons of your CO_2 out of the air with technologies that barely exist: Oui, nous faisons confiance aux générations futures pour trouver des solutions aux problèmes que la génération actuelle a identifiés et commencé à essayer de résoudre. Exactement comme la génération actuelle a trouvé des solutions à des problèmes soulevés par les générations précédentes. Ce n'est précisément que grâce aux solutions et aux innovations trouvées par les générations l'ayant précédée, que Greta Thunberg a pu être transportée sur un voilier ultramoderne vers New-York et y transmettre, le 23 septembre 2019, ses préoccupations climatiques à un public de milliards de personnes grâce aux médias électroniques.

feste pas de manière évidente dans les statistiques démographiques, c'est d'une part parce qu'une baisse de fécondité ne se répercute entièrement sur la croissance démographique qu'avec un très long décalage d'environ deux générations, et c'est naturellement dû d'autre part aux apports permanents de l'immigration. Avec un solde «équilibré» sans immigration, un taux de fécondité de 1,5 signifierait que chaque génération est au moins 25% moins nombreuse que la précédente. Un tel déclin démographique est extrêmement rapide, et il s'observera effectivement dans un nombre croissant de pays dans les prochaines décennies. Le plus grand défi auquel seront confrontées de nombreuses régions du monde à l'avenir n'est donc pas la surpopulation mais la dimi-

54 Toutes formulées en 2019 au Sommet des Nations Unies sur l'action pour le climat, à New York.

nution de leur population et l'inversion de leur pyramide des âges. Le seul continent dont la population s'accroîtra encore significativement au XXIe siècle est l'Afrique. L'ONU prévoit que sa population sera de 2,5 milliards en 2050 et de plus de 4 milliards en 2100 (contre 1,3 milliard aujourd'hui) (Uno 2019a). L'activiste climatique moyen n'a cependant vraisemblablement aucune sympathie pour l'idée d'une Europe instiguant un contrôle des naissances en Afrique (vu sa condamnation des comportements impérialistes) ; et de toute façon, le meilleur moyen d'abaisser la fécondité est la prospérité économique – avec le système de santé de qualité, la prévoyance-retraite développée et l'autonomisation des femmes qui l'accompagnent –, comme cela a été le cas en Occident. Pointer du doigt une prétendue surpopulation est donc aussi improductif qu'irréfléchi.

1.4.3 Le changement climatique et la critique du capitalisme

Dans le chapitre 2, nous expliquerons pourquoi la protection du climat et le libéralisme ne sont pas contradictoires. Dans les dernières lignes du présent chapitre, nous nous penchons cependant déjà sur la question suivante : pourquoi la lutte contre le changement climatique va-t-elle si souvent de pair avec les ressentiments anticapitalistes ? Ainsi par exemple le sociologue américain Richard Sennet de déclarer : «Pour lutter contre le changement climatique, il s'agit de transformer radicalement l'économie capitaliste» (Tagesanzeiger 2020b). Est-ce une simple coïncidence – sans véritable lien de causalité – qu'aussi bien la protection du climat que la fin du capitalisme soient des thèmes de prédilection de la gauche ? Plutôt invraisemblable. Ou les activistes de gauche croient-ils réellement que le capitalisme soit responsable du changement climatique ?

Un regard dans l'histoire réfute immédiatement et sans ambiguïté cette hypothèse (voir figure 17) : les douze Etats européens qui appartenaient au bloc de l'Est ou à l'URSS avant la chute du communisme avaient dans les années 1980, donc après quelques décennies de communisme, une économie à l'énorme empreinte carbone. Leurs émissions de CO_2 par unité de valeur ajoutée étaient bien supérieures à celles des pays d'Europe de l'Ouest. Avec la chute du rideau de fer et la mise en place d'une économie de marché (plus) libre, la diminution de ces émissions s'est accélérée et elles se sont rapprochées peu à peu des valeurs d'Europe occidentale. [55] La RDA en particulier (non représentée dans le graphique pour des raisons de disponibilité de données) illustrait de façon spectaculaire à quel point une politique environnementale socialiste peut échouer : malgré le faible niveau de vie du pays, les émissions de CO_2 par habitant d'Allemagne de l'Est dans les années 1970 et 1980 étaient parmi les plus élevées au monde (Fink et al. 2019). Ce sont donc bien au contraire les économies de marché libérales qui

55 En chiffres absolus, l'écart s'est drastiquement resserré entre 1989 et 2018, passant de 696 à 143 grammes par dollar US réel de valeur ajoutée. Mais proportionnellement également l'écart s'est réduit : en 1989, l'intensité carbone des pays européens du bloc de l'Est et de l'URSS représentait 283 % de celle des pays d'Europe de l'Ouest ; en 2015, cette proportion n'était «plus que» de 184 %.

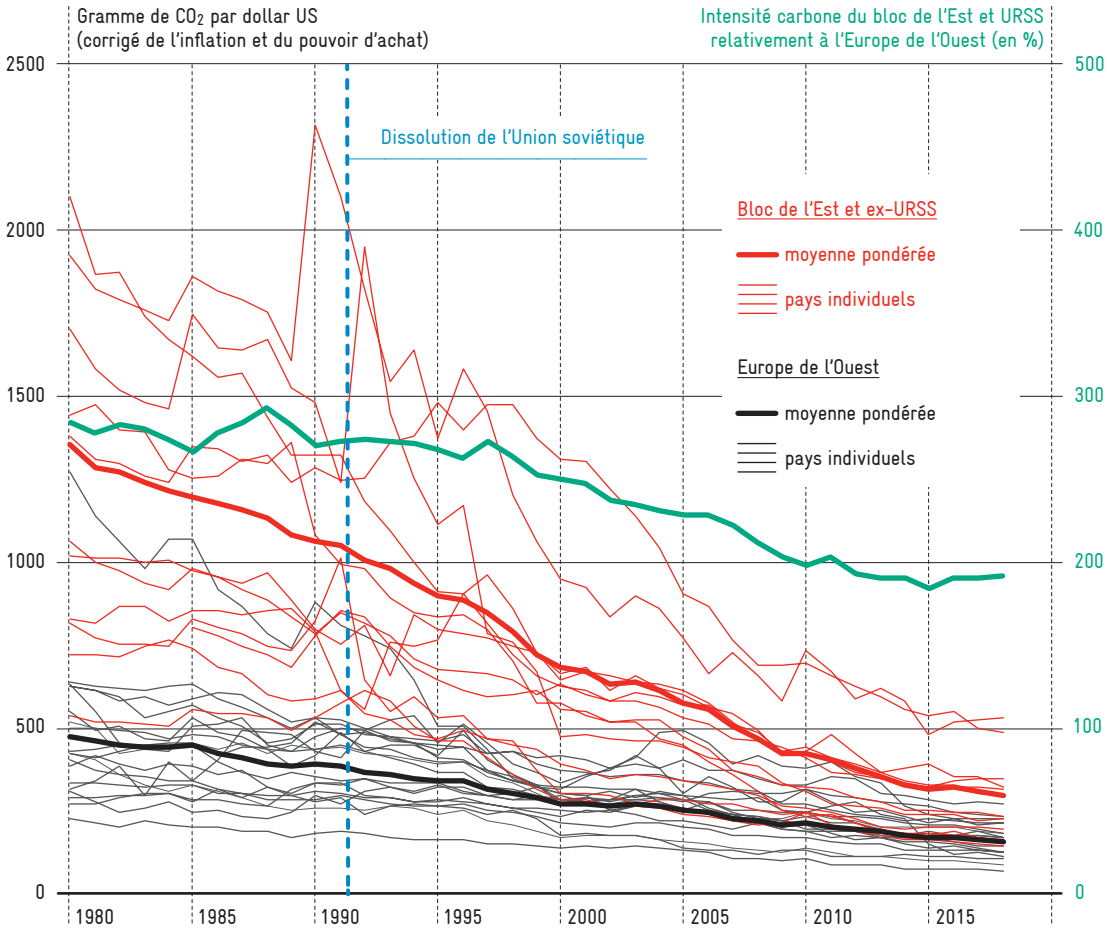
sont parvenues jusqu'ici à produire de plus en plus de biens avec toujours moins de ressources (Kessler 2019).

Une explication supplémentaire à l'alliance de l'activisme climatique et de la critique du capitalisme est la suivante : pour ses adversaires, le capitalisme est un système éco-

Figure 17

Le désastreux bilan carbone du socialisme

Les pays du bloc de l'Est et de l'ex-URSS présentaient un bilan carbone désastreux dans la décennie précédant la chute du mur. En moyenne, ils émettaient plus d'1 kg de CO_2 par dollar US de valeur ajoutée générée.



Europe de l'Ouest : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède, Suisse.

Bloc de l'Est et ex-URSS : les pays du bloc de l'Est et les pays d'Europe qui faisaient partie de l'URSS, à l'exception de la Russie elle-même : Biélorussie, Bulgarie, Estonie, Géorgie, Hongrie, Lettonie, Lituanie, Moldavie, Pologne, République tchèque, Roumanie, Slovaquie, Ukraine.

Source : calculs propres, basés sur Owid (2021c) et IMF (2020)

nomique reposant sur l'exploitation. Ils ne voient partout, au mieux, que des jeux à somme nulle : là où quelqu'un fait un profit, un autre doit faire une perte (ou du moins renoncer à un bien) ; si quelqu'un a beaucoup, c'est qu'un autre doit avoir peu. Le discours habituel est qu'une partie des êtres humains (les riches) en exploitent une autre (les pauvres) et sédimentent ainsi les différences de revenus et la stratification sociale. A peine a-t-on quitté ce champ de la lutte des classes et considéré l'humanité comme un ensemble, la même logique amène inévitablement la même question : et qui donc l'humanité exploite-t-elle pour que puisse s'expliquer l'augmentation constante de son niveau de vie depuis des décennies ? La réponse coule de source : l'environnement. Si des êtres humains y gagnent, c'est que la nature doit y perdre. Ainsi s'explique également pourquoi les activistes du climat considèrent si souvent le renoncement, la privation, comme l'unique solution efficace contre le réchauffement climatique.

Le changement climatique peut cependant très bien être freiné efficacement sans privations massives : avec les instruments de l'économie de marché. Le chapitre suivant en donne et discute les fondements théoriques.

2 Politique climatique en théorie

2.1 Libéralisme et protection du climat

Alors que les critiques de l'économie de libre marché ont fait du changement climatique un de leurs thèmes de prédilection, certains libéraux éprouvent une certaine appréhension à se frotter à la question. La raison en est vraisemblablement avant tout la suivante : l'idéal premier des libéraux est la liberté individuelle, associée à la responsabilité individuelle. Devant l'idée d'un collectivisme quel qu'il soit, ils réagissent ainsi avec un réflexe de défense instinctive. Le changement climatique est cependant le cas d'école d'une situation qui exige des solutions collectives. Non seulement pour régler les rapports entre «individu et Etat», mais aussi entre «Etat souverain et communauté internationale». Du point de vue des GES, le monde est un bien commun à l'échelle planétaire (voir chapitre 1.1). Le fruit des efforts individuels de préservation ne revient pas à l'individu qui les réalise, et les efforts décidés isolément par une nation ne lui profitent pas spécifiquement. Appeler à la responsabilité personnelle est par conséquent (supposément) inutile. Le problème climatique représente un cas classique de défaillance du marché. Il est nécessaire de recourir à des solutions collectives, qui se heurtent traditionnellement au scepticisme des libéraux.

Le libéralisme et la protection du climat ne sont pourtant, à mieux le considérer, en rien contradictoires. Au contraire : un libéralisme bien compris appelle à des mesures contre le changement climatique. Car comme le soulignait déjà Emmanuel Kant (1724–1804) : *La liberté de l'un s'arrête là où commence la liberté de l'autre*. Ou dans les mots du poète allemand Matthias Claudius (1740–1815) : *La liberté consiste à pouvoir faire tout ce qui ne nuit pas à autrui*. Les «autres», dans le cas du changement climatique, sont moins les humains qui nous entourent que ceux qui viendront après nous. Si nous satisfaisons aujourd'hui notre besoin d'énergie au point que l'humanité demain (et plus encore après-demain) se trouve confrontée aux sévères conséquences du réchauffement climatique, nous limitons la possibilité de ces générations de vivre à la poursuite du bonheur, ou tout simplement nous leur causons un tort – et par conséquent notre liberté atteint ici ses limites.

La notion de «responsabilité personnelle» se marie également bien mieux avec le concept de «protection du climat» qu'il n'y paraît à première vue. La responsabilité personnelle exige (au sens large) qu'un individu assume lui-même les conséquences de son action (ou de son inaction), et que ce ne soit pas la société qui doive en répondre. Sur le plan économique, cela signifie aussi que l'individu prend lui-même en charge les coûts de son action. Car c'est à cette seule condition qu'une action apparaissant avantageuse à un individu responsable et autonome peut également devenir optimale

pour l'ensemble de la société. Si au contraire l'individu peut rejeter les coûts d'une action – par exemple de la consommation d'un bien – sur d'autres personnes, ces derniers participent aux dépenses même s'ils n'ont pas participé à la décision. Il en résulte un accroissement sous-optimal de consommation. Une façon d'empêcher ces phénomènes est d'établir une vérité sur les coûts.

Ce principe s'applique également parfaitement au changement climatique. Les émissions de GES d'aujourd'hui entraînent des coûts demain (adaptations et restrictions résultant du changement du climat, pertes de PIB). Un tel effet est dénommé «effet externe négatif». [56] C'est donc une exigence éminemment libérale de mettre à la charge d'un individu une contrepartie des coûts climatiques futurs de sa consommation actuelle et des GES qu'elle implique. [57] Une telle internalisation des coûts externes pourrait aboutir à ce que l'individu, même sans aucune prédisposition altruiste, prenne des décisions de consommation optimales pour l'ensemble de la société.

Lutte contre le changement climatique : l'efficacité plutôt que la politique des symboles

Les libéraux rendraient service à eux-mêmes et au monde, s'ils traitaient le changement climatique avec le même sérieux que le fait la gauche. Sous couvert de défense du climat, celle-ci lutte en effet pour nombre de ses revendications traditionnelles – Etat fort, davantage de redistribution, limitation du pouvoir du capital, interventions dans les libertés individuelles aux fins d'«amélioration» du comportement humain – et ses partisans ont de bonnes chances de s'imposer si les libéraux ne leur opposent pas un discours sur le changement climatique qui aille au-delà des déclarations toutes faites «ce n'est pas aussi grave qu'on le dit» et «les mesures de protection du climat nuisent à l'économie». La protection du climat devrait être une cause défendue tout autant par les libéraux, car l'exigence de vérité des coûts – y compris intergénérationnels – est profondément libérale. Et de plus : essayer de protéger le climat avec des recettes étatiques a un coût plus élevé, pour une moindre efficacité, par rapport à un instrument qui s'est déjà avéré des milliers de fois très efficace pour dynamiser les processus d'innovation et influer sur les comportements de consommation : le prix.

56 De façon générale : une conséquence défavorable d'une décision de consommation ou de production, qui ne retombe pas sur le consommateur ou le producteur, mais sur des personnes tierces ou sur la collectivité.

57 C'est-à-dire faire en sorte qu'un producteur paie l'intégralité des coûts, en matière de changement climatique, que génèrent les GES émis lors du processus de production. L'entreprise devrait alors répercuter ces coûts – dans la mesure où ils n'ont pas pu être évités par des mesures de réduction des GES – sur le prix du produit, que le consommateur paie à son tour (ou que précisément il ne paie pas, si sa disposition à payer est inférieure au prix du produit incluant le coût du changement climatique et que donc il renonce à acheter).

Encadré 4

Politique des symboles : sacs de jute et états d'urgence climatique

La dimension moralisatrice associée à la question du «changement climatique» n'est pas seulement source d'irritation pour les personnes plutôt enclines à un examen neutre des faits ; en réalité elle peut aussi conduire à des résultats défavorables : la personne moralisatrice tend à sélectionner des solutions riches en symboles, plutôt que de se mettre pragmatiquement en quête des moyens les plus efficaces éviter les rejets de GES (ou d'autres facteurs négatifs sur l'environnement). La politique des symboles peut être contreproductive : ainsi, le ministère de l'environnement du Danemark [58] a calculé qu'un sac en papier devrait être utilisé 43 fois pour que son empreinte environnementale reste aussi faible que celle d'un sac en plastique jetable typique. Le bilan environnemental d'un sac en coton bio équivaut même à celui de 20 000 sacs en plastique. Il devrait donc être utilisé chaque jour pendant 55 ans pour faire mieux que le bilan du sac en plastique (Stanislaus 2018).

La notion d'«état d'urgence climatique» serait l'exemple par excellence d'une politique symbolique. Lorsqu'en novembre 2019, 11 000 scientifiques signent un appel à l'état d'urgence climatique publié dans un journal, on peut encore louer l'initiative et l'inventivité pour gagner la lutte (justifiée) de quête de visibilité pour la problématique. Mais lorsque la même année, dix villes et six cantons suisses déclarent l'état d'urgence climatique. [59], c'est au mieux une pure politique du symbole, mais dans le pire de cas, c'est aussi tout simplement dangereux :

Un état d'urgence est déclaré par des institutions étatiques en général dans des situations de crises aiguës et extraordinaires, afin de permettre une action publique qui, pour des raisons de rapidité et d'efficacité, court-circuite les voies de décision démocratique en vigueur et peut enfreindre des principes d'Etat de droit tels que la garantie de propriété ou certaines libertés. Il est peu avisé, dans le contexte de la lutte contre le changement climatique, qui requiert des stratégies à long terme, efficientes et s'appuyant sur des bases démocratiques, de badiner avec un tel concept.

En outre, cet «état d'urgence» pourrait être vu par certains individus ou tribunaux comme une justification d'infractions – ce qui a déjà été le cas : en janvier 2020 en Suisse, des activistes qui avaient envahi le bâtiment d'une grande banque pour dénoncer une politique d'investissement non souhaitée ont été acquittés en première instance au motif d'avoir agi dans le cadre de l'état de nécessité licite (art. 17 CP). [60]

Que le secrétaire général des Nations unies, António Guterres – après presque un an de divers états d'urgence décrétés en raison du Covid-19 – ait appelé le 12 décembre 2020 tous les pays à déclarer l'état d'urgence climatique, semble dans ce contexte pour le moins inapproprié.

58 Plus précisément : le Ministère de l'environnement, de l'agriculture, de la pêche et des denrées alimentaires.

59 Villes : Berne, Berthoud, Kriens, Köniz, Liestal, Locarno, Lugano, Olten, Thoune, Wil. Cantons : BE, BS, JU, LU, VD, ZH.

60 Cet article stipule : «Quiconque commet un acte punissable pour préserver d'un danger imminent et impossible à détourner autrement un bien juridique lui appartenant ou appartenant à un tiers agit de manière licite s'il sauvegarde ainsi des intérêts prépondérants.» L'acquittement ne peut être qualifié que d'absurde : le danger du changement climatique (du moins en rapport avec la prise d'assaut d'une filiale bancaire) n'est ni imminent, ni «impossible à détourner autrement», et troisièmement, l'action débattue à l'audience ne changeait rien au danger. Les activistes ont été logiquement condamnés en deuxième instance.

2.2 La tarification des gaz à effet de serre

Ce chapitre commence par présenter de façon théorique les avantages d'une incitation par les prix pour réduire les émissions de GES par rapport à des réglementations de technologies et à d'autres obligations et interdictions. Puis, sont comparées les deux principales variantes d'incitations par les prix – la taxe sur le CO_2 et le certificat CO_2. Sont également discutés les possibles effets redistributifs de ces instruments fondés sur l'économie de marché. Enfin ce chapitre explique pourquoi il est nécessaire de coordonner au maximum les efforts de protection du climat.

2.2.1 L'avantage des instruments d'économie de marché

Si on lui demande quel est au juste l'avantage des prix par rapport aux obligations et aux interdictions, un économiste libéral répondra peut-être négligemment : «les prix c'est l'économie de marché, les obligations et les interdictions c'est l'économie planifiée». Cette réponse laconique est aussi une simple tautologie, c'est pourquoi nous développons ici brièvement la question :

Les prix sont les muscles de la main invisible du marché, si souvent invoquée : si un bien se raréfie – si donc une forte demande rencontre une offre réduite –, les prix augmenteront, ce qui encourage les producteurs existants à accroître leur production et incite d'autres fabricants à produire également ce bien. Si une ressource – en tant qu'intrant pour la production des biens – se raréfie, son prix va également augmenter, ce qui pousse les entreprises à chercher des moyens d'éviter autant que possible l'emploi de cette ressource dans leur processus de production, par exemple en passant à d'autres technologies. Au cas où cela ne serait pas possible, le prix du bien augmenterait, ce qui établirait la situation d'équilibre à un niveau de demande plus faible. D'une manière ou d'une autre, la rareté d'une ressource conduit, dans un système basé sur le prix, à ménager la consommation de celle-ci – ou à de plus grands efforts pour trouver de nouvelles réserves (voir le développement dans le chapitre. 1.1.2). C'est la main invisible du marché : sans aucune centralisation des informations, les processus s'adaptent les uns aux autres de telle sorte que les efforts des acteurs soient orientés vers les domaines où ils apportent le plus grand bienfait général. C'est un accomplissement que l'économie planifiée n'est pas en mesure d'assurer.

Corriger les défaillances du marché

Dans le cas des émissions de GES, un cas de défaillance du marché apparaît cependant, comme évoqué plus haut. Un acteur – que ce soit un individu ou une entreprise – cause par son comportement des émissions dont il n'assume pas lui-même les conséquences. Le coût marginal social – c'est-à-dire le coût que l'émission d'une tonne supplémentaire d'éq.CO_2 entraîne pour la société – est supérieur au coût marginal privé (lequel est nul dans le cas des émissions de GES, car l'acteur en question n'aura jamais à res-

Encadré 5

Le théorème de Coase

Supposons que deux personnes vivent en voisins sur une toute petite île solitaire. L'un aime écouter la musique à très fort volume, l'autre apprécie le silence. Si aucun droit de propriété n'est distribué, la musique retentira toujours à plein volume sur l'île – ou jamais si la personne qui aime le silence est physiquement supérieure et menace de faire valoir son droit du plus fort. Etant donné que la situation finale ne dépend pas du degré relatif des préférences de chacun, elle peut aboutir à un résultat suboptimal pour cette petite société. Si, au contraire, des droits de propriété sont répartis (soit à la personne musicophile qui obtient ainsi un droit au bruit, soit à la personne amatrice de silence, qui obtient ainsi un droit au calme), les deux disposent d'une base de négociation leur permettant d'atteindre un optimum social. Si le musicophile est prêt à payer davantage pour sa musique forte que son voisin ne l'est pour son calme, on entendra de la musique sur cette île – et ce indépendamment de comment les droits de propriété sont répartis : si le musicophile a un droit au bruit, il va simplement en faire usage. Si au contraire son voisin a un droit au silence, le musicophile le dédommagera pour obtenir un droit d'écoute de musique (d'un montant supérieur à celui qu'est prêt à payer son voisin pour son silence, sans dépasser toutefois ce que lui-même est prêt à payer pour écouter de la musique). Si au contraire la personne amoureuse du silence est prête à payer davantage que le voisin, c'est le silence qui régnera sur l'île.

sentir les effets climatiques de ses propres rejets). On est en présence d'un classique effet externe négatif. Selon le théorème de Coase, ce problème pourrait être résolu de façon satisfaisante si les droits de propriété étaient clairement répartis (par une juridiction) (Coase 1960). Cela permettrait des négociations entre léseur et lésé et rendrait ainsi possible d'atteindre un résultat socialement optimal (voir encadré 5). Une intervention de l'Etat à proprement parler ne serait pas nécessaire.

Dans le cas du changement climatique cependant, ce théorème de Coase n'est précisément pas applicable. Nous sommes tous les auteurs du préjudice, mais aussi les personnes lésées (à différents degrés). Même si nos descendants seront toutefois davantage lésés. Les droits de propriété ne peuvent pas être fixés [61] et le futur n'a aucun moyen d'entrer en négociation avec le présent. C'est pourquoi, dans le cas du changement climatique, il est justifié que l'Etat intervienne pour corriger la défaillance du marché.

Le prix par opposition à l'interdiction

Mais nous ne savons toujours pas a priori quel instrument est le plus adapté à cette fin. Les solutions d'économie de marché ne sont de loin pas toujours le meilleur choix. Pour certaines émissions ou certaines substances toxiques, une interdiction est la solution la plus simple et la plus claire, et celle qui présente ainsi des coûts de transaction plus faibles que la tarification. Pour les CFC qui détruisent la couche d'ozone, on a fait avec raison le choix de l'interdiction : ils sont relativement aisément remplaçables par des

61 Il faudrait pour cela une juridiction mondiale, voire intertemporelle.

hydrofluorocarbures (HFC). Il aurait de même été peu sensé de tarifier le matériau isolant cancérigène qu'est l'amiante : ce dernier peut également être facilement remplacé par d'autres matériaux et peut donc être tout simplement interdit. En principe, l'interdiction doit être plutôt envisagée quand l'optimum social du phénomène à réguler est une solution marginale – c'est-à-dire nulle. C'est d'autant plus le cas que le dommage potentiel du phénomène est grave et immédiat et qu'il peut être facilement évité.

Le CO_2 et d'autres GES ne sont pas en soi des substances polluantes ou toxiques, et leur emploi ne peut être évité du jour au lendemain. C'est pourquoi dans ce cas, la tarification des émissions est la procédure adéquate. A travers elle, il est possible – du moins en suivant le raisonnement théorique – que le coût marginal privé des émissions de GES s'ajuste au coût marginal social. L'instrument tarifaire permet de parvenir à cette réduction avec la plus grande efficience possible. Efficience signifie ici comme toujours : le fait d'obtenir un bénéfice donné – en l'occurrence la réduction de CO_2 – avec la moindre dépense possible. A toute personne qui trouverait cela trop amoral ou «néolibéral» – «Comment pouvez-vous encore vouloir faire des économies ! Le monde est en train de s'effondrer !» –, nous recommanderions la reformulation suivante : efficience signifie aussi qu'avec une certaine somme à dépenser, on obtient le plus grand bénéfice possible, ou plus concrètement ici : réaliser, à partir de 1000 Fr. engagés, la plus forte réduction possible d'émissions de GES. Cet objectif devrait paraître également digne d'intérêt aux yeux des défenseurs du climat de la première heure. C'est précisément parce que la question est si importante qu'il est inacceptable de ne pas obtenir le plus grand effet possible pour une dépense donnée. Et pour y arriver, le prix est un instrument de loin supérieur aux obligations et interdictions.

Fonctionnement de la tarification du CO_2

Les paragraphes et la figure 18 qui suivent expliquent pourquoi fixer un prix permet une réduction plus efficiente des émissions de GES qu'interdire ou fixer des règles sur les quantités individuelles.

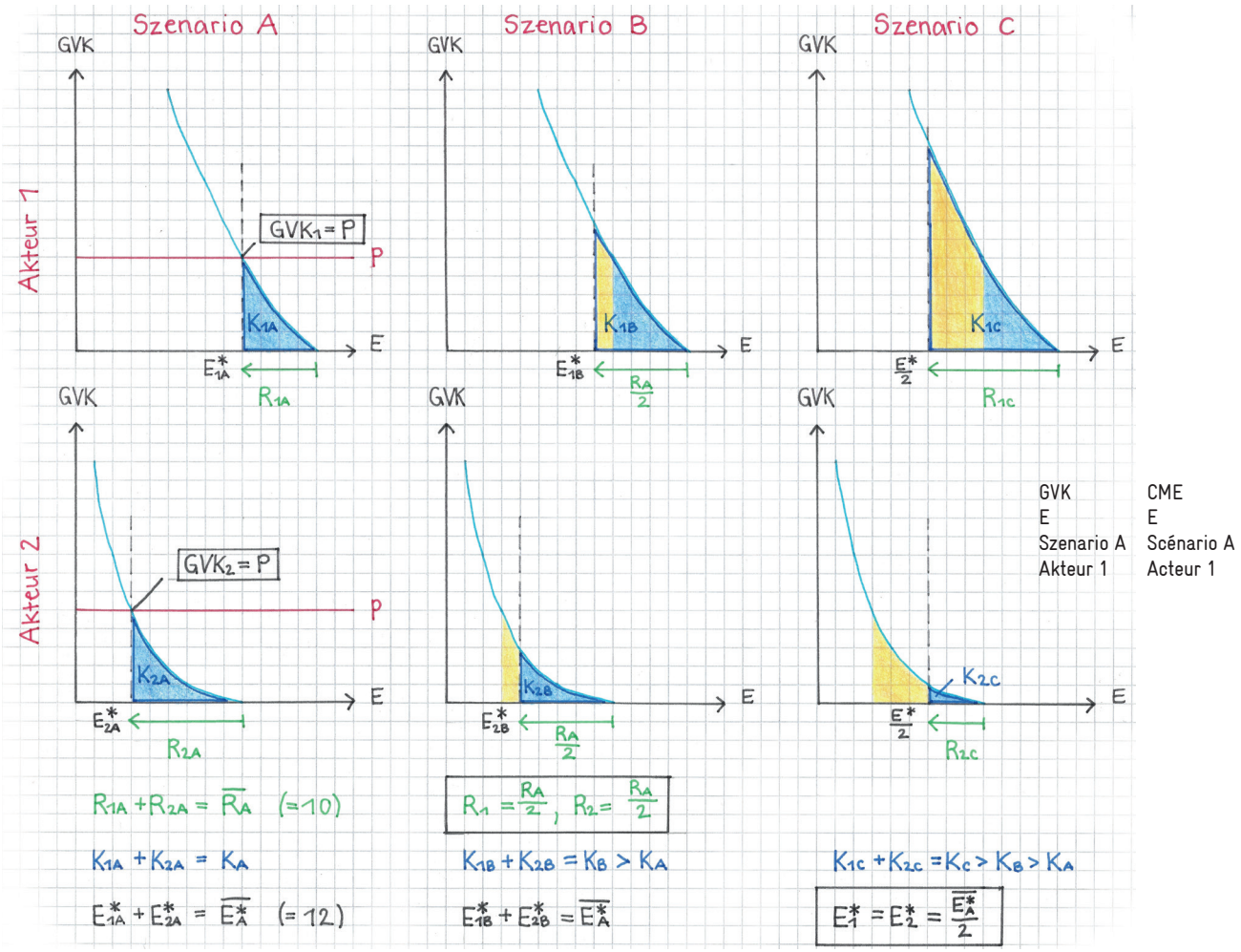
Eviter les émissions de CO_2 a un coût (financier comme non financier) : des entreprises investissent dans d'autres technologies de production, des maisons sont isolées thermiquement, des individus renoncent à des déplacements en avion, etc. En général, les premières réductions d'émissions s'obtiennent à un coût relativement faible, puis à mesure que se poursuivent les réductions (à un moment donné), les efforts doivent être intensifiés ou de plus grands sacrifices doivent être consentis. En économie, on parle de «coût marginal d'évitement» : il indique ce que coûte à un acteur économique – au vu des technologies disponibles au moment en question – le fait d'éviter

62 Si l'on considère seulement les aspects financiers, renoncer à un voyage en avion n'est naturellement pas source de coût supplémentaire, mais plutôt en moins (puisqu'on économise une dépense). Cependant, le choix d'un voyage à l'intérieur d'un même pays au lieu du voyage à l'étranger, qui avait en réalité la préférence, induit pour le voyageur un coût d'opportunité – à savoir le bénéfice qu'aurait apporté le voyage à l'étranger.

Figure 18

Le coût marginal d'évitement du CO_2

Le graphique illustre le mécanisme à l'aide de deux acteurs présentant des coûts marginaux d'évitement (CME) du CO_2 différents (acteur 1: coût élevé; acteur 2: coût faible). Ces coûts sont représentés par les courbes bleues (CME), en fonction du niveau d'émissions de CO_2 (E). Si les deux acteurs optimisent leurs émissions sur la base d'un prix unique de CO_2 (P) (scénario A), ils réalisent ensemble une réduction d'émissions de CO_2 correspondant au total RA. Si l'on voulait obtenir la même réduction en forçant les deux acteurs à réduire leurs émissions d'une quantité égale (RA/2) (scénario B) [63], il en résulterait des coûts de réduction plus élevés (somme des aires K1 et K2). Le résultat est encore nettement moins avantageux si on fixe simplement un niveau d'émissions maximal unique, qu'aucun des deux acteurs n'est autorisé à dépasser (scénario C). Inversement (non représenté ici) : pour un coût global de réduction donné, la plus grande réduction est obtenue dans le scénario A, tandis que la réduction est plus faible dans le scénario B, et encore moins importante dans le scénario C.



Source: propre représentation

63 En pratique, on exigerait plutôt que chaque acteur réduise ses émissions d'un certain pourcentage – et certainement pas d'une quantité absolue donnée. La réduction absolue est cependant beaucoup plus facile à illustrer et à lire dans le graphique et c'est pourquoi ce cas a été représenté.

l'émission d'une tonne de CO_2 supplémentaire. Ce coût augmente à mesure que sont réduites les émissions de CO_2. Chaque acteur possède sa propre courbe de coût marginal d'évitement, et ces courbes peuvent être très différentes les unes des autres. Pour certains acteurs (par ex. dans le domaine de la production de ciment), l'évitement de CO_2 entraîne des coûts élevés, pour d'autres en revanche (par ex. dans le secteur de la mobilité) il s'obtient assez facilement. Pour une quantité d'efforts donnée, la réduction maximale est atteinte lorsque les coûts marginaux d'évitement de tous les acteurs se trouvent au même niveau. Tant que cela n'est pas le cas, un acteur a la possibilité d'éviter une tonne de CO_2 à un moindre coût qu'un autre acteur, raison pour laquelle il le fera aussi certainement. Un prix (unique) du CO_2 conduit précisément à cette convergence des coûts marginaux d'évitement, car chaque acteur poursuivra sa réduction d'émissions aussi longtemps que son coût marginal d'évitement se trouve encore inférieur au prix à payer pour une tonne de CO_2. Au-delà, une réduction supplémentaire n'a plus d'intérêt économique.

Si, à l'inverse, on oblige simplement par réglementation certains acteurs (ou branches) à réduire leurs émissions de CO_2, par exemple de 50 %, ce mécanisme ne peut pas entrer en jeu. Pour le même coût, un système de tarification du CO_2 permettrait donc d'obtenir un meilleur résultat.

2.2.2 Le niveau du prix du CO_2

Dans le graphique ci-dessus, le prix est donné de façon exogène. Dans une leçon d'économie de l'environnement, une deuxième courbe aurait été dessinée : celle du coût marginal des émissions de CO_2. Elle représente le coût additionnel (le changement climatique qui en résulte) engendré par l'émission d'une tonne de CO_2 supplémentaire, pour l'ensemble de la société, dans le présent comme dans le futur [64]. Au point d'intersection des deux courbes, le coût marginal d'évitement d'émission de CO_2 équivaut donc au coût marginal de cette émission. C'est le point où les émissions sont optimales. «Optimales» paraîtra peut-être un terme outrageant : l'émission optimale de CO_2, ça ne peut être que zéro ! Ce n'est justement pas le cas. L'émission de CO_2 ainsi que son évitement engendrent des coûts sociaux (voir chapitre 1.2.4). Il s'agit ici de trouver le niveau optimal. Ce niveau peut cependant parfaitement – en fonction de la forme exacte des deux courbes – être très proche de zéro, ou même en théorie se situer en dessous de zéro. Selon les conditions technologiques et les prévisions de changement climatique, il pourrait également être optimal de réduire la concentration de CO_2 dans l'atmosphère au moyen d'émissions mondiales négatives.

Dans les manuels, la courbe du coût marginal est habituellement représentée comme une ligne ascendante, ce qui implique que le coût marginal d'une émission de CO_2 est

64 Les coûts encourus dans le futur sont généralement escomptés sur la base d'un taux de préférence pour le présent à déterminer, ou selon un taux d'actualisation théorique à la date du présent.

croissant. En réalité, cette courbe est probablement plutôt horizontale : au cours d'une année du moins, chaque tonne de CO_2 supplémentaire aura un coût identique à la précédente. [65] Dans le cas des graphiques ci-dessus, la courbe des coûts marginaux serait même avec certitude horizontale, car considérant le volume de CO_2 qu'un unique acteur émet, le coût (mondial) des émissions de CO_2 ne changera pas. Pour atteindre l'optimum social, les politiques devraient donc en réalité fixer le prix du CO_2 égal à son coût marginal. Mais celui-ci – dans l'état des connaissances humaines actuelles et de notre capacité de prévision extrêmement modeste – ne peut nous être connu, pas même approximativement (et cette inconnue ne tient même pas tellement aux évolutions climatiques, mais plutôt à diverses variables macroéconomiques et technologiques).

Supposons un cas extrême où le changement climatique provoqué par la concentration actuelle de CO_2 n'engendre encore que des coûts à peine perceptibles, mais que ces derniers deviennent rapidement incommensurables si la limite de 1,5°C est dépassée. Le coût marginal social des émissions de CO_2 actuelles est alors très élevé et les responsables politiques devraient par conséquent fixer à un très haut niveau le prix du CO_2. Cela entraînerait des efforts considérables et coûteux pour éviter d'émettre du CO_2 (ce qui serait optimal pour l'ensemble de la société).

Supposons à l'autre extrême que bon nombre des changements climatiques sont aujourd'hui déjà enclenchés et ne peuvent plus être évités, et que même une augmentation significative des températures au-delà de 1,5°C n'entraînerait pas de bond drastique des conséquences : dans ce cas, le coût marginal social des émissions actuelles de CO_2 est beaucoup plus faible que dans le premier exemple et les responsables politiques devraient donc fixer un prix du CO_2 plus bas. Par la suite, les acteurs économiques n'entreprendraient que les efforts de réduction qui sont relativement peu coûteux à réaliser ; la trajectoire des émissions baisserait à un rythme nettement moins rapide (ce qui serait optimal pour l'ensemble de la société).

Taxe pigouvienne, taxe d'incitation et subvention

Une taxe sur le CO_2 ayant pour objectif explicite d'établir une vérité des coûts, c'est-à-dire d'internaliser les coûts externes, est appelée – comme toutes les taxes partageant cet objectif– une **taxe Pigou** (**ou pigouvienne**). A cette fin, la taxe Pigou doit correspondre à la différence entre le coût marginal social et le coût marginal privé de la consommation. Parce que le coût marginal privé est nul dans le cas du CO_2 (voir p. 85), la taxe Pigou devrait simplement correspondre au coût marginal (social) des émissions de CO_2, tel qu'évoqué ci-dessus. Une taxe Pigou n'implique pas explicitement que l'in-

65 Des coûts marginaux croissants ne deviennent plausibles qu'avec le temps : s'il existe un seuil de concentration de CO_2 dont le franchissement accélère les changements des conditions environnementales, les coûts marginaux de CO_2 augmenteraient à mesure qu'on se rapprocherait de ce seuil.

Encadré 6

Pénurie de pétrole

Selon le principe de marché libre (voir p. 85) appliqué aux combustibles fossiles, on devrait s'attendre à ce que les dernières réserves de pétrole restent inexploitées dans le sol, même en l'absence de toute mesure de protection du climat. En effet, étant donné la demande qui n'est pas près de ralentir dans l'immédiat, et/ou le tarissement continu des quantités extraites, les prix du pétrole monteraient si haut que les économies du monde entier feraient des efforts considérables pour réaliser la transition vers des énergies alternatives. Dans les années 2000 – avant la crise financière –, certains pensaient que nous nous trouvions peut-être tout proche de ce moment. [66] Et effectivement, le prix du pétrole a atteint en juillet 2008 un record historique à plus de 140 $ le baril, et des analystes estimaient possible un prix de 300 $ dans un proche avenir (FAZ 2008). Mais la crise financière est survenue, et avec elle son cortège de conséquences ; la flambée des prix a induit des innovations dans les techniques de fracturation hydraulique *(fracking)* de pétrole et de gaz naturel, ce qui a rendu ces méthodes d'extraction compétitives et a donné aux Etats-Unis une indépendance par rapport aux importations de pétrole ; les efforts de l'Occident pour la préservation du climat ont commencé à faire chuter la demande ; et pour finir, la crise du Covid-19 est survenue. Fin avril 2020, le prix du brut (Brent) était descendu momentanément à 20 $, [67], il est aujourd'hui remonté à environ 60 $.

Pour donner un ordre de grandeur de ces fluctuations de prix par rapport aux mesures de politique climatique, un baril de pétrole (159 litres) génère des émissions de CO_2 de l'ordre de 500 kg environ. [68] Une hausse du prix du pétrole de 50 Fr. (par baril) équivaut donc à une tarification du CO_2 qui serait fixée à 100 Fr. la tonne.

Comme les réserves de pétrole sont cependant loin de s'épuiser assez vite pour maintenir le réchauffement climatique en dessous de 2°C, il semblerait évident de simuler, pour ainsi dire, cette pénurie en augmentant par voie administrative le prix des agents énergétiques fossiles concernés ou en tarifiant leurs émissions de CO_2. Cette méthode a l'avantage d'encourager le transfert de la demande vers les énergies renouvelables, sans inciter à intensifier la recherche de réserves de combustibles fossiles – bien au contraire : le prix de marché du pétrole baissera en raison de la tarification du CO_2 (voir explication dans le chapitre 2.2.5).

citation doit être efficace. Si des acteurs ne réduisent pas leur activité bien qu'ils paient (via la taxe Pigou) la totalité du coût marginal social qui en résulte, il n'y a rien à objecter au résultat obtenu du point de vue du bien social.

Une taxe sur le CO_2 ayant pour but explicite de créer un effet incitatif est appelée en revanche une **taxe d'incitation**. Son objectif primordial n'est pas d'établir la vérité des coûts, mais d'influer sur le comportement des acteurs. Un exemple concret : dans les pays pauvres (où les énergies fossiles ont été jusqu'ici en partie subventionnées), un

66 Ainsi le journal «Handelszeitung» titrait par ex. en 2005, dans un contexte de boom économique et de prix croissant du brut : «Pétrole: sous le signe du déclin» («Erdöl: Im Zeichen des Niedergangs») *(HZ 2005)*.

67 Le prix d'un autre type de brut, le WTI, est même tombé brièvement nettement sous la barre d'un prix nul. Une telle évolution peut se produire si l'offre est momentanément très peu flexible. Les capacités de stockage de brut étaient pleines, et pour de nombreux puits de pétrole, une mise à l'arrêt ne se fait pas simplement en appuyant sur un bouton. Par conséquent, la suroffre de pétrole, d'un point de vue purement physique, devait bien être envoyée quelque part. C'est ainsi que fut brièvement possible une situation où les acheteurs de WTI étaient rémunérés pour leur achat.

68 Calcul basé sur *Bafu (2019 : p. 2)*, en tenant compte du fait que la production d'essence, de diesel et produits similaires produisent également des émissions significatives de CO2 *(Hoekstra 2020)*.

Encadré 7

Effet incitatif global ou local

Il est plausible que la tarification du CO_2 vise globalement davantage à créer un effet d'incitation qu'une vérité sur les coûts (voir pp. 90 et 93). Cela ne signifie pas pour autant que dans chaque pays, la priorité doive être donnée à l'effet d'incitation. Car même en cas d'ignorance des coûts marginaux réels du CO_2, il reste vrai que d'un point de vue global, la réduction d'émissions atteint son efficience maximale lorsque le prix du CO_2 est le même partout (voir figure 18). Si au contraire par exemple, on oblige chaque pays à abaisser ses propres émissions de CO_2 d'un même pourcentage, alors les coûts marginaux d'évitement seraient beaucoup plus élevés dans certains pays que dans d'autres. Cela ne constitue pas une réduction efficiente, car cela signifie que la suppression d'une tonne supplémentaire d'émissions dans tel pays a coûté beaucoup plus cher que dans tel autre. Le résultat aurait été meilleur si cette tonne de CO_2 avait été économisée dans le pays «bon marché». Dans le doute, le pays «cher» aurait tout aussi bien pu simplement transférer de l'argent au pays «bon marché» pour que ce dernier réduise ses émissions de CO_2. C'est précisément le principe d'une compensation internationale des émissions de CO_2. Plus les objectifs de réduction sont fixés de manière explicite, c'est-à-dire spécifique à un pays, plus il est important pour l'efficience du système que les compensations internationales d'émissions puissent se faire avec le moins d'entraves possible – afin que les efforts de réduction soient malgré tout effectués là où leur efficience est la plus grande.

prix du CO_2 qui serait nettement en dessous de la vérité (hypothétique) des coûts, aurait malgré tout un effet incitatif tout à fait substantiel. Dans des pays riches et développés comme la Suisse, où en outre l'économie fait déjà un usage relativement efficient du CO_2, même un prix de CO_2 établissant la vérité des coûts n'aurait certainement qu'un faible effet incitatif.

La **subvention** est également un instrument agissant sur les prix. Elle n'établit cependant explicitement aucune vérité sur les coûts, tout au contraire : outre une non-vérité des coûts de l'énergie fossile, elle crée de plus une non-vérité des coûts concernant l'énergie ayant une meilleure neutralité en CO_2 (ou concernant les activités où cette énergie est nécessaire). Elle crée certes ainsi – comme la taxe sur le CO_2 – une base concurrentielle équilibrée pour toutes les énergies, et ainsi une incitation au passage à des énergies renouvelables ; cependant elle rend également meilleur marché la consommation d'énergie en général, ce qui affaiblit l'incitation à la sobriété énergétique. Malgré tout, les subventions (d'énergies renouvelables) sont en pratique un moyen largement utilisé [69], pour des raisons de politique économique : les subventions profitent à des branches clairement définies, qui les défendent ainsi efficacement par des actions de lobbying. Leur contrepartie est la masse hétérogène des contribuables qui se rendent peu compte de la charge que représente une mesure de subvention et qui ne constituent par conséquent pas de contrepoids politique. D'un point de vue de Realpolitik, la subvention est ainsi largement plus facile à mettre en place que l'introduction d'une taxe sur le CO_2.

69 Elles font par exemple explicitement l'objet d'une exception dans le droit des aides d'Etat de l'U.E.

Des estimations divergentes

A quel niveau se situe le «juste» prix? Nous ne le savons pas. Ce prix serait la solution d'un problème d'optimisation intertemporel complexe (intégrant plusieurs générations!), dépendant fortement, outre des interactions effectives avec le changement climatique, de la croissance économique future, des taux d'intérêt, des évolutions technologiques et de nombreux autres facteurs non contrôlables et non prévisibles. Comme le coût marginal social des émissions de CO_2 est quasiment impossible à estimer de manière crédible, on préfère en pratique une approximation du problème d'optimisation en recourant à un «effet incitatif» plutôt qu'à la notion de «vérité des coûts». Premièrement, selon les rapports du GIEC, il est encore possible (avec une forte probabilité) d'empêcher une interférence anthropique dangereuse avec le système climatique si l'on se maintient en dessous des 1,5°C. Deuxièmement, il est vraisemblable de réussir à limiter le réchauffement planétaire à ce niveau si les émissions de GES dans le monde sont réduites à zéro d'ici 2050 et si elles passent ensuite (voir figure 7a et encadré 8) en territoire négatif (IPCC 2018). Plusieurs pays se sont déjà engagés à atteindre cet objectif de zéro net.

Les estimations du niveau correct du prix du CO_2 varient considérablement:

- La «High Level Commission on Carbon Price» (commission de haut niveau sur la tarification du carbone), sous la conduite du prix Nobel Joseph Stiglitz et de Nicholas Stern, est parvenue dans son rapport de 2017 à la conclusion suivante: pour atteindre l'objectif de maintien du réchauffement «nettement en dessous de 2°C», il serait nécessaire de fixer un prix mondial par tonne de CO_2 entre 40 $ et 80 $ à partir de 2020 et entre 50 $ et 100 $ à partir de 2030 (High-Level Commission on Carbon Prices 2017).
- La Suisse prélève actuellement une taxe sur le CO_2 visant les combustibles fossiles et qui se monte à 96 Fr. par tonne; aux termes de la révision totale de la loi sur le CO_2, une taxe de jusqu'à 210 Fr. par tonne devrait être possible.
- Dans une étude sur les effets externes des transports en Suisse, mandatée par l'Office fédéral du développement territorial, Ecoplan/Infras tablent sur 124 Fr./tonne de CO_2 (Bieler et al. 2018).
- Selon l'Office fédéral allemand de l'environnement («deutsches Umweltbundesamt» (2018)), les dommages attendus au cours des 100 prochaines années se monteraient à 640 €/tonne de CO_2. Après actualisation, il en résulte une valeur actuelle de 180 €/tonne. C'est le chiffre sur lequel se basent également les revendications du mouvement Fridays for Future («Les vendredis pour l'avenir») (Fridays for Future 2021).

D'autres estimations proposent des chiffres encore bien supérieurs ou bien inférieurs (Hepburn 2017). Il serait assez présomptueux de la part des auteurs du présent ouvrage de donner un avis sur laquelle de ces estimations se rapproche le plus du prix «correct» du CO_2. Cependant, si l'on aborde le problème de «fixation du prix» du point de vue

Encadré 8

Zéro net 2050

Pour conserver une bonne chance de limiter la hausse de température à 1,5°C, il est nécessaire de réduire les émissions de GES à zéro net (voir encadré 2) d'ici 2050 (voir figure 7a). C'est un fait bien compris par beaucoup. Mais moins de personnes ont conscience que cet objectif de 1,5°C ne peut être atteint que si dans la seconde moitié de ce siècle, les émissions nettes deviennent négatives. C'est-à-dire qu'il devient alors nécessaire d'extraire de l'atmosphère plus de GES qu'il n'en arrive du fait des émissions qui s'échappent. On compte pour cela sur le développement des technologies à émissions négatives (TEN, ou plus souvent NET selon l'acronyme anglais de «*negative emissions technologies*»). Certains activistes jugent inconsidérée cette confiance dans le fait que ces technologies auront été mises au point à temps pour cette époque (voir encadré 3), et exigent pour cette raison une trajectoire de réduction encore plus ambitieuse.

De telles TEN sont cependant loin d'être de la science-fiction. Il ne s'agit pas ici de développer une technologie de distorsion spatio-temporelle pour des voyages à vitesse supraluminique, mais bien au contraire, des approches très diverses de TEN sont déjà en phase d'essai, aujourd'hui et sur notre Terre. [71] A côté d'approches low-tech basées sur la nature, telles que le (re-)boisement ou la restauration de zones humides, il existe également diverses approches hautement technologiques pour récupérer le CO_2 de l'atmosphère (élimination du dioxyde de carbone, EDC ; ou en anglais : Carbon Dioxide Removal, CDR). A Hinwil, la première installation mondiale de filtration du CO_2 de l'air est exploitée commercialement depuis mai 2017. [72] L'entreprise exploitatrice Climeworks chiffre le coût actuel entre 600 et 800 Fr. par tonne de CO_2 captée, et estime que le progrès technique et des économies d'échelle permettront bientôt d'abaisser ce coût à 100 Fr. par tonne (Bundesrat 2020a p. 22). Pour d'autres TEN, des coûts nettement inférieurs à 100 Fr. par tonne sont également anticipés (Florin et al. 2020 p. 20). Il est donc tout sauf naïf de tenir compte des TEN pour calculer la trajectoire de réduction.

Mais que se passerait-il si tous les espoirs mis dans les TEN devaient se trouver réduits à néant ? N'aurait-on pas alors dû fixer une trajectoire de réduction beaucoup plus offensive ? Atteindre le zéro net avant 2035 ? – Pas nécessairement. La trajectoire de réduction la plus satisfaisante est celle qui solutionne au mieux le problème d'optimisation intertemporel mentionné ci-dessus : non seulement les émissions de CO_2 impliquent des coûts (dans le futur), mais leur évitement également (dans le présent). Sur une trajectoire de réduction optimale, les coûts marginaux d'évitement (CME) d'aujourd'hui correspondent aux coûts marginaux futurs des émissions (à leur valeur actualisée). La non-disponibilité des TEN rendrait cependant plus onéreux les CME (décalage de la courbe CME vers la droite/le haut dans la figure 18). L'«optimum» du niveau d'émissions de CO_2 se situerait donc plus haut. En d'autres termes, si contre tout attente, les technologies de récupération du CO_2 ne réussissent pas à être viables commercialement, alors l'objectif de 1,5 degré s'avérerait un choix trop restrictif, car une réduction des émissions à zéro (brut) d'ici 2035 serait associée à des coûts si démesurément élevés que le ratio coûts-bénéfices ne serait plus avantageux par rapport à la diminution attendue des risques climatiques.

70 L'élasticité-prix indique la sensibilité d'une demande ou d'une offre à un changement du prix. Elle est exprimée en pourcentage de variation de la demande ou de l'offre pour chaque pourcent de variation du prix. Elle dépend de nombreux facteurs – et pour les énergies fossiles en particulier, dépend fortement de l'horizon temporel. A court terme, elle est généralement très faible pour ces énergies, car il existe peu d'options de substitution immédiate. Cela explique également les fortes fluctuations du prix du pétrole. A long terme, leur élasticité-prix est nettement plus importante – surtout du côté de la demande –, car le prix influence les décisions d'investissement.

71 Pour une présentation générale de ces technologies, voir par ex. *Florin et al. (2020) ou Bundesrat (2020a)*.

72 Un point critique pour de telles installations est que la filtration de l'air nécessite elle-même une quantité considérable d'énergie. Cette énergie doit donc être produite de façon neutre en CO_2. Sinon, le procédé n'apporte aucun bénéfice. L'installation d'Hinwil tire son énergie de la chaleur résiduelle de l'usine de traitement des déchets. Ces stations d'EDC ont l'avantage de ne présenter aucune contrainte concernant le lieu d'installation. Elles peuvent donc être installées précisément là où de l'énergie neutre en CO_2 est disponible.

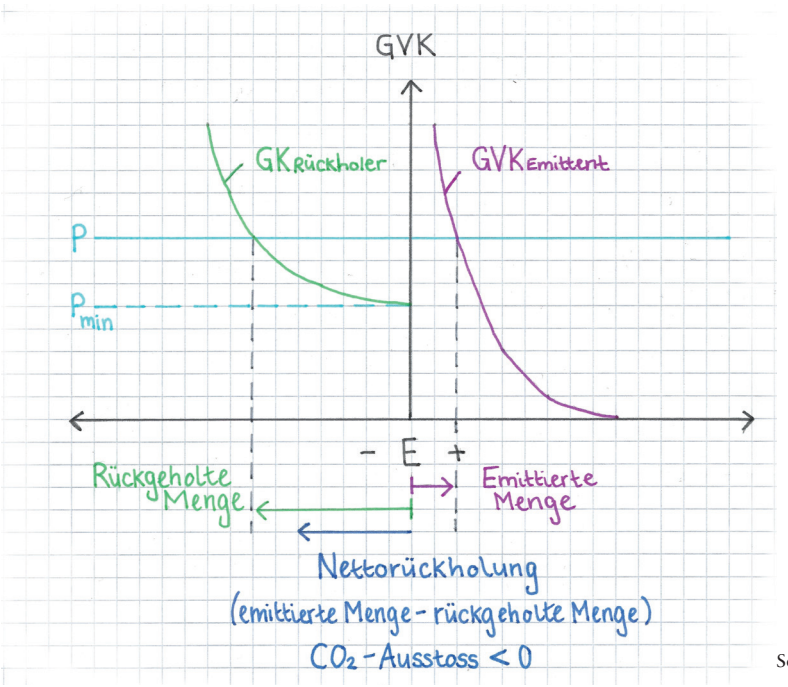
de l'élasticité des prix [70] il faut bien constater : au vu des fortes fluctuations historiques du prix du pétrole et des prix de CO_2 auxquels cela aurait correspondu (voir encadré 6), un prix nettement inférieur à 100 Fr./tonne de CO_2 (soit 50 Fr. par baril de pétrole) n'aurait certainement qu'un très faible effet d'incitation dans les pays riches. Bien sûr, un prix du CO_2 qui renchérit la consommation de combustibles fossiles d'un certain montant fixe et permanent a un plus fort effet incitatif qu'une (éventuellement) brève montée du prix d'un montant équivalent. A partir de ce parallèle, on peut cependant conclure que pour les pays riches, l'effet de prix de CO_2 d'environ 20 ou 30 Fr. par tonne aurait très vraisemblablement un caractère plutôt cosmétique.

D'une manière générale, pour atteindre un objectif de réduction, on peut soit définir une trajectoire vers cet objectif et fixer par réglementation les prix qui doivent mener sur cette trajectoire. Ou alors, on peut également fixer très spécifiquement la trajectoire de réduction en attribuant des droits d'émission et laisser le soin au marché de

Figure 19

Emissions négatives et équilibre de marché

Le graphique présente un exemple de courbe de coût marginal d'une entreprise de captage de CO_2 (quadrant de gauche), et de coût marginal d'évitement d'une entreprise émettant du CO_2 (quadrant de droite). Les deux courbes peuvent également être considérées comme représentant la somme des émissions de tous les émetteurs et de tous les capteurs de CO_2. En deçà d'un certain prix du CO_2 (Pmin), l'emploi de technologies de captage n'est pas rentable. Si le prix est supérieur à ce seuil, il peut s'établir un équilibre qui aboutit – comme représenté ici – à des émissions négatives.



GVK	CEM
GK Rückholer	CM capteur
GVK Emittent	CEM émetteur
Rückgeholte Menge	Quantité captée
Emittierte Menge	Quantité émise
Nettorückholung	Captage net
(CO_2-Ausstoss < 0)	(Emissions de CO_2 < 0)

Source : propre représentation

déterminer le prix d'équilibre du CO_2 qui résulte de cet objectif. Les deux stratégies sont utilisées dans les faits. Elles présentent des avantages et des inconvénients aussi bien dans la théorie que dans la pratique. Ces avantages et inconvénients théoriques sont présentés dans le chapitre 2.2.3. Les considérations pratiques sont traitées dans le chapitre 4.1.

Prix du CO_2 et émissions négatives

Considérant la courbe tracée en figure 18, on peut se demander comment l'équilibre de marché du prix du CO_2 pourrait un jour s'établir en territoire négatif. Avec la perspective d'une deuxième moitié de siècle où nous pourrions avoir besoin de telles émissions négatives, la question revêt un intérêt tout pratique. Heureusement la réponse est: cela est tout à fait possible. Une entreprise productive ordinaire n'aura jamais d'émissions négatives de CO_2. Sa courbe de coût marginal d'évitement se trouvera comme d'habitude en zone positive, avec une courbe d'accroissement accéléré à mesure qu'elle se rapproche des émissions nulles. Un consommateur peut également difficilement émettre moins que zéro CO_2. Cependant, on peut imaginer (avec un prix du CO_2 adapté) que naissent un nombre croissant d'entreprises se donnant pour mission exclusive d'extraire le CO_2 de l'atmosphère. Le «produit» qu'elles vendent serait donc ici le captage de CO_2. Leur courbe de coût marginal (d'évitement) se trouverait donc entièrement en territoire négatif. Le point d'intersection avec le prix du CO_2 représenterait le niveau de captage qui optimise leur rentabilité. Les émissions totales nettes résulteraient de la somme de tous les niveaux d'équilibre d'émission et de captage, et elles pourraient donc, avec un prix du CO_2 suffisamment élevé (ou des technologies de captage suffisamment économiques), tout à fait être négatives.

De la tarification du CO_2 à celle des GES

Le présent chapitre a évoqué presque exclusivement le CO_2. Mais il ne pose aucun problème d'étendre ces principes à d'autres GES. Tout d'abord, une remarque concernant la manière d'étendre le cas du CO_2 directement émis au cas du CO_2 causé de manière indirecte: un déboisement (ou une autre modification de l'utilisation des terres défavorable en termes de CO_2) devrait être «acheté» à hauteur de son impact sur le bilan du CO_2, et, à l'inverse, un reboisement devrait faire l'objet d'une rétribution. Une extension à d'autres GES est également simple à réaliser, et elle est effectivement mise en pratique dans plusieurs instruments déjà existants basés sur les prix. Il faut dans ce cas prendre en compte le potentiel de réchauffement d'un gaz face à celui du CO_2 pour déterminer son prix, ou bien convertir son volume d'émissions en tonnes équivalentes de CO_2, selon la grille d'équivalences (voir tableau 1). A supposer que le prix du CO_2 soit de 100 Fr. par tonne, l'émission par exemple d'une tonne de méthane (due par ex. à l'élevage) reviendrait à 2500 Fr. et l'émission d'une tonne de protoxyde d'azote dans l'atmosphère coûterait même 29 800 Fr.

2.2.3 Echange de quotas d'émission (cap and trade) et taxe sur les GES : étude comparée

Il existe fondamentalement deux différents modes de tarification des émissions de GES : soit l'autorité publique en fixe le prix en imposant une taxe sur les GES (par tonne d'éq.CO_2) et il en résulte un niveau d'équilibre de quantités d'émissions, soit ces quantités d'émissions de GES sont directement plafonnées (cap) en mettant en circulation un nombre correspondant de quotas d'émissions négociables et donnant droit à l'émission de GES. Le prix de l'émission de GES est alors le résultat du négoce des quotas (trade). Dans un cas (taxe sur les GES), le prix est donc fixé et il en résulte une certaine quantité émise ; dans l'autre cas (cap and trade) c'est la quantité qui est fixée et il en résulte un certain prix. Les deux systèmes ont leurs avantages et leurs inconvénients, mais leurs différences ne sont pas – du moins en théorie – si importantes, car s'ils sont correctement conçus, leurs propriétés convergent presque entièrement.

S'agissant des émissions négatives évoquées ci-dessus, on peut préciser d'emblée : les deux instruments sont adaptés pour un futur où il pourrait être nécessaire de comptabiliser des émissions de GES négatives. Dans le cas d'une taxe sur les GES, le fonctionnement se comprend sans difficulté : les acteurs qui sont émetteurs nets payent à l'Etat la taxe sur chaque tonne d'éq.CO_2 émise, tandis que ceux qui sont capteurs nets perçoivent le même montant de l'Etat pour chaque tonne d'éq.CO_2 qu'ils retirent de l'atmosphère. Dans le système cap and trade, le fonctionnement est un peu plus abstrait. Commençons avec le cas du zéro net : l'Etat ne délivrerait pas de quotas d'émission au préalable. Les entreprises captatrices pourraient cependant générer ces quotas d'émissions par leur travail de captage du CO_2 et les vendre à des sociétés émettrices. Dans le cas où l'on souhaiterait un certain niveau d'émissions négatives de GES, une étape supplémentaire est nécessaire : l'Etat disposerait d'un droit de préemption sur les quotas générés par les entités captatrices jusqu'à hauteur du volume d'émissions négatives voulu. Seuls les quotas générés au-delà du contingent soumis au droit de préemption de l'Etat pourraient être vendus par les capteurs aux émetteurs.

Dans les deux cas (taxe sur les GES et cap and trade), dès que les émissions totales deviendraient négatives l'Etat encourrait, après quelques décennies de recettes, des décennies de dépenses. Il serait donc judicieux d'utiliser une partie des recettes pour alimenter un fonds destiné à couvrir, dans la seconde moitié de ce siècle, les coûts des émissions négatives supportés par l'Etat.

Les propriétés que doit satisfaire une taxe sur les GES

Le fonctionnement de la taxe sur les GES ne nécessite pas en soi de longues explications. D'un point de vue purement théorique, la taxe est le moyen le plus sûr d'atteindre un objectif fixé, parce qu'on peut directement fixer sa hauteur en fonction des coûts marginaux sociaux anticipés des émissions de GES. Mais comme on l'a mentionné plus haut, ces coûts ne sont pas connus en pratique, pas même approximativement (voir p. 93),

et les responsables politiques fixent donc certains volumes d'émissions à respecter. Le prix du CO_2 devient ainsi un instrument indirect : fixer un prix fixe de CO_2 ne garantit pas qu'une trajectoire de réduction sera réellement respectée.

La taxe sur les GES aurait pour soi l'avantage de sécuriser la planification des acteurs économiques. Si tous ces derniers savent que le coût des émissions de GES sera pour un certain temps de 100 Fr. par tonne d'éq.CO_2, ils peuvent alors prendre des décisions en conséquence et mieux apprécier quels efforts et innovations technologiques seront rentables ou non. Néanmoins, pour sécuriser également suffisamment la trajectoire de réduction prévue, il est nécessaire de pouvoir adapter de façon flexible le taux de la taxe sur les GES, selon que les émissions réelles constatées se trouvent au-dessus ou au-dessous de la trajectoire souhaitée.[73] Ces ajustements devraient autant que possible être soustraits à l'influence de la sphère politique – car donner au politique un contrôle sur des variables qui devraient en réalité être déterminées mathématiquement ne produit pas de bons résultats, la meilleure illustration en étant le blocage depuis 20 ans des réformes de la prévoyance vieillesse suisse. En dotant pour cette raison la taxe sur les GES de mécanismes de correction automatique, on garantit que la trajectoire de réduction souhaitée sera très vraisemblablement maintenue, même si en contrepartie on réduit la sécurité de planification des acteurs économiques.

Les propriétés que doit satisfaire un système cap and trade

La définition des règles d'un système d'échange de quotas d'émission (SEQE) est beaucoup plus de problématique. Il importe de souligner au préalable que pour qu'un système cap and trade puisse commencer à livrer tout son potentiel, il est absolument nécessaire que la totalité des droits d'émission soient mis aux enchères et non pas remis à titre gratuit selon des critères administratifs. De telles enchères pourraient par exemple avoir lieu chaque année, et un quota acquis aux enchères donnerait droit à l'émission d'une tonne d'éq.CO_2 durant cette période. Les quotas peuvent à tout moment être achetés et vendus entre émetteurs. Afin d'éviter une soudaine pression sur les prix ou leur effondrement en fin de période, les émetteurs doivent pouvoir conserver leurs éventuels excédents ou déficits de quotas dans la période suivante. Les émetteurs qui n'ont pas exploité complètement leurs droits lors d'une période donnée ont ainsi la possibilité d'acquérir aux enchères un peu moins de quotas pour la période suivante, et ceux qui ont surexploité et dépassé leur budget devraient avoir l'obligation d'acquérir les quotas correspondant pour la prochaine période. Dans un système d'échange de quotas, la baisse de la trajectoire d'émissions est pilotée directement, c'est-à-dire au moyen de la diminution chaque année du nombre de quotas mis aux en-

73 Dans les faits, il est très probable que seule une trajectoire d'émissions évoluant au-dessus de l'objectif fixé entraînerait une réaction du politique. Si les émissions sont inférieures – c'est-à-dire si l'on se trouve en avance sur l'objectif de réduction fixé –, on accepterait certainement ce résultat avec gratitude, plutôt que de baisser la taxe sur les GES.

chères. Le respect de l'objectif de réduction serait ainsi en théorie garanti, ce en quoi réside l'avantage de ce système.

Cependant, ce qu'il reste de cet avantage théorique une fois confronté à la réalité politique reste incertain : si un objectif ambitieux causait de façon inattendue des prix de GES élevés, il serait très peu surprenant qu'une forte pression politique s'exerce pour un assouplissement de l'objectif de réduction fixé.

Stabilité des prix : l'inconvénient d'un système d'échange de quotas par rapport à la taxe sur les GES concerne théoriquement la stabilité des prix. Si la trajectoire de réduction mise en œuvre est trop stricte et ne tient pas compte des cycles conjoncturels, les quotas se renchériraient fortement dans les phases d'expansion économique et se déprécieraient considérablement durant les récessions, et ce principalement en raison de la faible élasticité-prix à court terme des émissions de GES. On pourrait saluer ces variations comme un stabilisateur conjoncturel bienvenu (ce que les prix de marché des combustibles fossiles sont naturellement aussi déjà dans une certaine mesure). Mais en réalité, ce qui augmente significativement le coût d'un certain ensemble de réductions de GES [74], c'est l'absence de garantie que les coûts marginaux d'évitement présenteront un niveau relativement stable au cours du temps. [75]

Il existerait cependant un moyen relativement simple de résoudre ce problème, ou du moins de le limiter fortement : ce serait d'adapter, selon le principe du frein à l'endettement en Suisse, la trajectoire souhaitée d'émissions aux cycles conjoncturels. Dans une phase d'expansion, un facteur de correction pourrait augmenter sensiblement le nombre de quotas mis aux enchères, tandis que lors d'une récession la quantité serait réduite en proportion. [76] Un tel mécanisme permettrait de garantir une trajectoire des prix relativement stable. Son rôle serait d'autant plus important en cas de système d'échange de quotas international ou même mondial : vu l'absence absolue de synchronicité entre les cycles conjoncturels de chaque pays particulier et la conjoncture mondiale, il est primordial d'annuler autant que possible les effets des fluctuations de prix dues à la conjoncture (mondiale) – afin que, à titre d'exemple, elles n'accroissent pas les difficultés d'un pays se trouvant déjà en récession.

74 C'est-à-dire cumulées par exemple jusqu'en 2050.

75 Selon la même logique qui a justifié la répartition des réductions en fonction des coûts marginaux d'évitement entre acteurs (figure 18), il est également souhaitable que les coûts marginaux d'évitement soient compensés par la répartition des réductions au cours du temps. Car si ces coûts se trouvaient au cours d'une année nettement plus faibles que dans une autre année, il aurait été possible, pour une dépense donnée, d'atteindre une plus grande efficacité si des réductions plus importantes avaient été réalisées dans l'année aux coûts faibles, et de moindres réductions dans l'année aux coûts élevés.

76 A cette fin, il serait nécessaire de déterminer l'élasticité conjoncturelle des émissions de GES : de combien de pourcents varient les émissions de GES par pourcent de variation conjoncturelle, mesurée en termes d'écart du PIB actuel par rapport à la courbe de croissance à long terme ? Cette élasticité devrait être calculée sur des bases assez prudentes, ou en cas d'incertitude, il conviendrait de fixer le facteur de correction un peu en dessous de l'élasticité calculée, afin d'éviter par ex. une trop forte baisse de la trajectoire d'émissions durant une récession. Car une telle baisse entraînerait une évolution anticyclique des prix et ainsi un effet indésirable de renforcement de la conjoncture.

Néanmoins, l'argument concernant la sécurité de planification (ou les effets néfastes des fluctuations des prix) est probablement un peu surestimé : si l'on considère que (1) des fluctuations annuelles du prix du pétrole de +/-50 $ par baril ne sont pas rares, que (2) l'économie semble s'être relativement bien accommodée de ces fluctuations jusqu'ici, et que (3) ces 50 $ par baril correspondraient à un prix de GES de 100 $ par tonne d'éq.CO_2, alors il n'y a pas motif de s'alarmer de variations de prix des quotas de l'ordre par exemple de +/-40 $.

Allocation des certificats : un système d'échange de quotas d'émission (SEQE) n'envoie un signal de prix correct, c'est-à-dire simulant la rareté, que si ces quotas sont alloués à travers des mécanismes de marché (enchères, négoce). Ce n'était souvent pas le cas jusqu'à présent.

Dans les phases initiales de certains SEQE, les quotas ont souvent été distribués via ce qu'on appelle une règle de **grandfathering** (c'est-à-dire la protection des droits acquis) : les émetteurs participant au SEQE reçoivent dans ce cas des droits à hauteur de leurs émissions passées. Cette méthode a pour conséquences, premièrement, de récompenser les émetteurs qui n'ont entrepris jusqu'à présent que peu d'efforts de réduction de leurs GES, car ils peuvent alors réduire ces émissions à relativement faible coût et

Encadré 9

Le «matelas à eau» – ou l'avantage de la taxe sur les GES

La métaphore du «matelas à eau» permet d'illustrer un aspect susceptible de mettre en désavantage un système d'échange de quotas d'émission (SEQE) par rapport à une taxe sur les GES : étant donné que dans un SEQE, le prix résulte de la quantité d'émissions fixée au préalable, d'autres mesures de politique climatique incitant à la transition vers les énergies renouvelables peuvent faire diminuer la demande de quotas sur le marché, et ainsi faire baisser leur prix. Si donc l'Etat dépense une certaine somme – par exemple pour subventionner des énergies renouvelables ou même seulement pour des campagnes de sensibilisation –, alors il fait baisser – et on peut le dire : subventionne – ainsi indirectement également le prix des quotas, ce qui réduit naturellement à leur tour les efforts de réduction des GES que ce système de quotas est censé susciter. [78] La réduction de GES se transfert ainsi (similairement au liquide dans un matelas à eau) du SEQE vers d'autres mesures de politique économique.

Une taxe sur les GES peut prévenir ce problème. Du moment que cette taxe donne un prix vraiment fixe au CO_2, chaque mesure supplémentaire – pourvu qu'elle ne soit pas entièrement inefficace – conduira à une réduction d'émissions supplémentaire. Si au contraire, la taxe sur les GES est conçue de manière flexible, et varie selon que l'on se trouve à l'intérieur ou non d'une certaine fourchette de réductions – ce qui n'est certes pas déraisonnable en soi –, alors la taxe sur les GES (conçue donc ici comme taxe d'incitation) tombera dans la même faille. En effet, il est alors de nouveau possible de voir se volatiliser l'effet d'autres réglementations et mesures (éventuellement plus coûteuses) : parce que ces dernières aident à se maintenir dans la fourchette d'émissions, elles empêchent le prix du CO_2 d'augmenter (ce qui serait un instrument plus efficace). Ces mesures supplémentaires contribueraient donc de nouveau à subventionner indirectement le prix du CO_2, au lieu d'engendrer une réelle réduction d'émissions.

vendre leurs quotas excédentaires. Deuxièmement, la méthode du grandfathering est très sujette aux manipulations et au lobbying, car les critères de configuration de départ ne se basent pas sur des facteurs exogènes, mais sur des variables exposées aux influences et manipulations des acteurs. Troisièmement, ce mécanisme de distribution instaure une barrière à l'entrée sur le marché des nouvelles entreprises, qui ne peuvent pas en bénéficier.

En raison de ces faiblesses évidentes, la méthode du grandfathering a été de plus en plus remplacée par la méthode du benchmarking (méthode basée sur des référentiels). Dans ce cas, chaque participant au SEQE reçoit une quantité de quotas calculée à l'aide de référentiels – indépendamment de ses émissions de GES réelles. La méthode des référentiels évite au moins de favoriser des entreprises jusqu'ici particulièrement négligentes. Mais cette procédure bureaucratique partage pour le reste les défauts du grandfathering : complexe, sujette aux erreurs et par conséquent exposée au lobbying. [77] Elle est donc aussi un sûr moyen de déclencher une lutte politique autour de la distribution des quotas, et elle ne supprime pas non plus les barrières à l'entrée sur le marché. En réalité, les deux mécanismes recèlent le danger d'un lobbying de groupes d'intérêts qui peut provoquer une distribution initiale généreuse, bien difficilement capable de créer une situation de véritable rareté avec des prix en conséquence.

Les deux stratégies ont été jusqu'ici avant tout utilisées pour empêcher, dans les secteurs soumis à la concurrence internationale, la délocalisation d'entreprises vers l'étranger, où certains pays font cavalier seul en matière de politique climatique (carbon leakage, fuite de carbone, c'est-à-dire la délocalisation des émissions de carbone). On pourrait d'une certaine manière les décrire comme des solutions de pis-aller et acceptées comme telles. Elles montrent bien toute l'utilité, en matière de politique climatique, de la coopération et des accords internationaux, qui facilitent la mise en œuvre des solutions optimales réellement souhaitées, c'est-à-dire d'une tarification des GES par une véritable taxe ou par un système de quotas d'émission attribués exclusivement par enchères.

2.2.4 Echanges de quotas et taxes sur les GES : les effets d'une redistribution

La mise aux enchères de droits d'émission, de même que la taxe sur les GES, procurent à l'Etat une source constante de recettes. A quoi devrait-il les employer ?

- Une idée très populaire chez les Verts consisterait à utiliser de nouveau l'argent dans le domaine du climat, autrement dit de subventionner des technologies respectueuses

77 Les branches concernées connaissent le plus souvent bien mieux leurs structures d'émissions que l'autorité régulatrice essayant de définir des référentiels corrects. Il est par conséquent relativement aisé pour les branches d'influencer les choix de l'autorité au profit de répartitions plus avantageuses.

78 Cet effet est très similaire au paradoxe vert décrit dans le chapitre 2.2.5.

de l'environnement ou financer des projets de même nature. On ferait ainsi d'une pierre deux coups en réduisant les émissions de GES sur deux fronts à la fois, argumentent ses défenseurs. A première vue, l'idée peut sembler plausible, cependant deux raisons la rendent peu conseillable :

- La première a été présentée dans l'encadré 9 : un SEQE en particulier – à savoir tarifer les émissions de GES – perd tout son sens, si les recettes qu'il génère subventionnent des énergies renouvelables. Car ces nouvelles énergies abaissent, comme décrit ci-dessus, le prix des quotas d'émission et réduisent ainsi la propre efficacité du SEQE.
- Même s'il est possible d'empêcher cet effet – par exemple via une taxe fixe sur les GES –, l'approche en question continue de manquer de logique : la section 2.2.1 a détaillé les raisons pour lesquelles un signal de prix est le moyen le plus efficace de réduction des GES. Or si l'on partage ce point de vue, on ne peut pas considérer souhaitable que l'Etat dépense les ressources (des contribuables) pour mener une politique climatique sélective et sectorielle qui ne respecte pas l'exigence de neutralité technologique de l'action publique. Si quelqu'un estime qu'une «double» efficacité est nécessaire pour atteindre les objectifs climatiques, il devrait plutôt miser sur un doublement du prix du CO_2. L'efficacité serait plus grande qu'avec un «simple» prix du CO_2 et une supposée «double» efficacité.

La seule réponse correcte à la question posée en ouverture est donc : la redistribution. Pour atténuer la résistance qu'opposent les branches à forte consommation d'énergie contre la tarification des combustibles fossiles, on pourrait être tenté de redistribuer les recettes issues de certaines branches à l'intérieur même de ces branches (par ex. proportionnellement aux chiffres d'affaires des entreprises). Il est vrai que cela n'affaiblirait pas de façon significative l'incitation à réduire leurs GES [79], mais cela créerait un obstacle considérable à l'évolution structurelle vers des branches plus économes en énergie, parce qu'en dernier bilan, les charges financières imposées sur les branches à fortes consommations d'énergie (par la taxe GES ou le SEQE) disparaîtraient. [80]

Il est donc nettement préférable de redistribuer les recettes à l'ensemble de la population, où l'argent peut de nouveau être utilisé pour les fins qui semblent optimales à chacun. Ainsi s'obtiennent les résultats les plus efficients et les changements structurels peuvent également se développer librement. La redistribution peut prendre la forme d'une somme fixe versée par habitant ou être accordée sous forme de réduction d'impôts. D'un point de vue d'équité, une redistribution par habitant semble le choix naturel (car chaque personne a le même droit d'émissions de GES) ; de plus, sociopolitiquement (à petite échelle) et géopolitiquement (à grande échelle), cette méthode est susceptible de produire des résultats répondant aux aspirations du plus grand nombre.

79 Sauf si la concentration du marché dans ladite branche est si forte qu'une unique entreprise détermine pour une grande part les émissions totales de la branche.

80 Au sein même de la branche au contraire, cela créerait une incitation au changement structurel vers une production moins génératrice de GES.

Encadré 10

Payer pour se dédouaner de ses responsabilités ?

Les instruments tarifaires sont parfois critiqués car ils permettraient aux personnes riches de ne pas modifier leur comportement et de payer simplement à la place le prix de l'empreinte carbone de leur mode de vie. Tout n'est pas faux dans ce reproche. Cependant la critique n'est pas valable :

- Si la taxe sur les GES doit remplir la fonction d'une taxe Pigou, alors la tarification des GES a pour mission d'augmenter le coût marginal privé de la consommation causant les émissions, de telle sorte que ce coût corresponde au coût marginal social (futur) de cette consommation. La vérité des coûts est ainsi établie. Une fois cette vérité des coûts établie – autrement dit, dès lors qu'il n'est plus possible à un individu de se décharger du coût de sa consommation sur la société –, il n'y a plus de raison (libérale) de freiner davantage ou d'interdire certains modèles de consommation.
- Si la taxe sur les GES doit remplir la fonction de taxe d'incitation, alors celle-ci doit être jugée à son effet incitatif sur la totalité des émissions. Si certains acteurs ne modifient pratiquement pas leur comportement en raison de leur disposition à payer, tandis que d'autres changent très nettement d'attitude, cela répond à l'esprit de cet instrument (voir chapitre 2.2.1).

De façon générale, l'objectif des mécanismes tarifaires pour la protection du climat n'est pas de mettre sous tutelle les individus ou de leur imposer certains comportements, mais d'atteindre la plus grande réduction d'émissions possible avec un certain investissement de ressources. La société devra donc s'habituer à ce que les émissions de GES ne soient plus un «droit humain gratuit», mais que l'on doive (et veuille) pouvoir se les offrir. Il ne faut néanmoins pas craindre qu'elles deviennent des produits de luxe comme des Ferrari ou des montres Rolex : un vol aller-retour Zurich-Berlin, par exemple, représente des émissions d'environ 210 kg de CO_2 par passager. [81] Un prix de 100 Fr. par tonne entraînerait donc un supplément de 21 Fr. La personne qui ne veut pas prendre sur elle cette dépense restera avec raison à la maison.

D'un point de vue d'efficience au contraire, une redistribution par l'intermédiaire de réduction d'impôts sur le revenu ou sur le bénéfice serait plus judicieuse, car ces impôts-ci exercent une forte distorsion sur les incitations, et une réduction pourrait par conséquent avoir un effet positif accroissant le bien-être général.

Effets d'une redistribution entre individus : la redistribution à chaque habitant favorise les foyers aux revenus modestes. Ces derniers recevront un remboursement d'un montant supérieur aux charges directes et indirectes qu'ils paient via la taxe sur les GES ou le mécanisme de cap and trade – et ce pour la simple raison que l'empreinte GES des foyers les plus pauvres est généralement plus faible que celle des foyers plus riches. Il n'est également que logique, d'un point de vue de politique sociale, que chaque personne ait le même «droit» d'émissions. Après redistribution, les personnes qui causent plus d'émissions que la moyenne auront contribué au bout du compte davantage, et celles qui ont émis moins que la moyenne en tireront un bénéfice financier.

81 1400 km, 6 litres / 100 passager-kilomètre, 2,52 kg de CO_2 par litre de kérosène.

Effets d'une redistribution entre Etats : dans le cas de la taxe sur les GES comme dans celui du SEQE, l'efficience maximale est atteinte si (aussi utopique que cela puisse paraître) la même taxe est prélevée au même taux dans le monde entier, ou si tous les pays participent à un même SEQE mondial. Ce n'est qu'ainsi que l'on peut s'attendre à un rapprochement mondial des coûts marginaux d'évitement ; dans tous les autres cas, lorsque l'évitement d'une tonne d'éq CO_2 dans un pays est nettement plus coûteuse que dans un autre, il serait possible de réaliser, pour un même coût, une réduction de GES plus importante en répartissant les efforts de réduction jusqu'à convergence des coûts marginaux d'évitement.

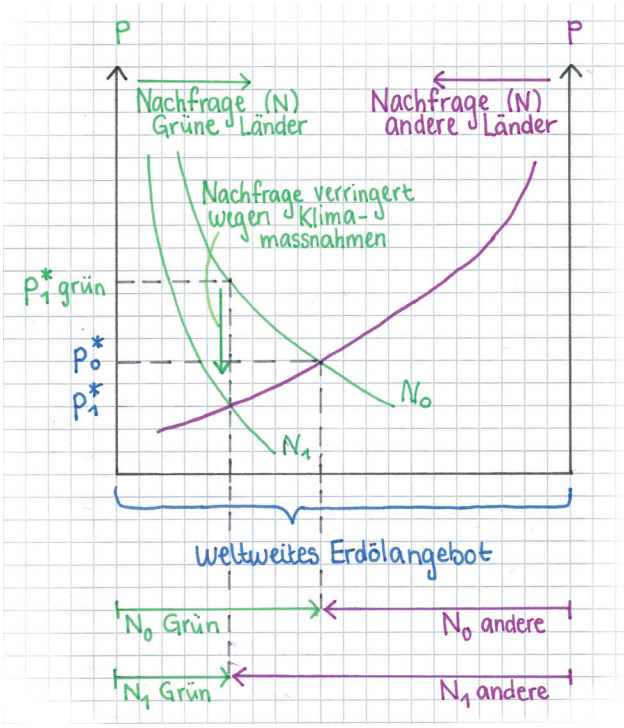
La redistribution des recettes qu'il conviendrait d'appliquer ici devrait également suivre le strict principe d'un montant égal pour chaque habitant. Cette méthode couperait court aux discussions sur la manière dont les pays en développement ou émergents, avec leur bas niveau des prix et leur faible pouvoir d'achat, sont censés supporter les mêmes niveaux de taxes sur les GES que les pays occidentaux, de même qu'aux débats sur les raisons qui devraient empêcher ces pays, dont le processus de rattrapage de prospérité est encore à venir (ou n'est pas encore achevé), d'avoir le même droit aux émissions GES que les pays occidentaux. Une redistribution par habitant signifie ici, premièrement, qu'implicitement le même droit d'émission qu'aux pays développés leur est attribué, et deuxièmement, que similairement à la redistribution aux individus, ils profiteront en dernière ligne financièrement du mécanisme de prix, dans la mesure où (et aussi longtemps que) leurs émissions de GES par habitant restent en dessous de la moyenne mondiale. Une telle redistribution mondiale des recettes du CO_2 selon le nombre d'habitants reviendrait donc – à grands traits – à une redistribution considérable des ressources financières des pays riches vers les pays pauvres. Précisément dans les pays en développement et émergents, cette redistribution devrait susciter un grand intérêt pour la participation à de tels mécanismes – en dépit du fait que les préoccupations de la population et des responsables politiques soient encore tournées vers de tout autres sujets dans ces pays, en raison du faible niveau de vie.

Effets d'une redistribution intertemporelle : la redistribution à la population (actuelle) ignore un aspect qui n'est pas sans importance : elle n'établit pas de vérité intertemporelle – ou intergénérationnelle – sur les coûts. La taxe sur les GES et un SEQE instaurent certes une vérité des coûts à l'égard des émetteurs mais non à l'égard de la génération émettrice, car celle-ci est remboursée des taxes sous forme de montant alloué à chaque habitant ou sous forme de réductions d'impôt. Les générations futures ne sont pas non plus dédommagées des conséquences du changement climatique. Les effets externes négatifs sont certes tarifés, mais les recettes ainsi générées ne bénéficient pas à ceux qui subissent ces effets. Pour créer une vérité intergénérationnelle des coûts – autrement dit une justice intergénérationnelle –, il serait nécessaire de destiner toutes les recettes générées par les instruments évoqués à la constitution d'un fonds, judicieusement investi et porteur d'intérêts. [82] Un tel fonds permet non seulement de financer

Figure 20

Le paradoxe vert des mesures de protection climatique

Le graphique présuppose une certaine offre mondiale de pétrole à une date donnée (cette offre correspond à la largeur totale du graphique). On peut ainsi représenter la demande des pays verts (avec mesures de protection climatique) croissant de gauche à droite et celle des autres pays (sans mesures de protection climatique) de droite à gauche. Au point d'intersection des deux courbes, la somme des deux demandes équivaut à l'offre totale, et c'est là que s'établit le prix du marché. Les mesures de protection climatique poussent la courbe de la demande des pays verts en direction de l'angle en bas à gauche du graphique. Il en résulte un nouvel équilibre avec un prix du marché plus bas, et une consommation de pétrole plus faible dans les pays verts et plus forte dans les autres pays.



Nachfrage (N)	Demande (D)
Grüne Länder	pays verts
Nachfrage verringert wegen Klimamassnahmen P1* grün	Demande diminue en raison d des mesures climatiques P1*vert
N0 Grün	D0 Vert
N1 Grün	D1 Vert
Nachfrage (N) andere Länder	Demande (D) autres pays
N0 andere	D0 autres
N1 andere	D1 autres
weltweites Erdölangebot	Offre de pétrole mondiale

Source: propre représentation, adaptée de Sinn (2020)

les émissions négatives dans la seconde moitié du siècle (voir p. 97), mais aussi précisément de compenser les éventuels futurs dommages climatiques qui affecteront le futur.

Il est malheureusement plutôt irréaliste de penser pouvoir implémenter ce processus dans le monde politique réel. Un tel fonds atteindrait rapidement des billions à l'échelle mondiale et résisterait certainement difficilement aux pressions politiques en faveur de son utilisation pour d'autres finalités dans le présent. C'est pourquoi la redistribution à la population actuelle est peut-être encore – sacrifiant à la Realpolitik – le meilleur second choix.

82 Cela montrerait concrètement le bien-fondé d'actualiser (escompter) à leur valeur actuelle les coûts futurs du changement climatique lors du calcul du prix du CO_2 «correct».

2.2.5 Le paradoxe vert ou pourquoi la coopération mondiale est décisive

En 2008 déjà, l'économiste allemand Hans-Werner Sinn soulignait dans son ouvrage «Das grüne Paradoxon» («Le Paradoxe vert») que des mesures unilatérales de protection climatique risquaient de se révéler parfaitement vaines et de ne produire aucun des effets attendus (Sinn 2008). Non pas parce que l'effort d'un pays isolé ou d'une petite confédération d'Etats n'aurait pratiquement aucun poids par rapport aux émissions mondiales de CO_2, [83] mais parce que de telles mesures traitent un aspect du marché et ignorent complètement l'autre : les mesures de protection climatique en Suisse et en Europe abaissent la demande locale de combustibles fossiles. De l'autre côté se trouve l'offre – et celle-ci, en termes de volume d'extraction de pétrole, s'est avérée extrêmement peu élastique aux prix. Ce qui pose problème, c'est que le pétrole extrait finira par être consommé par un agent économique ou un autre. Un graphique en illustrera mieux les implications (voir figure 20).

Si la demande de pétrole des pays «verts» diminue – par exemple en raison d'une tarification du CO_2 –, tandis que la quantité extraite reste la même, le prix du pétrole va simplement baisser jusqu'à ce que la totalité de l'offre excédentaire trouve une demande parmi les pays «non verts». Les émissions mondiales de CO_2 restent ainsi parfaitement inchangées. Les efforts des pays verts – que ce soit sous forme d'une tarification du CO_2, d'interdictions, de subventions, ou de toute autre mesure que ce soit – ne déploient par conséquent aucune sorte d'efficacité climatique, mais ont pour seul et unique effet de subventionner (implicitement) le prix du pétrole pour les pays non verts. Dans le cas des gouvernements qui ont jusqu'ici subventionné (explicitement) les prix des carburants dans leurs pays, [84] ces mesures de protection climatique se réduisent même à un transfert financier vers les budgets nationaux de ces pays. [85]

Et selon Sinn, la situation pourrait même s'aggraver : si les gouvernements des pays producteurs de pétrole redoutent un futur effondrement des prix en raison des mesures de protection climatique des pays verts, ils pourraient être tentés d'accélérer l'extraction des réserves de pétrole existantes afin d'en vendre la plus grande quantité possible aux prix actuels du marché, plutôt que de se risquer à parier sur la possibilité d'en tirer des revenus satisfaisants encore dans dix ou vingt ans. La politique de protection climatique des pays verts conduirait même ainsi – du moins à court terme – à une augmentation des émissions de CO_2 dans le monde.

83 Dans une telle situation, on ne pourrait pas parler d'inefficacité, mais simplement du fait que pour un pays isolé, le résultat de ses efforts de réduction n'est pas tellement perceptible.

84 Selon l'AIE (Agence internationale de l'énergie), 42 pays dans le monde subventionnent des carburants ou l'électricité. Parmi eux, 12 pays du Moyen-Orient et Proche-Orient, 11 pays d'Asie, 9 pays d'Afrique, 8 pays d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud, ainsi que la Russie et l'Ukraine (IEA 2021a). En 2019, 201 milliards de dollars ont été consacrés au subventionnement du pétrole et du gaz naturel et 113 milliards de dollars supplémentaires au subventionnement de l'électricité.

85 En 2012 selon l'AIE, les subventions aux carburants dans le monde se sont chiffrées à 566 milliards de dollars ; en 2019 elles n'étaient plus que de 318 milliards de dollars (IEA 2021b). La courbe du montant des subventions (données disponibles à partir de 2010) ressemble de façon suspecte à celle des prix du pétrole.

A en juger simplement par les chiffres, nous nous trouvons déjà au cœur de ce paradoxe vert : la production mondiale de pétrole a continué d'augmenter ces dernières années (passant de 3,9 milliards de tonnes en 2009 à 4,5 milliards de tonnes en 2019), tandis que son prix chutait fortement (BP 2020) – si fortement qu'il a aisément plus que compensé presque toutes les tarifications sur le CO_2 observées à ce jour. [86]

Comment résoudre le paradoxe vert ?

Le paradoxe décrit ci-dessus est-il inévitable ? La réponse dépend naturellement entièrement de la véritable (in)sensibilité de l'offre de pétrole à l'égard du prix. Le modèle de Sinn présuppose une offre fixe de pétrole. Cette hypothèse – même si elle est empiriquement fondée – enlève naturellement tout sens aux mesures de protection climatique. Si les progrès accomplis dans les pays verts restent sans effet sur le niveau d'émissions de CO_2, cela s'explique alors par simple tautologie à partir du présupposé de départ.

En réalité, il est permis d'espérer qu'un prix de pétrole durablement bas décourage significativement les efforts de prospection de nouveaux gisements pétroliers, accélère la fermeture des puits existants pour raison de non-rentabilité de la poursuite de l'exploitation, et rende nettement moins intéressant (compte tenu de leurs coûts d'extraction élevés) d'exploiter des gisements alternatifs de pétrole, par exemple à partir de sables bitumineux ou par fracturation (fracking). Il est donc tout à fait plausible de tabler à long terme sur une élasticité-prix positive de l'offre de pétrole.

Il est néanmoins également certain que le monde dans son ensemble ne reconnaîtra la fin de l'ère de l'exploitation rentable du pétrole que lorsque que la demande mondiale aura à ce point chuté que le prix du marché sera tombé à près de zéro. En revanche, si seuls quelques pays suivent un plan d'action climatique, il est hautement improbable d'échapper au paradoxe vert. C'est une des raisons pour lesquelles les interdictions absolues (voir p. 86) apportent peu de résultats dans la lutte contre le changement climatique : elles ne rallieraient tout au plus que quelques pays isolés. Ces derniers consentiraient à payer un prix élevé (pour leurs réductions), dont les effets se volatiliseraient cependant en majeure partie à cause du paradoxe vert. Pour lutter contre le changement climatique, la seule méthode viable est donc de gagner l'implication du plus grand nombre de pays possibles à l'aide de mesures les plus acceptables possible.

Si de nets progrès ne se profilaient pas assez vite à l'horizon avec cette méthode, il resterait encore la possibilité – du moins en théorie économique – de dédommager purement et simplement les pays détenteurs de réserves d'agents énergétiques fossiles afin qu'ils ne les exploitent pas. D'un point de vue strictement financier, la stratégie serait viable : une compensation par exemple de 30 $ par baril de pétrole non produit

86 A l'exception peut-être de la taxe suédoise sur le CO_2, qui se monte à 120 euros (=145 $) par tonne, ce qui correspond à un prix du baril de 72 $.

serait équivalente à un prix de CO_2 de 60 $. Une proposition similaire a déjà été envisagée par exemple pour les forêts tropicales : un dédommagement au prix «conforme au marché» pourrait dissuader le Brésil et d'autres pays de poursuivre leurs déforestations. Mais l'idée, qui s'avère déjà compliquée à concilier avec les réalités politiques en matière de forêt tropicale, devient complètement utopique pour le pétrole : difficile d'imaginer une résolution de la communauté internationale instaurant un dédommagement sur plusieurs décennies pour des pays comme l'Arabie saoudite, qui accepteraient de laisser leurs gisements pétroliers intacts dans leurs sous-sols. En l'occurrence, sur la base de sa production pétrolière de 2019, 130 milliards de dollars devraient être versés chaque année à l'Arabie saoudite pour «ne rien faire».

Si le paradoxe vert ne peut être résolu d'une manière ou d'une autre, l'espoir de pouvoir lutter efficacement contre le changement climatique se reporte alors sur les technologies (pas encore matures pour le marché) d'élimination du CO_2 (EDC, ou CDR selon l'acronyme anglais) de l'atmosphère, avec celles d'émissions négatives (NET, pour «negative emissions technologies») (voir encadré 2 et figure 7b). Ces dernières ne sont pas concernées par le paradoxe vert.

2.3 Les mesures anti-Covid contre le changement climatique ?

«L'Himalaya visible depuis l'Inde !» : tel était à peu près le titre qui a fait le tour des médias européens en avril 2020. La nouvelle provenait de Jalandhar, ville moyenne située à moins de 200 km du pied sud de l'Himalaya, et d'où depuis 30 ans, on ne distinguait manifestement plus le plus haut massif montagneux du monde. Le «phénomène» était naturellement dû au confinement décrété également en Inde à cette époque. Et il souleva la question : si les mesures de lutte contre la pandémie de Covid-19 font apparaître de si grandes améliorations si rapidement, l'humanité ne devrait-elle pas alors prendre des mesures d'une semblable rigueur pour lutter contre le changement climatique – qui faisait encore les gros titres quelques mois auparavant ?

La courte réponse est «non [87]. Sous sa forme longue, la réponse peut se formuler ainsi : «non, et si les mesures anti-Covid nous ont montré quelque chose, c'est comment on ne combat pas le changement climatique». Cette réponse est développée plus en détail dans les paragraphes qui suivent.

2.3.1 Effet de la crise du Covid-19 sur les émissions de gaz à effet de serre

L'apparition de la pandémie en 2020 a conduit à une baisse marquée des émissions de CO_2 cette année-là (voir figure 21). Les plus fortes baisses se sont produites sans surprise dans le secteur des transports. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) prévoyait dans ses Perspectives Energétiques Mondiales (World Energy Outlook) que les émissions mondiales de CO_2 de 2020 baisseraient de 7 % par rapport à l'année précédente (IEA 2020a). Comme l'estimation avait été faite à l'automne, alors qu'on n'anticipait pas une deuxième vague de cette importance, la baisse pourrait s'être s'accentuée de 1 à 2 points de pourcentage. Une réduction au-delà de 10 % n'est en revanche pas vraisemblable.

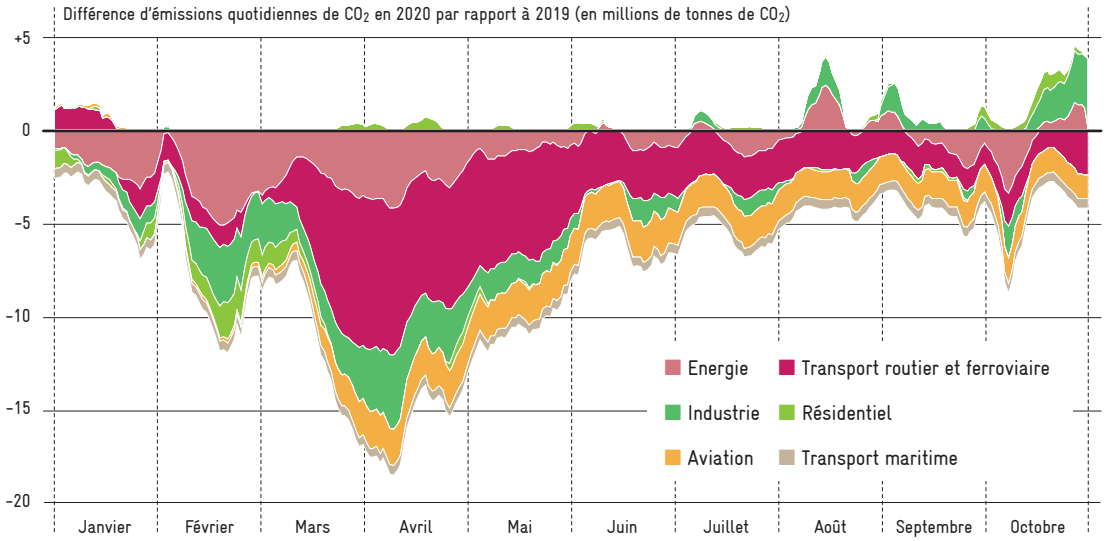
Une chose est claire : une telle réduction de près de 10 %, isolée et non permanente, ne laissera pas de traces perceptibles dans la lutte contre le changement climatique. Ce qui sera décisif, ce sont donc bien plutôt les effets à long terme et les transformations que le choc de la crise du Covid-19 aura initiés sur l'intensité carbone de l'économie et de la société.

87 Et ne serait-ce que pour la raison suivante : le manque de transparence de l'air, dont la diminution est vantée ici, n'est pas dû au CO_2, mais au SO_2, à la suie et aux particules fines (smog hivernal), ou aux NO_X, CO, CH_4 et aux COV (smog estival). Le graphique de la figure 1b montre que la pollution actuelle aux particules fines à Delhi présente des valeurs (400–500 µg/m2) de même niveau que celles dont souffrait Londres autour de 1900. La pollution de particules à Londres est aujourd'hui de moins de 20 µg – et pourtant (comme on aurait pu s'y attendre sinon), il n'est pas émis moins de CO_2 qu'il y a 120 ans.

Figure 21

Réduction des émissions de CO_2 en 2020 par rapport à l'année précédente

La plus grande part des émissions évitées est le résultat des confinements stricts et généralisés mis en place dans de nombreux pays au printemps 2020. Pour les mois de novembre et décembre, les données ne sont pas encore disponibles au moment de la clôture de rédaction: un repli devrait certainement être bien notable, mais d'une moindre ampleur qu'au printemps.



Source: Unep (2020: p. 9)

Les évolutions positives suivantes sont possibles:

- La baisse drastique du trafic aérien pourrait être dans certains segments davantage qu'un phénomène temporaire. Les voyages d'affaire en particulier ne retrouveront vraisemblablement plus très rapidement leur niveau d'avant la pandémie. La crise a nettement renforcé l'acceptance des visioconférences et des entretiens en ligne dans le monde des affaires, remplaçant la nécessité de se serrer personnellement la main. Les institutions soucieuses de maîtriser leurs coûts se dispenseront de plus en plus d'envoyer leurs employés aux quatre coins du monde si la question concernée peut éventuellement être résolue par une conférence en ligne.
- La fréquence du télétravail ne devrait pas non plus retomber facilement à son niveau d'avant-crise. Les déplacements domicile-travail resteront donc sans doute durablement un peu moins nombreux par rapport à ce qu'ils auraient été dans un monde sans Covid.
- La chute des prix des combustibles fossiles pourrait conduire à l'abandon de certaines méthodes d'extraction plus coûteuses et ainsi à une baisse de l'offre.
- De même, la faiblesse du cours du pétrole faciliterait la suppression des subventions que des Etats accordent encore aux combustibles fossiles (Heath 2020). Il est cependant très invraisemblable qu'un gouvernement s'autorise une telle suppression en pleine récession.

Les évolutions négatives suivantes sont possibles :

- Il est vraisemblable que de nombreux gouvernements, sous la pression des problèmes économiques, diminuent pour un temps leurs dépenses et leurs efforts réglementaires dans la lutte contre le changement climatique (Pinner et al. 2020). Dans de nombreux pays, les caisses publiques sont vides.
- La crise pourrait également amener les entreprises et les ménages à reporter leurs investissements dans des technologies à faibles émissions de GES (IEA 2020b, p. 16), compte tenu des autres difficultés auxquelles ils sont confrontés. L'AIE prévoit un recul de plus de 10 % des investissements (privés comme publics) dans les secteurs à haute efficience énergétique (Bruck et al. 2020 : p. 12).
- La chute des prix des combustibles fossiles peut retarder le passage aux énergies renouvelables puisque leur coût relatif s'en trouve majoré (FT 2020).
- L'expérience vécue avec le Covid pourrait affaiblir durablement la popularité des transports publics, entraînant un rebond de la circulation des voitures.
- En Afrique subsaharienne, le nombre de personnes sans accès à l'électricité augmente à nouveau parce que de nombreux gouvernements ont réduit leurs efforts d'amélioration de l'équipement (IEA 2020a : p. 18). L'AIE estime en outre qu'en raison de la crise, 100 millions de personnes disposant déjà d'un raccordement électrique ne peuvent plus se permettre un approvisionnement de base et se replient donc vers des énergies à plus fort impact carbone (ibid.).

Au vu de cette liste dont le bilan n'est pas à proprement parler réjouissant, il peut sembler presque étonnant que le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (Pnue), dans son rapport sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions, fasse aujourd'hui des prévisions pour l'année 2030, dans lesquelles le scénario le plus vraisemblable [88] enregistre un recul des émissions de GES de 1,5 milliard de tonnes par rapport à la prévision qu'il en faisait, pour ce même horizon 2030, avant la crise du Covid-19, soit une amélioration de près de 3 % (Unep 2020 : p. 32). Même modeste, cela représente malgré tout une contribution positive.

Trop cher payé

Une baisse des émissions de CO_2 ne dépassant pas 10 % l'année dernière, à peine 3 % de réduction des GES d'ici 2030 (par rapport au scénario d'un monde qui n'aurait pas rencontré le Covid-19) : cela est extrêmement peu, surtout si l'on considère le prix payé par la communauté internationale en contrepartie. Si l'on compare les prévisions éco-

88 Le rapport (réalisé à l'automne 2020) propose des projections calculées selon plusieurs scénarios. Deux scénarios anticipaient une deuxième vague de Covid durant l'hiver 2020/2021, tandis que deux l'excluaient. Dans chacun des cas, les projections distinguaient un scénario avec et sans effet rebond au profit des combustibles fossiles. Comme la deuxième vague de Covid est devenue réalité et qu'un certain rebond des combustibles fossiles est vraisemblable, c'est ce scénario qui est cité ici.

nomiques pour 2020–2024, publiées en octobre 2020 par le Fonds monétaire international (FMI), avec celles publiées l'année précédente, on constate une perte de valeur ajoutée, cumulée sur les cinq années, qui atteint la somme astronomique de 24,4 billions – 24 400 000 000 000 – de francs (Rühli 2020). Parce que les estimations du FMI ont été calculées avant le mois d'octobre, c'est-à-dire après des mois d'été plutôt «calmes» et nettement avant le début des importantes deuxième (et troisième) vagues, et du nouveau confinement, il faut supposer que ce chiffre – même si les mesures prises contre le Covid-19 durant l'hiver 2020/2021 ont été davantage différenciées – va encore être revu à la hausse. A moyen terme, des pertes mondiales de 40 billions de francs ne semblent pas invraisemblables. Les répercussions à long terme de ces confinements et arrêts d'activités toucheront tendanciellement le plus sévèrement les pays en développement et les pays émergents dotés d'institutions de moindre qualité et/ou de dettes publiques élevées (ibid.). Aussi n'est-il pas possible, selon les perspectives du FMI susmentionnées, de s'attendre pour les années qui suivront dans les régions «Afrique subsaharienne», «Afrique du Nord, Proche-Orient, Asie centrale» et «Amérique latine et Caraïbes» à un processus de rattrapage significatif [89] de la forte chute subie en 2020.
En plus des conséquences purement financières, la crise a causé des souffrances considérables à des milliards de personnes que les mesures anti-Covid ont mis dans l'incapacité de poursuivre la vie qui leur était coutumière. Tandis qu'en Suisse, ces mesures ont majoritairement «simplement» compliqué ou empêché la satisfaction de certains besoins de confort, elles ont poussé dans des pays beaucoup plus pauvres une partie de la population à lutter (de nouveau) pour sa simple survie. C'est pourquoi dans ces pays, les questions qui revêtaient déjà une plus grande importance que les conséquences du changement climatique, compte tenu des réalités de vie de leurs habitants, passent actuellement encore plus nettement au premier plan. Cette distribution des priorités est le thème de la prochaine section.

2.3.2 La lutte contre le changement climatique: un luxe?

Dans le cadre de sa Campagne du Millénaire, l'ONU a recueilli dans les années précédant 2015 les souhaits principaux de plus de 7 millions de personnes sur toute la planète (Uno 2015a). Concrètement, l'enquête «MY World» demandait aux participants de sélectionner parmi 16 priorités d'action les six correspondant aux «questions les plus importantes pour vous et votre famille» (Uno 2015b). Les mesures contre le changement climatique ont terminé bon dernier en fin de classement (voir figure 22). Les trois premières priorités étaient une bonne éducation, un meilleur système de santé et de meilleures offres d'emplois.

89 Relativement à la trajectoire de croissance projetée avant la crise du Covid-19.

Il est intéressant de noter – même si ce n'est pas vraiment une surprise –, que les personnes vivant dans des régions jouissant d'un plus haut niveau de vie attribuaient une plus grande priorité à la lutte contre le changement climatique : en Europe cette priorité s'est classée malgré tout à la 10e place, et elle a même atteint la 7e position en Océanie. Une même répartition s'est observée par exemple pour la priorisation du thème «La protection contre la discrimination et la persécution» : dans les pays où l'indice de développement humain (IDH) est faible, cette préoccupation n'a pris que la 14e place, tandis qu'elle se classe au 7e rang dans les pays où l'IDH est très élevé (Uno 2015a : p. 77). Ces différentes priorités reflètent les différentes réalités de vie des individus. Plus le niveau de vie est faible, plus grande est l'importance accordée aux besoins de base permettant d'assurer l'existence (économique et physique) – tout simplement parce que leur satisfaction n'est pas encore devenue une évidence comme dans les pays plus prospères **(voir les explications concernant la courbe de Kuznets dans le chapitre 1.1.3)**.

Une nouvelle édition de l'enquête est actuellement en cours sous le titre «MY World 2030» (Uno 2021a), dont aucun résultat n'a encore été publié. Il serait très étonnant que les «mesures contre le changement climatique» ne gagnent pas au moins quelques rangs dans la liste des priorités car la prise de conscience du problème a nettement progressé dans la population au cours des dix dernières années. Il faut cependant s'attendre à ce que l'éducation, la santé et les opportunités professionnelles continuent d'occuper une place plus importante dans la vie de la population mondiale. La question du changement climatique devrait surtout gagner en importance si l'amélioration des conditions de vie a été maximale pour le plus grand nombre de personnes possible. Et c'est précisément pourquoi la crise du Covid n'a certainement pas aidé la cause du climat.

Consensus de Copenhague

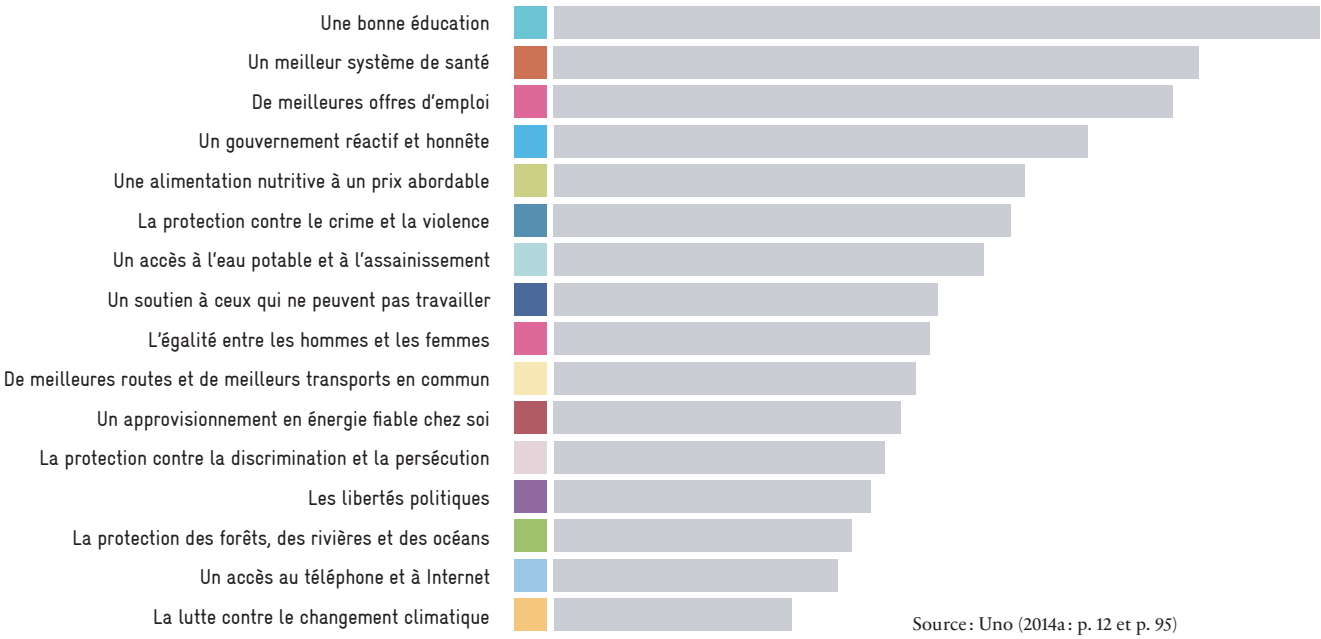
L'ONU a défini pour la période 2000-2015 huit objectifs du Millénaire pour le développement (OMD ; ou en anglais : Millennium Development Goals, MDG). Le projet «consensus de Copenhague», sous la conduite du politologue danois Bjørn Lomborg, assisté d'économistes mondialement renommés, s'est donné pour mission d'établir des priorités parmi les objectifs ainsi formulés, autrement dit d'identifier lesquels d'entre eux apporteraient le plus grand bénéfice à l'humanité. Depuis, l'ONU a énoncé de nouveaux objectifs pour la période allant de 2015 à 2030. Ils sont regroupés sous l'intitulé Objectifs de Développement Durable (ODD ; ou en anglais : Sustainable Development Goals, SDG) et divisés en 17 grands objectifs, articulés en 169 cibles concrètes **(voir chapitre 3.1.1)**.

Les économistes associés au consensus de Copenhague ont de nouveau analysé ces objectifs et les ont classés en fonction de l'utilité sociale, par franc investi, qu'ils sont en mesure d'apporter en 2030. Leur conclusion : si l'ONU et d'autres organisations consacraient leurs moyens limités aux 19 cibles ayant le meilleur rapport coût-bénéfice,

Figure 22

Education, santé et emploi aux premiers rangs des priorités

La figure montre le résultat de l'enquête «MY-World», menée par l'Onu dans les années précédant 2015. Pour la population mondiale, les mesures contre le changement climatique avaient la plus faible priorité.



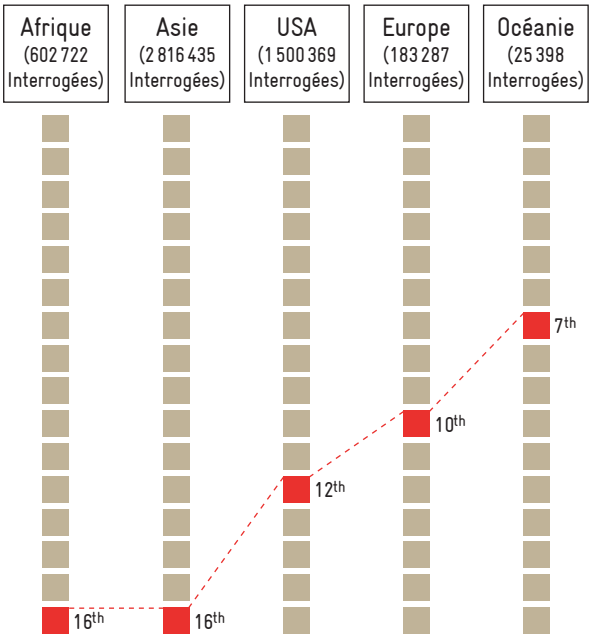
Source: Uno (2014a: p. 12 et p. 95)

l'utilité sociale des fonds investis pourrait être au moins quadruplée par rapport à un agenda non priorisé des 169 cibles (Copenhagen Census 2015a). Selon les chercheurs du consensus, les cibles suivantes offriraient le plus grand «rendement» social: la suppression des barrières commerciales dans le monde, un accès généralisé à la contraception, la prévention des infarctus à l'aide de l'aspirine, la diffusion des vaccinations, les médicaments contre l'hypertension, l'autorisation de migrations plus nombreuses, la réduction de la malnutrition infantile et la lutte contre la tuberculose (Copenhagen Census 2015b).

Dans le domaine de l'énergie, des rapports coût-bénéfice particulièrement avantageux sont obtenus par la suppression des subventions des combustibles fossiles, la réduction de la pollution de l'air dans les espaces intérieurs (par l'accès à des technologies modernes de chauffage et de cuisson) et la recherche en matière de technologies énergétiques. Il n'est pas en revanche avantageux de doubler la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique – car aussi longtemps que la recherche n'aura pas résolu les problèmes de la fluctuation des capacités électriques et du stockage de celles-ci, cet objectif présentera un coût excessif (Copenhagen Census 2015c).

De telles analyses doivent naturellement être appréciées avec la plus grande prudence. Les calculs de coûts-bénéfices à long terme [90] sont toujours grevés d'impondérables, d'incertitudes et de grandes marges d'interprétation. Néanmoins, même sans

prendre chacun des chiffres ainsi calculés pour argent comptant, l'entreprise illustre que pour l'avenir de l'humanité, la protection du climat ne peut être le thème surplombant tous les autres sujets, mais qu'il se trouve en concurrence avec d'autres défis – dont la résolution présente quelquefois un plus grand rendement social que les mesures de protection climatique. Il est d'autant plus important que celles-ci soient conçues en calculant bien leur efficience et toutes leurs conséquences.



2.3.3 Innover ou renoncer à consommer

On entend souvent les activistes affirmer que les problèmes climatiques ne peuvent pas être résolus par la seule innovation. La Terre ne pourrait être sauvée, à les en croire, que par certains renoncements à consommer, voire même par une transformation radicale de notre mode de vie. La voie à suivre aurait été tracée par la crise du Covid, qui a rendu en un instant possibles des changements de comportement que personne ne pouvait (ou ne voulait) imaginer auparavant, et qui a dégagé la vue sur l'Himalaya, comme mentionné ci-dessus.

Mais si la crise sanitaire a montré quelque chose, c'est précisément le contraire : se priver de consommation est pénible, et n'est pas trop longtemps accepté par une large part de la population. S'il suffisait d'une raison pour donner la priorité à l'innovation plutôt qu'au renoncement à consommer, c'est que les émissions négatives qui seront nécessaires dans quelques décennies pour respecter l'objectif de 1,5 degré ne peuvent pas se réaliser sans innovations. Et les capacités d'investissements pour ces innovations se trouvent plus facilement dans une économie qui n'est pas complètement sinistrée. La solution de déconsommation ne va donc pas jusqu'au fond du problème, comme peut facilement l'illustrer un calcul mathématique (voir figure 23) :

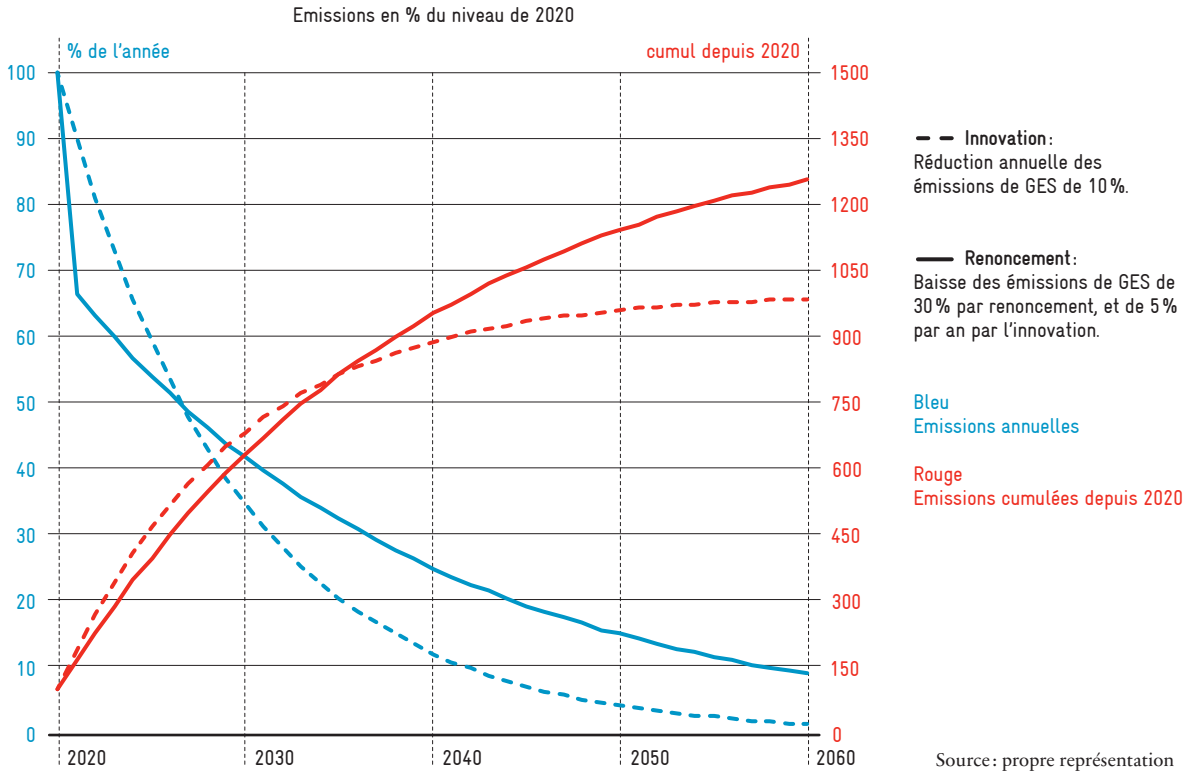
Supposons un scénario misant sur l'innovation et qui réussit à diminuer chaque année les émissions de GES de 10 % par rapport à l'année précédente. [91] Comparons-le avec un scénario de déconsommation dans lequel l'humanité, instantanément et une fois pour toute, s'auto-restreint volontairement et réduit sa consommation de 30 %,

90 Dans lesquels en outre, aussi bien le bénéfice que le coût prennent souvent une forme autre que pécuniaire.

Figure 23

Innovations contre renoncement: avantage innovations

L'illustration compare l'évolution des émissions de GES dans un scénario basé sur un renoncement de consommation et dans un scénario reposant sur les innovations. Dès après l'année 2027, la courbe du scénario d'innovations évolue nettement en dessous de la courbe du renoncement. A partir de 2035, les émissions de GES cumulées (depuis 2020) par la trajectoire d'innovations deviennent inférieures à celles de la trajectoire de renoncement.



Source: propre représentation

sans renoncer pour autant aux résultats des innovations qui lui assurent une baisse annuelle d'émissions de 5 %. Faisons commencer la comparaison début 2021: dès 2027, le scénario d'innovations obtient des émissions plus faibles que le scénario du renoncement. Dans les deux cas, la réduction de moitié des émissions est atteinte en 2027. Le seuil de 25 % du niveau d'émissions initial est atteint en 2034 dans le scénario d'innovations, et en 2041 dans le scénario du renoncement. Un an plus tard, le scénario d'innovations n'est déjà plus qu'à 10 % de la valeur de départ, tandis que le scénario du renoncement doit attendre l'année 2059 pour y arriver. En 2060, les émissions cumulées par le scénario du renoncement seraient de 27 % supérieures à celles cumulées par la trajectoire d'innovations.

La supériorité du scénario d'innovations devrait également être claire même sans calcul mathématique: le renoncement à la consommation parvient certes (dans l'exemple

illustré) à faire chuter immédiatement les émissions de 30 %, mais il en reste aussi à ces 30 %. La diminution a un caractère purement statique. De plus : elle ne dure qu'aussi longtemps que la population continue de se restreindre. Nous devons donc pour ainsi dire accepter ce renoncement pour toute éternité. Dans le scénario d'innovations au contraire, 10 % de diminution s'ajoutent année après année. Très rapidement donc, ce scénario rattrape la valeur du scénario du renoncement (qui progresse à un plus faible taux d'innovation), et il accroît ensuite chaque année son avance– sans imposer aucune auto-restriction.

Cet exemple montre aussi : en aucune manière la gestion de la crise du Covid – qui a été marquée par diverses pénibles auto-restrictions –, n'indique la voie à suivre pour répondre au défi du changement climatique. Nous devons au contraire miser sur la capacité d'innovation de l'humanité – et établir la vérité des coûts de la consommation d'énergie pour mettre en place les incitations nécessaires.

91 Relativement aux seules émissions brutes. Le résultat des technologies d'émissions négatives devrait donc encore être ajouté (ou plutôt précisément soustrait).

3 Politique climatique en pratique

3.1 Politique climatique internationale actuelle

Transposer les connaissances théoriques sur la protection de l'environnement et du climat dans des mesures politiques concrètes à l'échelle mondiale n'est pas une tâche aisée. Il n'existe pas de «gouvernement mondial» (démocratiquement) légitime, qui puisse décider de mesures et imposer leur respect par tous les pays placés sous son autorité. A défaut, les mesures de protection du climat sont essentiellement débattues dans le cadre de divers comités de l'ONU, où elles sont en général adoptées à l'unanimité. Les principaux dispositifs internationaux essayant de résoudre ce problème sont les suivants:

3.1.1 Nations Unies : Convention-cadre et Agenda 2030

Les Nations Unies (ONU) constituent la plus grande confédération d'Etats, avec près de 200 membres ; seuls quelques territoires de petite taille n'en font pas (encore) partie. La Suisse n'a rejoint l'ONU qu'en 2002. La principale structure intergouvernementale et internationale de négociation de l'action à mener à l'échelle mondiale face aux changements climatiques est la **Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques** de 1992 (Uno 1992). [92] 197 pays membres de l'ONU sont parties à la Convention. [93] Celle-ci sert de base à de nombreuses autres résolutions, ainsi qu'à l'un des 17 objectifs de développement durable formulés par l'ONU (Uno 2021b). [94] Ces objectifs visent à assurer un développement durable aux niveaux économique, social et écologique dans le monde. Les Objectifs de développement durable sont également souvent appelés, d'après leur date d'échéance, **Agenda 2030**. [95] [96]

L'objectif n° 13 des **Objectifs de Développement Durable (ODD)** (voir p. 113) est intitulé **«Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques»** et enjoint les Etats à mettre immédiatement en œuvre des mesures pour lutter contre le changement climatique. [97] Il ne s'agit pas seulement d'atténuer cette évolution du climat, mais aus-

92 Dans les documents suisses, la Convention est appelée «Convention-cadre sur les changements climatiques», ou simplement «Convention de Rio» (pour la traduction allemande, *voir Bafu 2019a*).

93 La Suisse a ratifié la Convention-cadre en décembre 1993.

94 Les 17 objectifs se divisent en 107 cibles et 62 cibles dites de mise en œuvre. L'une d'entre elles touche un sujet particulièrement sensible en Suisse, à savoir l'élimination de toutes les formes de subventions aux exportations agricoles. La Suisse a consacré 4,3 milliards de Fr. (2018) de recettes fiscales pour les initiatives d'exportation du secteur agricole *(BLW 2020)*.

95 Les Objectifs de développement durable ne sont pas juridiquement contraignants pour les Etats participants, néanmoins la signature crée pour le moins un engagement moral à poursuivre ces objectifs au plan national et à coopérer au plan international.

96 L'avancée vers les cibles est documentée dans le Rapport mondial sur le développement durable, dont la dernière édition remonte à 2019. Le rapport a livré pour conclusion que la communauté internationale ne se trouvait pas encore en bonne voie *(Uno 2019b)*. Avec la pandémie de Covid-19, il est probable que de nombreux pays fassent marche arrière par rapport à certains progrès qu'ils avaient accomplis.

Encadré 11

La Suisse et l'Agenda 2030 [98]

En établissant la **«Stratégie pour le développement durable 2030»** d'une durée de dix ans, le Conseil fédéral s'est basé sur l'Agenda 2030 de l'ONU. Le projet, dans son état à fin 2020, définit comme prioritaires les thèmes «consommation et production durables», «climat, énergie, biodiversité» et «égalité des chances». Cette Stratégie doit servir de base à la promulgation lors de chaque législature d'un plan d'action précisant les axes stratégiques.

Les objectifs quantitatifs de la priorité Climat recouvrent les ambitions citées dans le cadre de l'Accord de Paris (voir chapitre 3.1.2). Ils sont complétés par des objectifs de minimisation des aléas climatiques et de renforcement de la résilience en vue par exemple de baisser le nombre de sinistres dans les zones urbanisées. (Bundesrat 2020b).

Le rapport sur la mise en œuvre est remis à l'ONU tous les quatre ans, le premier a été présenté en 2018. Parmi les 85 indicateurs choisis, 39 montraient une évolution positive, tandis que 12 ne faisaient apparaitre aucune évolution, 14 ont connu une tendance négative et pour 20 d'entre eux, aucune évaluation n'a été possible. Côté climat, on note une diminution des gaz à effet de serre (baisse de 10,5 % en 2016 par rapport à 1990), cependant l'objectif ODD n° 13 correspondant est noté comme «inchangé » (EDA et Uvek 2018).

si d'améliorer l'éducation et la sensibilisation de la population, ainsi que de renforcer la résilience et les capacités d'adaptation d'un pays face aux aléas climatiques et aux catastrophes naturelles liées au climat. [99] Des rapports réguliers doivent informer de l'état d'avancement des mesures prises nationalement. A cette fin, la méthode qui a été décidée prévoit que les Etats participants fournissent les données sur la base de leurs statistiques existantes. L'agenda a été critiqué pour la corrélation positive qu'il établit entre de nombreux indicateurs et le produit intérieur brut par habitant, autrement dit pour les bases économiques qu'il donne au développement durable. Il existe pourtant une relation empiriquement démontrée entre le PIB par habitant et la qualité de l'environnement, du moins pour certains éléments de celui-ci. [100]

3.1.2 L'Accord de Paris

L'Accord de Paris (UNTC 2021) est entré en vigueur en 2016, après que 55 pays – représentant plus de 55 % des émissions mondiales de CO_2 – aient déposé leurs instruments de ratification. A ce jour, 195 pays ont signé l'Accord et 191 l'ont ratifié (ibid.). Aux termes de l'Accord, l'élévation de la température doit être limitée nettement en dessous de 2 degrés Celsius, la cible étant une hausse maximale de 1,5 degré par rapport aux niveaux préindustriels. Pour la phase de mise en œuvre, toutes les parties à l'Accord devaient

97 D'autres ODD contribuent implicitement à la protection du climat, par ex. l'objectif n° 7 (énergie propre et d'un coût abordable), le n° 9 (industrie, innovation et infrastructure), n° 11 (villes et communautés durables), n° 12 (consommation et production responsables) et n° 15 (vie terrestre).

98 Pour plus d'informations, voir *EDA (2021)*.

99 Concernant la politique d'adaptation de la Suisse, voir chapitre 4.4.

100 D'un point de vue théorique, la relation est souvent illustrée à l'aide de la courbe environnementale de Kuznets (voir chapitre 1.1).

remettre avant 2020 leurs **Contributions déterminées au niveau national** (CDN), c'est-à-dire préciser les mesures de protection du climat qu'elles entendent mettre en place et les communiquer à la communauté internationale (Uno 2021c). Les CDN doivent

Encadré 12

Le protocole de Kyoto

Le protocole de Kyoto a été négocié dans les années 1990 et ratifié par la Suisse en juillet 2003 (Uno 2021d). Il s'agit d'un protocole additionnel à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Plus de 190 pays ont ratifié le protocole ; on note notamment l'absence des Etats-Unis. L'objectif était que les pays industrialisés participants diminuent leurs émissions de gaz à effet de serre en moyenne de 5,2 % entre 2008 et 2012 par rapport à 1990. L'engagement était contraignant et le non-respect des objectifs était sanctionné de lourdes amendes. [102] Les pays émergents et en développement n'étaient pas soumis à des objectifs de réduction.

Les pays industrialisés ont réussi à tenir le cap de réduction fixé, [103] mais les émissions de CO2 ont continué d'augmenter à l'échelle mondiale. Deux facteurs principaux en furent cause : premièrement, la forte croissance des pays émergents et en développement a réduit à néant les réductions d'émission des pays industrialisés ; deuxièmement, il s'est produit un transfert partiel des processus de production à fortes émissions de CO_2 vers les pays émergents et en développement (phénomène surnommé «fuite de carbone»). [104] Pour remédier à cette situation, la deuxième période d'engagement, de 2013 à 2020, prévoyait une obligation de résultats également pour les pays émergents et en développement. Mais la tentative a échoué, car c'est seulement fin 2020 qu'un nombre suffisant de pays a ratifié le protocole, si bien qu'il n'a été en vigueur que pendant un très court laps de temps.

Par rapport à ses objectifs, le protocole de Kyoto a été du moins un succès partiel. Mais les expériences et leçons qu'en a tirées la communauté internationale, et les instruments transnationaux qu'elle a développés pour la protection du climat, sont plus importants encore. Les mécanismes dits de flexibilité, d'application optionnelle, entendaient rendre possible une réduction de GES là où celle-ci était la moins coûteuse à réaliser. Parmi les nouveaux instruments mis en place figurent les quatre suivants :

- Le **mécanisme pour un développement propre** (**MDP**) (en anglais : CDM, Clean Development Mechanism). Il permettait aux pays industrialisés de remplacer des mesures nationales de réduction des émissions par des investissements dans des projets climatiques dans des pays en développement. Ils pouvaient ainsi décompter ces investissements de leurs engagements.
- L'**application conjointe** (**AC**), (en anglais : JI, Joint Implementation). Par cet instrument, les pays industrialisés avaient la possibilité de financer des réductions d´émissions dans d'autres pays industrialisés et de déduire ces financements de leurs engagements de réduction.
- Les **échanges de droits d'émission** (en anglais : Emissions Trading). Il s'agissait d'échanges entre Etats, tandis que le Système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne (SEQE-UE) concerne des échanges entre entreprises.
- Le **partage des charges** (Burden Sharing). Avec ce dispositif, plusieurs Etats industriels peuvent satisfaire à leurs obligations conjointement. Cet instrument a été avant tout créé pour l'UE qui, en tant que Confédération d'Etats, poursuivait un objectif fixé et coordonnait l'action des Etats membres, de sorte que des cibles nationales différentes contribuaient à l'engagement de l'UE dans son ensemble.

L'Accord de Paris s'est substitué au protocole de Kyoto. Sa réussite à rassembler presque tous les pays dans un Accord est également le fruit des apprentissages faits avec le protocole de Kyoto.

être révisées tous les cinq ans. Une fois leurs CDN présentées, les Parties à l'Accord doivent commencer à mettre en œuvre les mesures qu'elles ont décrites, cependant elles ne sont pas soumises à l'égard du droit international à une obligation contraignante [101] de réaliser les objectifs nationaux ainsi déclarés et souvent quantifiés. La grande variété des CDN rend difficile l'agrégation des objectifs de réductions de GES pour estimer l'efficacité collective des mesures de protection du climat.

Néanmoins le secrétariat des Nations unies pour le changement climatique s'efforce d'effectuer le suivi de l'ensemble. Les Etats parties à l'Accord devaient présenter leurs CDN (en partie révisées) avant la fin de 2020. Seuls 75 pays les ont remises à cette date : ils représentent 30 % des émissions de GES totales. Avec les objectifs de réduction communiqués par les 75 pays, les émissions mondiales de GES baisseraient d'ici 2030 de seulement 0,5 % par rapport à 2010. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a calculé que pour respecter l'objectif de 1,5 degré, il serait nécessaire de parvenir à une baisse des émissions de 45 % par rapport à 2010 ; et pour respecter l'objectif de 2 degrés, la baisse devrait être de 25 % (UNFCCC 2021). Il manque cependant encore les CDN de nombreux grands pays émetteurs pour pouvoir faire un bilan. Autre grande question à venir : les annonces des objectifs des CDN seront-elles suivies d'effets ? Car le manque de caractère contraignant des objectifs de réduction est l'une des principales cibles des critiques visant l'Accord de Paris ; ce choix découle cependant d'une des leçons tirées du **protocole de Kyoto** (voir encadré 12).

Opportunités et risques de l'absence d'engagement contraignant

Avec des objectifs de réduction contraignants sous le droit international, des pays comme les Etats-Unis – qui sont tout de même le deuxième plus gros émetteur – n'auraient pas rejoint l'Accord. Mais de nombreux pays en développement s'opposaient également à rendre les objectifs plus contraignants. Alors que le protocole de Kyoto se concentrait surtout sur les pays industrialisés, l'Accord de Paris s'est voulu un dispositif contractuel mondial. Se référant à la «dette historique» des pays développés (voir figure 2b) [105], d'importants émetteurs comme la Chine ou l'Inde n'étaient pas disposés à participer à l'Accord en cas d'engagement contraignant sur les objectifs. Grâce à l'instru-

101 L'Accord distingue les engagements («commitments») qui sont contraignants, et les contributions («contributions») volontaires.

102 Le Canada a ratifié le protocole en 2002, il en est sorti officiellement en 2011, après que le gouvernement a déclaré, en 2006 déjà, ne plus s'estimer tenu au respect des objectifs. Le retrait du protocole en 2011, peu avant la fin de la période d'engagement, a été décidé afin d'échapper à d'éventuelles amendes à hauteur de plus de 10 milliards de dollars *(Die Welt 2011)*.

103 En 2012, la Suisse émettait 92 % de ses émissions de gaz à effet de serre de l'année de base 1990, en partie au moyen d'achats de droits d'émissions *(Bafu 2018a; UNO 2020)*.

104 Pour une présentation générale et des exemples des divers types de fuites de carbone, voir *Umweltbundesamt (2020b)*.

105 De nombreux pays en développement partagent le point de vue que la protection climatique est une responsabilité mondiale et commune, mais que les pays développés doivent fournir une contribution plus importante. Il est ignoré qu'aujourd'hui, il existe des technologies qui émettent beaucoup moins de CO_2 qu'autrefois, et qu'en outre de nombreux pays en développement font maintenant eux-mêmes partie des plus gros émetteurs de gaz à effet de serre. En 2030, il est prévu que les pays en développement seront responsables de trois quarts des émissions de GES *(BMU 2017)*.

Encadré 13

La Suisse et l'Accord de Paris

La Suisse a déposé son instrument de ratification pour la participation à l'Accord de Paris en octobre 2017, et a présenté peu après sa première CDN (Uno 2017), qu'elle a mise à jour à la fin de 2020 (Uno 2020). Ce document mentionne les points suivants:

- la loi sur le CO_2 – qui sous réserve du résultat de la votation sur le référendum saisi à ce sujet, le 13 juin 2021 – doit entrer en vigueur dès 2022,
- l'objectif de réduction des émissions affectant le climat, *d'au moins* 50% d'ici 2030 par rapport au niveau de 1990 (première version de la CDN: moins 50%),
- l'objectif zéro net (voir encadré 2) d'ici 2050 (dans la version précédente: diminution de 70% à 85% par rapport à 1990),
- l'obligation de réaliser au moins 75% de l'objectif de réduction en Suisse même (version précédente: 60%), et
- la compensation du CO_2 «gris» importé, au moyen de réductions supplémentaires d'émissions à l'étranger, lesquelles ne sont pas comptabilisées dans l'objectif de réduction suisse.

Il est probable qu'avec le récent renforcement de ses objectifs climatiques, la Suisse se range parmi les rares pays dont les CDN sont encore compatibles avec l'Accord de Paris.

ment des CDN, il a été possible de gagner la participation de presque tous les pays du monde, tandis que la communication des différents CDN renforçait la confiance entre les Etats parties à l'Accord, et stimulait les ambitions nationales de chaque pays.

Le non-respect des CDN n'entraîne pas de sanctions directes, mais il susciterait des réactions négatives des autres pays, des marchés financiers et des habitants – du moins tel était l'espoir de l'ONU (Uno 2021e). Il est vrai que de nombreux pays ont critiqué les Etats-Unis de l'administration Trump pour leur sortie de l'Accord de Paris, mais ce retrait momentané n'a pas eu d'importantes conséquences économiques ou juridiques. [106] Les Etats-Unis représentent un marché trop précieux pour de nombreuses entreprises et ils ont un trop grand poids géopolitique.

3.1.3 Le Pacte vert européen

Le Pacte vert pour l'Europe a été publié en décembre 2019 par la Commission européenne. Il reprend les engagements de l'UE au niveau international, et notamment la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, la mise en œuvre de l'Agenda 2030, ainsi que l'Accord de Paris. Le Pacte vert est décrit comme une «nouvelle stratégie de croissance», qui «vise à transformer l'UE en une société juste et prospère, dotée d'une économie moderne, efficace dans l'utilisation des ressources et compétitive» (Europäische Kommission 2019). L'ancrage légal du pacte vert est concrétisé par la **loi européenne sur le climat** (Europäische Kommission 2020a). [107] Les deux objectifs de réduction les plus importants sont:

106 D'un point de vue légal, les Etats-Unis – en raison du délai de retrait ou d'acceptation – n'était plus partie à l'Accord de Paris seulement de novembre 2020 à février 2021 *(Uno 2021)*.

- la réduction des émissions de GES d'au moins 55 % d'ici 2030 par rapport au niveau de 1990. L'UE est ainsi 5 % plus ambitieuse que la Suisse. [108]
- la réalisation du zéro net d'ici 2050.

Trois catégories d'émissions de gaz à effet de serre

Pour la mise en œuvre des objectifs, les émissions de GES sont divisées en trois catégories :

Premièrement, les installations à forte consommation d'énergie, principalement celles de la production d'électricité et de l'industrie, dont les émissions sont soumises au **Système d'échange de quotas d'émission** (**SEQE**) d'application européenne (voir chapitre 3.1.4). Cette catégorie couvre environ 40 % des émissions.

Deuxièmement, les émissions de GES (un peu moins de 60 % de toutes les émissions) dont la réduction dépend des mesures nationales prises par les Etats membres eux-mêmes. Cette catégorie se base sur le **Règlement sur la répartition de l'effort** (Effort Sharing Regulation) (Europäisches Parlament et Rat 2018). Ce règlement fixe aux Etats membres des objectifs nationaux contraignants de réduction des GES [109] dans les secteurs du transport [110], de la construction, de l'agriculture et de la gestion des déchets. Il s'est appliqué pour la première fois à la période 2013–2020. Il couvre actuellement la période 2021–2030 : d'ici la fin de la décennie, les émissions de toute l'UE dans les secteurs mentionnés devront baisser de 30 % par rapport au niveau de 2005. L'objectif de réduction de chaque Etat membre est compris dans une fourchette de 0 % à 40 %, en fonction de sa prospérité relative, mesurée en termes de produit intérieur brut (PIB) par habitant (Europäische Kommission 2021a).

Troisièmement, les dispositions sont complétées par le **règlement UTCATF** (Europäische Kommission 2021b), paru en 2018 et qui règlemente la diminution d'émissions de GES dans le secteur de **l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie** (**UTCATF**) (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF). Chaque Etat membre de l'UE a l'obligation de compenser entièrement ses émissions

107 Il n'y est pas seulement question de la baisse des émissions de GES, mais également du nécessaire renforcement de la résilience de l'UE contre les conséquences du changement climatique.

108 Dans l'UE-28, la part du charbon et du pétrole dans la production d'électricité est de 23 %, et même de 51 % en incluant le gaz *(World Energy Council et Weltenergierat Deutschland 2018)* – il est possible de réduire encore les émissions de GES. Ainsi, il est prévu que l'utilisation du charbon pour la production d'électricité recule de 70 % d'ici 2030 par rapport à son niveau de 2015, et l'électricité produite par des sources d'énergie renouvelable doit prendre une part de 60 % du mix énergétique d'ici 2030 *(Europäische Kommission 2020b)*. En Suisse, la part du charbon, du pétrole et de gaz pour la production d'électricité est quasiment nulle. La Suisse est aussi le pays, parmi 108 autres, qui résout actuellement le mieux le trilemme énergétique (environnement durable, sécurité énergétique, équité/accessibilité du coût) *(World Energy Council 2020)*.

109 Le règlement couvre six GES : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O), les hydrocarbures fluorés (HFC), les hydrocarbures perfluorés (PFC), l'hexafluorure de soufre (SF_6) et le trifluorure d'azote (NF_3).

110 Cette catégorie concerne entre autres les constructeurs de véhicules qui doivent respecter des valeurs limites de CO_2 plus sévères sur leur flotte totale. En cas de non-respect, ils doivent payer une amende ou acheter des certificats aux concurrents dont la gamme génère des émissions inférieures à la valeur seuil. Par la vente de tels certificats, Tesla a généré en 2020 plus d'un milliard de dollars *(Watson 2020)*.

d'ici 2030. A cette fin, les mesures visant les activités UTCATF doivent capter dans l'atmosphère autant de GES que ces activités en émettent. Cette obligation est désignée comme la «règle du bilan neutre ou positif» (règle du «no debit»). Chaque Etat doit mettre en place des incitations pour une utilisation des terres respectueuse du climat. Des règles de flexibilité doivent accroître l'efficience du dispositif: ainsi des émissions négatives des secteurs UTCATF d'un Etat membre peuvent être vendues à un autre Etat membre afin d'équilibrer les émissions nettes du secteur UTCATF.

Plans nationaux en matière d'énergie et de climat, et transfert de fonds communautaires

Sur la base des objectifs européens, chaque Etat membre établit un **plan national intégré en matière d'énergie et de climat** (**PNEC**). Le premier plan devait être remis à la fin de l'année 2019 et sa mise en application a commencé en 2021. [111] Ces plans sont les instruments centraux de planification et de suivi de l'UE et de ses Etats membres; l'état d'avancement des PNEC est examiné tous les cinq ans par la Commission européenne. «Les PNEC sont à la fois un outil politique et un programme d'investissement qui fournissent un cadre prospectif aux entreprises et aux investisseurs» (Europäische Kommission 2020b: p. 2). En effet, en plus des mesures étatiques, les secteurs économiques doivent également orienter leurs opérations sur les objectifs à long terme et contribuer ainsi à leur mise en œuvre. Combinés, le SEQE-UE, le règlement sur la répartition de l'effort et le règlement UTCATF donnent à l'UE les moyens d'atteindre ses objectifs climatiques pour 2030 et pour 2050 (Europäische Kommission 2021a).

Le financement de la transition verte de l'UE doit être assuré par le «Plan d'investissement pour une Europe durable» (**plan d'investissement du pacte vert pour l'Europe**) (Europäische Kommission 2020c). Celui-ci prévoit au moins un billion d'euros de dépenses cumulées jusqu'à 2030. Les moyens provenant du budget communautaire s'élèvent à 503 milliards d'euros; environ 25 % du budget à long terme de l'UE (2021–2027) doit contribuer à l'action pour le climat et aux dépenses consacrées à l'environnement dans le cadre des projets existants. S'ajoutent des cofinancements nationaux de 114 milliards d'euros et de 279 milliards d'euros dans le cadre du programme **InvestEU**. Ces derniers sont des investissements privés et publics liés au climat et à l'environnement; les projets sont cautionnés en partie par une garantie du budget de l'UE. La part d'«argent frais» est relativement faible, de nombreuses positions budgétaires étant également imputées dans les objectifs du pacte vert ou sont complétées par des investissements tiers.

111 La réduction des GES est seulement l'une des cinq dimensions de ces plans. En font partie également: la sécurité de l'approvisionnement en énergie, le marché intérieur de l'énergie, l'efficacité énergétique, ainsi que la recherche, l'innovation et la compétitivité *(Europäischer Rat et Rat der EU 2020)*.

Mesures de soutien du pacte vert et d'atténuation de ses effets

En soutien à ce plan, il est prévu d'adapter les conditions-cadre afin de rendre plus attractifs les investissements verts – et expressément également ceux du secteur financier. Sont également mobilisés 25 milliards d'euros du **fonds pour l'innovation et du fonds pour la modernisation** qui sont abondés en partie par les enchères des quotas de CO_2 dans le système d'échange des quotas d'émission de l'UE.

Pour atténuer les conséquences socio-économiques du Pacte vert, l'UE met à disposition dans le cadre du **«mécanisme pour une transition juste»** (Just Transition Mechanism) d'autres aides financières et techniques. Jusqu'à 2030, 143 milliards de dollars sont prévus pour les régions, branches et travailleurs les plus touchés (Europäische Kommission 2020c, 2021c). A elle seule par exemple, l'industrie du charbon emploie environ 250 000 personnes dans l'UE, essentiellement en Europe de l'Est (The Economist 2019). Pour les régions structurellement moins développées et qui seront particulièrement affectées, il existe cependant déjà aujourd'hui une variété de programmes de soutien. Il n'est pas donc pas surprenant qu'il soit prévu de «relabéliser» en projet vert nombre d'entre eux. Le pays qui en profiterait le plus devrait être la Pologne, bien qu'elle ne soit que le troisième émetteur de GES (après l'Allemagne et l'Italie) (NZZ 2020a).

Conclusion

Dans l'ensemble, les objectifs climatiques de l'UE apparaissent ambitieux, mais l'ensemble d'instruments mis en place semble également complexe et d'une grande hétérogénéité en raison des différentes juridictions compétentes (UE et pays membres). Les potentiels d'efficience, résultant d'un grand espace économique entre pays mais aussi entres secteurs, sont ainsi insuffisamment exploités, ce qui augmente les coûts totaux. Une approche homogène à l'échelle européenne serait préférable, avec un mécanisme de prix internalisant les émissions de GES au lieu de relabéliser de nombreux fonds existants. Dans cette approche homogène, les acteurs locaux devraient être laissés libres de choisir comment – par exemple avec quelle technologie – ils atteignent les objectifs. Le mécanisme du SEQE-UE déjà existant peut fournir à cette fin une bonne base de départ. [112]

3.1.4 Le système d'échange de quotas d'émission de l'UE

Le système d'échange de quotas d'émission de l'UE (SEQE-UE) est une pièce maîtresse de la politique climatique de l'Union européenne. Promulgué en 2003, entré en vigueur en 2005, il est le premier mécanisme de ce type mis en place dans le monde et il en demeure le plus important. [113] Il inclut non seulement les 27 Etats membres de

112 Le Pacte vert européen ne devrait pas avoir de conséquences directes et immédiates pour la Suisse. Mais la Suisse n'est pas explicitement mentionnée parmi les possibles partenaires de coopération *(Europäische Kommission 2021d)*. Les effets tiers à long terme pour la Suisse ne doivent donc pas être sous-estimés.

113 Son modèle a été le système d'échange utilisé avec succès aux Etats-Unis depuis 1995 pour réduire les pluies acides *(EPA 2017)*.

l'UE, mais également les trois Etats de l'EEE (Norvège, Islande et Liechtenstein), ainsi que la Suisse depuis 2020 après signature de l'accord correspondant. [114] Le Royaume-Uni exploite depuis 2021 son propre système qui n'est pas relié au SEQE-UE.

Près de 11 000 acteurs participent au SEQE-UE, il s'agit d'installations grandes consommatrices d'énergie, principalement des centrales électriques et des industries (notamment du ciment, de l'acier et les raffineries), ainsi qu'environ 600 compagnies aériennes pour les liaisons internes à l'EEE. [115] Environ 40 % des émissions de GES de l'UE sont couvertes par le SEQE (Europäische Kommission 2020d). [116] Concernant la réduction des autres émissions de GES de l'UE, on peut se référer au chapitre 3.1.3.

Le principe du mécanisme du SEQE-UE est simple : chaque entreprise participante doit détenir pour l'émission d'une tonne d'éq.CO_2 un quota de l'Union Européenne, appelé **«European Union Allowance»** (**EUA**). [117] Le nombre total d'EUA est limité par un **plafond d'émissions** (**Cap**). Afin de rester en accord avec les objectifs climatiques de 2030 et de 2050, ce plafond est abaissé au fil du temps, de sorte que les émissions totales diminuent. Sur la période 2013–2020, le plafond a été abaissé linéairement de 1,74 % chaque année [118]; pour l'année 2013, le plafond a été fixé en fonction des quotas émis annuellement entre 2008 et 2012. Le volume des émissions de 2010 a servi de point de départ pour la première application du facteur de réduction annuelle. Pour tenir compte des objectifs climatiques renforcés de l'UE, à compter de 2021 le taux de réduction annuelle des quotas est passé à 2,2 % (DEHSt 2021; Europäische Kommission 2021f : 2021g).

Si les entreprises ont besoin de davantage ou de moins d'EUA pour couvrir leurs émissions de GES, elles peuvent participer à des échanges (**trade**), d'où le nom usuel de système «cap and trade». La plateforme d'échanges est l'**European Energy Exchange** (**EEX**), basée à Leipzig [119]; celle-ci offre également un marché spot et un marché à terme pour les EUA déjà en circulation. Les acheteurs et les vendeurs sont non seulement des entreprises mais également des banques et des investisseurs.

114 Le couplage du SEQE-UE et du SEQE suisse entraîne à partir de janvier 2020 la reconnaissance mutuelle, lors de leur restitution, des quotas d'émission émis par l'UE et de ceux émis par la Suisse. Le système suisse reste séparé du SEQE-UE, mais son champ d'application est similaire à celui du SEQE-UE – y compris dans le secteur de l'aviation *(Europäische Kommission 2021e)*. Pour plus de détails sur le fonctionnement du SEQE suisse, voir *(Bafu 2020b)*. Quelque 50 émetteurs stationnaires (env. 10 % des émissions de GES de la Suisse), ainsi que l'aviation, prennent part au système. La base légale est donnée par la loi sur le CO_2.

115 Au niveau mondial, l'Organisation de l'aviation civile internationale dirige les efforts de la branche en faveur du climat. Le système, dénommé Corsia (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, c'est-à-dire : régime de compensation et de réduction de carbone pour l'aviation internationale), vise à assurer une croissance du trafic aérien neutre en carbone. Les années de base sont 2019/2020. Un excédent d'émissions par rapport aux années de base sera compensé pour la première fois en 2021 *(ICAO 2021)*.

116 La participation au SEQE-UE est obligatoire pour les émetteurs fixes (installations stationnaires), à partir en principe d'une valeur seuil de 25 000 tonnes d'éq.CO_2 par an.

117 Un EUA ou quota est assimilé du point de vue du droit de l'UE à un instrument financier ; ainsi le SEQE-UE est soumis au droit des marchés financiers, et les acteurs à l'autorité de surveillance. Le but est d'empêcher autant que possible les manipulations. La Suisse ne connaît pas de disposition équivalente, il est urgent qu'elle y apporte une solution légale *(NZZ 2020b)*.

118 Cela correspond à une baisse annuelle de plus de 38 millions de tonnes d'éq.CO_2 (*Europäische Kommission 2021f*).

119 La deuxième plateforme d'échange était jusqu'à fin 2020 la bourse à terme de Londres ICE Futures Europe, qui cependant n'était utilisée que par le Royaume-Uni. Il est vraisemblable que l'ICE continue de jouer un rôle dans le système d'échange britannique à présent autonome.

Imputation de quotas de pays tiers

Jusqu'à fin 2020, les entreprises pouvaient également satisfaire leurs obligations en restituant des quotas internationaux issus du mécanisme pour un développement propre (MDP) et du mécanisme de l'action conjointe (AC) (voir encadré 12), [120] sous réserve du respect de conditions qualitatives et quantitatives. A compter de 2021, les quotas internationaux ne sont plus autorisés (Europäische Kommission 2020e). Deux raisons principales ont conduit à cet abandon :

Premièrement, les conditions qualitatives ne fonctionnaient qu'imparfaitement. Dans la première période d'engagement du protocole de Kyoto, de nombreux certificats «bidons» [121] ont été utilisés à titre de prestation de réduction. La Russie en particulier aurait fait usage durant les négociations de sa position pour obtenir le plus de certificats possible – en se basant sur des émissions qui avaient déjà disparu avec la dislocation de l'Union soviétique. Le calcul était le suivant : vendre ensuite ces quotas obtenus en excédent aux pays de l'Occident. Presque deux tiers des droits de pollution correspondant se sont retrouvés dans le SEQE-UE (Spiegel 2015). Pour des raisons politiques et en vue de la signature du protocole de Kyoto par la Russie, on a accepté de jouer ce jeu de dupe (ZDF 2020).

Deuxièmement, le marché de ce qu'on appelle les **unités de réduction certifiée des émissions** (**URCE**) (Certified Emission Reductions, CER), émises dans le cadre du mécanisme pour un développement propre, s'est proprement effondré. Le prix d'une URCE a atteint son point maximal au milieu de l'année 2008, avec une valeur de plus de 22 $; il est tombé sous les 40 centimes fin 2013, et depuis le prix ne décolle pas de son niveau proche de zéro (Quandl 2021). L'offre de quotas résultant des réductions d'émissions dans les pays en développement a été de plusieurs multiples plus élevée que la demande. Car d'importants émetteurs (comme les Etats-Unis) n'avaient pas signé le protocole de Kyoto ou qu'ils étaient dispensés de l'obligation de réduire leurs émissions en raison de leur niveau de développement (comme la Chine et l'Inde). Ainsi les entreprises du SEQE-UE restaient presque seules du côté de la demande. Mais suite à la crise économique et à la crise de l'euro, les émissions ont reculé en Europe, sans compter que les entreprises recevaient de généreuses dotations de quotas gratuits (Economist 2012 ; voir section suivante). Les URCE furent ainsi victimes de manœuvres politiques et de la récession économique. Cet échec donna du poids aux arguments de ceux qui s'étaient toujours opposés aux quotas étrangers.

Fondamentalement les compensations à l'étranger sont un mécanisme bienvenu – pour autant qu'elles reposent sur de véritables réductions. En effet, elles permettent de baisser les émissions là où elles peuvent être supprimées à moindre coût. C'est peut-

120 Le MDP et l'AC sont des projets internationaux de protection climatique dans lesquels les participants reçoivent des quotas en échange de leurs actions de réductions apportées par ce projet.

121 Des quotas qui ne donnaient lieu à aucune réduction directe des émissions de GES, car par ex. la base de calcul avait été prise sur le niveau d'émission plus élevé d'une période plus ancienne.

être précisément parce que le coût est le critère déterminant qui fait leur intérêt («on ne va tout de même pas regarder le coût quand il s'agit de sauver le climat»), que les compensations étrangères prévues par le protocole de Kyoto ont obtenu leur mauvaise réputation, dont elles ne sont pas débarrassées dans les milieux de la protection climatique. Cependant, les défauts mentionnés ci-dessus sont à présent connus et on a pu chercher à les éliminer par un mécanisme plus strict dans le cadre de l'Accord de Paris (voir chapitre 4.1.3). Si cette approche multilatérale est couronnée de succès, il serait économiquement efficient d'autoriser à nouveau les compensations réalisées à l'étranger.

Allocation ou mise aux enchères des quotas

À compter de 2021, outre la bourse d'échange des émissions EEX, les émetteurs participants au SEQE-UE ne peuvent plus devenir titulaires d'un quota que par deux autres moyens : premièrement, l'**allocation gratuite**. Initialement (2005–2012), l'allocation des quotas se basait sur l'historique des quantités d'émissions (ce qu'on appelle la protection des droits acquis ou **«grandfathering»**, voir chapitre 2.2.3). Ce principe d'allocation favorise les installations anciennes et inefficientes. Les installations récentes et plus efficientes recevaient moins de quotas, ce qui faussait les incitations attendues. C'est pourquoi aujourd'hui (depuis 2013), l'allocation à titre gratuit repose sur des critères d'efficience (DEHSt 2015), le référentiel se basant sur la meilleure technologie disponible («best available technology») pour chaque catégorie d'installations. Dans un secteur donné, seules les entreprises les plus efficientes (selon le **référentiel**, appelé aussi «**benchmarking»**) [122] reçoivent suffisamment de quotas gratuits pour couvrir la totalité de leurs besoins (Europäische Kommission 2021g). Cependant, même pour les installations les plus efficientes, cette couverture à 100 % revêt le plus souvent un caractère purement théorique, car plus les objectifs de 2030 et 2050 s'approchent, plus le degré de couverture se réduit. Alors qu'il se montait encore à 80 % en 2013 pour les industries manufacturières, il a baissé graduellement pour tomber à 30 % en 2020 (Europäische Kommission 2021h). [123] D'ici 2030, il est prévu que l'allocation gratuite disparaisse entièrement – du moins pour une part de secteurs pour lesquels le risque d'un transfert dans un pays tiers est moins important (Europäische Kommission 2020f).

L'allocation gratuite de quotas visait à prévenir le risque que des entreprises ne transfèrent des émissions de CO_2 vers des Etats tiers où les règles sont moins strictes ou les coûts d'émissions de CO_2 moins élevés (phénomène surnommé **«carbon leakage»**, c'est-à-dire «fuite de carbone»). Le risque est évalué non sur la base de chaque entreprise, mais sur celui des différents secteurs. Le risque d'un transfert est classé comme

122 Le droit au quota se calcule de la façon suivante : quantité produite (en tonnes de produit) multipliée par la valeur donnée par le référentiel pour le produit concerné (mesurée en éq.CO_2 d'émissions par tonne de produit).

123 Un nombre considérable de droits d'émission gratuits sont gardés en réserve pour des installations nouvelles et en extension. Ces réserves sont constituées de quotas restés en excédent de la procédure d'allocation gratuite, ainsi que de droits de la réserve de stabilité du marché (RSM).

considérable si la somme des coûts supplémentaires directs et indirects atteint au moins 5 % et l'intensité des échanges avec les Etats tiers (importations et exportations) représente au moins 10 % de la valeur ajoutée brute. Une autre règle alternative peut s'appliquer, selon laquelle un secteur bénéficie d'une allocation gratuite si la somme des coûts supplémentaires directs et indirects atteint au moins 30 % ou l'intensité des échanges avec les Etats tiers dépasse 30 %. Le résultat est consigné dans une liste officielle : on y trouve par exemple non seulement des entreprises d'exploitation minière, mais aussi des fabricants de montres (Europäische Kommission 2014).

L'allocation de quotas à des émetteurs sans contre-prestation fait l'objet de critiques depuis la création du SEQE-UE. Ce sont précisément les plus gros «pollueurs» qui obtiennent gratuitement des droits de continuer à rejeter des GES dans l'atmosphère. On peut déplorer que cela affaiblit l'efficience d'un SEQE parce que les coûts moyens des émissions diminuent. L'exemple illustre bien le conflit entre l'optimum théorique (aucune allocation gratuite) et le résultat réel qui s'obtient dans un système plurilatéral. Car si un SEQE était construit de façon multilatérale, le risque de «fuite de carbone» disparaîtrait (voir chapitre 4.1.3). [124] Le «grandfathering» et le «benchmarking» sont donc en définitive, dans un système plurilatéral, des moyens de politique industrielle destinés à sauvegarder sur un territoire des postes de travail contre des risques de délocalisations. Ils sauvegardent également par la même occasion l'acceptance du mécanisme du SEQE dans la réalité politique.

La deuxième voie d'obtention d'un quota est l'**enchère**. Elle est entretemps devenue la procédure standard et sur la période d'échange 2013–2020, elle a été utilisée pour 57 % des quotas obtenus. La plateforme d'enchères est celle de l'EEX. En 2019, les recettes provenant des EUA mis aux enchères se sont élevées à plus de 14 milliards d'euros, dont 90 % sont allées aux Etats membres du SEQE-UE, sur la base de leur part dans les émissions totales attestées. Une part supplémentaire de 10 % va aux pays moins prospères. L'emploi de ces recettes n'est pas libre : les Etats membres doivent en investir au moins la moitié dans des mesures de protection climatique et d'efficience énergétique. En 2019, les Etats membres ont même affecté 77 % de ces recettes à de telles finalités (Europäische Kommission 2020g). En imposant des finalités d'emploi, on s'expose fortement au danger que des groupes d'intérêt nationaux canalisent les flux financiers vers des projets aux motivations de politique industrielle. Cela contredit non seulement le principe de neutralité technologique, mais cela diminue souvent également l'efficacité et l'efficience de la réduction des GES – en particulier si les subventions sont distribuées dans l'optique de créer des incitations de comportement plus respectueux du climat (voir p. 92).

124 L'approche multilatérale signifie que plusieurs Etats, posés égaux par principe, coopèrent pour résoudre ensemble un problème. On entend souvent par multilatéralisme une majorité de tous les pays mondiaux. Par plurilatérale, on entend au contraire la participation de seulement quelques pays ; lorsque deux pays seuls participent, l'accord est bilatéral.

Evolution des prix des droits d'émission

Au démarrage du SEQE-UE, les prix des EUA étaient bas. Le cours est resté longtemps sous les 20 euros et glissa même un certain temps sous la barre des dix euros. Il ne s'est rétabli qu'à partir de février 2018. Plusieurs facteurs peuvent expliquer la phase de prix bas :

- Les plafonds annuels du SEQE-UE, en particulier dans la phase initiale, étaient trop élevés, d'une part en raison de la pression politique des émetteurs, d'autre part parce que ces derniers suivaient dans une certaine mesure une stratégie : il était avantageux d'avoir un niveau élevé d'émissions à la date de référence car ce niveau servirait d'étalon pour les éventuelles allocations gratuites.
- Initialement (2005–2007), le transfert de droits excédentaires dans la période d'échanges suivante n'était pas possible («no banking»), si bien que vers la fin de chaque période, de nombreux quotas non utilisés arrivaient sur le marché.
- Le recul de la production et des émissions à la suite de la crise financière mondiale et de la période de turbulence que traversa l'euro a conduit à une suroffre de quotas, ce qui exerça une pression à la baisse sur les prix.
- En raison d'une intense utilisation internationale des crédits de projets, une grande quantité de droits d'émissions excédentaires s'est accumulée depuis 2008 dans le SEQE-UE. [125]

Plus le quota est haut coté à la Bourse d'échanges, plus forte l'incitation d'économiser des émissions. A un prix inférieur à 10 € par EUA, les investissements dans des technologies de réductions de GES ne sont probablement plus rentables. Néanmoins, même en cas de prix plancher, il convient de ne pas oublier : le plafond du SEQE subsiste. Personne n'obtient donc carte blanche pour rejeter autant de GES que souhaité. Aujourd'hui, le cours pour l'émission d'une tonne de CO_2 se situe généralement au-dessus de 25 € ; avant mars 2021, il a même franchi un record historique de plus de 40 € (voir figure 24). Cela est notamment lié à l'annonce de l'UE qu'elle relevait ses objectifs climatiques pour 2030 ; en outre, le début de l'année 2021 a vu une re-sollicitation momentanée de centrales à charbon pour alimenter le réseau et compenser des interruptions de centrales nucléaires, ainsi que la hausse saisonnière du besoin d'électricité suite à une vague de froid.

Le SEQE-UE a déjà été soumis à trois réformes d'importance, connues sous le nom de «phases». [126] Celles-ci prennent en compte les expériences faites ainsi que les adaptations nécessaires pour respecter les objectifs climatiques. Dans un souci de transparence, les modifications sont annoncées des mois voire des années à l'avance, afin de permettre aux participants au marché de s'y préparer. Une des pièces maîtresses jusqu'ici a été l'introduction de la **réserve de stabilité de marché** (**RSM**) («Market Stability Reserve», MSR), un mécanisme destiné à lisser l'évolution des prix. Certaines quantités de quotas excédentaires, définies par des valeurs seuils, sont placées dans la RSM ;

Figure 24

Evolution du prix d'une tonne de CO_2 dans le SEQE-UE

Ces dernières années, le prix du CO_2 a fortement augmenté et a atteint de nouveaux sommets historiques. Malgré la pandémie de Covid-19, et la récession économique, le prix reste élevé, et avec lui l'incitation à économiser le CO_2.

Source : Quandl (2021 ; ECX EUA Futures, Continuous Contract #1 (C1) (Front Month)

si de trop fortes hausses de prix persistent pendant des mois, des quotas supplémentaires issus de la RSM sont débloqués et remis aux enchères. A partir de 2019, la quantité des quotas mis en retrait dans la RSM a été augmentée et portée à 24 % des droits d'émission en circulation, mais à partir de 2024, il est prévu que le taux de retrait usuel de 12 % soit rétabli.

Effets des plafonnements élevés et de la transition énergétique

Depuis la date de lancement du système d'échange en 2005, les émissions des participants au SEQE-UE ont été réduites de 35 % au terme de l'année 2019 (EEA 2020), et l'objectif d'émissions visé par l'UE pour 2020 a déjà été atteint en 2014 (Bloomberg 2021).

Une des explications est que durant les deux premières phases, le plafond avait vraisemblablement été fixé trop haut, si bien que de nombreuses entreprises disposaient

125 Entre 2008 et 2012, plus d'1 milliard de quotas ont été importés dans le SEQE-UE, complétés entre 2014 et 2016 par 410 millions d'autres. La majeure partie provenaient de Chine, d'Ukraine et de Russie *(Schmitt 2017)*.

126 La phase 1 (2005–2007) est dénommée phase pilote, et a servi à accumuler les premières expériences. La phase 2 (2008–2012) coïncide avec la première période du protocole de Kyoto et a baissé notamment le plafond et le nombre des quotas alloués gratuitement. La phase 3 (2013–2020) réduisit encore davantage les allocations gratuites et institua les enchères comme procédure standard. En 2015 a été en outre introduite la RSM. Le système se trouve actuellement dans sa phase 4 (2021–2030 ; *Europäische Kommission 2020d*). Pour plus d'informations sur le développement du SEQE-UE, voir *(Europäische Kommission 2020g)*.

d'un matelas suffisant de quotas d'émissions et n'étaient pas poussées à l'action pour les réduire. Même si le plafond avait été correctement évalué dans chaque phase (par rapport aux émissions réelles), on aurait pu – vu la faiblesse des prix qui en résultent pour l'évitement d'une tonne d'éq.CO_2 – se montrer plus ambitieux. Car dans la théorie économique, l'optimum est atteint là où les coûts marginaux d'évitement de l'émetteur correspondent aux coûts marginaux sociaux (ou sociétaux), à savoir les répercussions du changement climatique (voir chapitre 2.2.1). Dans la réalité politique, les objectifs de réduction n'ont été fixés que parce que les coûts marginaux sociaux ne sont pas connus ; les données solides manquent pour cela (voir la discussion dans le chapitre 2.2.2). Il est néanmoins évident que les coûts marginaux sociaux ont toute chance d'être plus élevés que dix euros par EUA, et par conséquent les coûts marginaux d'évitement devraient sans doute également être réhaussés pour rester dans une marge optimale d'un point de vue social et intertemporel.

Un autre angle d'explication est qu'en fixant les plafonds du SEQE-UE, l'effet des programmes nationaux de soutien aux énergies renouvelables n'a pas été suffisamment pris en compte. Car ces programmes toujours en cours abaissent le coût des formes d'énergie sans GES à coups de douzaines de milliards d'euros afin de renforcer l'offre, ce qui contribue à rendre meilleur marché l'évitement d'une tonne d'éq.CO_2. Les contribuables subventionnent ainsi indirectement le prix des quotas dans le SEQE-UE – ce qui ne va pas dans le sens d'un mécanisme de marché efficient (voir encadré 9). Car d'une part, le signal prix émis par le SEQE-UE ne correspond pas ainsi aux véritables coûts marginaux d'évitement. La vérité des coûts, c'est-à-dire la prise en charge de tous les coûts marginaux sociaux des émissions par ceux qui les émettent, n'est donc pas assurée. Et d'autre part – ce qui peut être aussi un effet indésirable –, cela conduit à une plus grande utilisation totale d'énergie parce que celle-ci devient meilleur marché grâce au subventionnement. En un mot : il n'est pas efficient de mettre les gaz et de freiner en même temps.

Secteur clé : la production d'électricité de demain

L'évolution future des émissions de GES en Europe dépend beaucoup des technologies de production d'électricité qui seront utilisées. Les réductions d'émissions les plus significatives sont venues jusqu'ici du remplacement des centrales à charbon par l'énergie solaire et éolienne, mais aussi de ce qu'on appelle le «fuel switch», à savoir le passage des centrales à charbon aux centrales à gaz (EEA 2020). [127] Naturellement, les centrales à gaz rejettent également du CO_2, mais en une quantité par kilowattheure qui se situe seulement entre un tiers et la moitié des émissions d'une centrale à charbon (Statista 2021).

127 Cela a également une importance géopolitique : il suffit de penser au conflit entre les Etats-Unis et l'Allemagne à propos de la construction du gazoduc Nord Stream 2, par lequel le gaz de Russie doit être acheminé jusqu'à l'UE.

Dans de nombreux pays d'Europe, la «transition énergétique» ne conduit pas à des baisses d'émissions de GES, mais à de nouveaux problèmes : les énergies solaire et éolienne ne sont manifestement pas adaptées à assurer la charge de base d'un approvisionnement électrique, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas alimenter de manière permanente et fiable le réseau. Sans stockage intermédiaire, l'énergie produite est souvent moins ou plus qu'il n'en faut à ce moment-là. Cela pose de grands défis aux exploitants du réseau de transport d'électricité car ils doivent assurer l'équilibre constant entre la production et la consommation. Si le réseau s'écarte significativement de la fréquence standard de 50 Hertz, il existe un risque de délestage non prévu ou même en cas extrême, d'un effondrement de l'alimentation du réseau. Passer à une alimentation électrique 100 % solaire et éolienne n'est donc pas possible sans solutions de stockage.

Le développement de technologies de stockage adaptées revêt par conséquent un rôle essentiel. L'intégration des nouvelles énergies renouvelables dans le système global d'énergie peut bénéficier du fort potentiel que représente le **couplage des secteurs**. Un couplage intelligent de l'électricité, de la chaleur et du transport au moyen d'unités de conversion et de stockage rend possible d'en exploiter les synergies. Il est souvent question à ce sujet du Power-to-X, le x représentant les différentes technologies qui peuvent être utilisées. Par exemple Power-to-Heat, si l'on remplace les systèmes de chauffage à énergie fossile par des pompes à chaleur alimentées par de l'électricité issue d'une énergie renouvelable. En utilisant les excédents d'électricité – causés par les pics de production de l'énergie solaire et éolienne – des installations Power-to-Gas peuvent par exemple produire de l'hydrogène qui peut ensuite être transformé en méthane. Ces agents énergétiques peuvent ultérieurement servir de combustible pour un transport climatiquement neutre. Cette solution possède l'avantage de pouvoir largement bénéficier de l'infrastructure existante pour les différents types de gaz. Son désavantage est que les pertes de transformation énergétique sont importantes [128] et que les installations à l'échelle industrielle ne sont pas encore répandues en raison du manque de rentabilité économique.

Avec la montée en puissance de la mobilité électrique, poussée par une forte volonté politique – laquelle contredit le principe de neutralité technologique – et le passage aux systèmes de chauffage non fossiles, les besoins en électricité vont augmenter. Parallèlement, des capacités de production flexible comme les centrales à charbon sont démantelées dans toute l'Europe et des centrales nucléaires sont mises à l'arrêt en de nombreuses régions. Sans le renforcement de technologies de production climatiquement neutres comme les énergies hydraulique, photovoltaïque ou éolienne, associées à des capacités de stockage en particulier saisonnières, les objectifs fixés restent ambi-

128 Le rendement de la transformation de l'électricité vers le méthane, dans les installations actuelles, est de 50–65 %. Si l'on produit à nouveau de l'électricité à partir du gaz, il ne reste plus que 30 à 40 % de l'énergie initiale, le reste étant perdu en chaleur : l'utilisation de cette dernière permet d'améliorer le rendement de transformation de 10 à 15 %.

Encadré 14

Le système d'échange de droits d'émission de la Californie et du Québec

Dès 2006, la Californie a adopté le **«Global Warming Solutions Act»**, loi visant à apporter des solutions au réchauffement climatique, et qui a été renforcée en 2016. Elle fixe l'objectif de réduire les émissions de GES de 40 % d'ici 2030 par rapport à 1990. L'Etat considère que son instrument le plus important est le système d'échange de droit d'émission, introduit en 2013, et qui a été relié en 2014 à celui de la province canadienne de Québec. Le programme couvre environ 80 % des émissions de GES de la Californie et du Québec – un taux de couverture qui est environ le double du SEQE-UE et même huit fois celui du SEQE suisse. Il se rapproche ainsi d'assez près de l'idéal d'un système tarifaire unique couvrant la totalité des émissions de GES.

Les enchères ont lieu tous les trimestres, proposant un nombre à chaque fois plus faible de droits d'émission – en fonction de la trajectoire de baisse. Un prix minimal s'applique également, qui est relevé à intervalles régulier. Les échanges entre émetteurs se déroulent sur le marché secondaire ; fin 2020, une tonne de CO_2 valait environ 17 $ (soit environ la moitié du prix dans le SEQE-UE), après une forte chute au début de la pandémie de Covid-19 au printemps 2020.

Les branches les plus importantes sont les producteurs d'électricité (45 % de tous les droits d'émission en 2020), les fournisseurs de gaz naturel (22 %), les raffineries et les producteurs d'hydrogène (19 %), la production de ciment (5 %), diverses autres industries (5 %), ainsi que les producteurs de pétrole et de gaz (4 %). Les émissions de GES doivent être couvertes par l'achat de droits d'émission, plusieurs périodes d'émission pouvant être regroupées afin d'égaliser des variations temporaires de production. L'achat de droits peut être remplacé, à hauteur maximale de 8 % des émissions, par des projets de réduction de GES. Ces projets de compensation d'émissions doivent être réalisés aux Etats-Unis et être certifiés par un organisme de contrôle indépendant. Pour être acceptés, les projets doivent satisfaire les critères suivants : les réductions doivent concerner des GES hors système d'échange, elles doivent être quantifiables, réalisables, permanentes, additionnelles et vérifiables. Dans le système d'échange californien, les projets de compensation reviennent en règle générale moins cher que l'achat du nombre correspondant de droits. La raison en est certainement que de nombreux Etats du pays n'ont pas encore aussi fortement exploité leur potentiel de réduction des émissions de GES que ne l'a fait la Californie. Si un émetteur n'est pas en mesure d'attester de suffisamment de droits d'émission (ou de crédits de compensation), il doit acheter a posteriori le quadruple de ce qui lui manquait (State of California 2021).

tieux. La neutralité climatique ne s'obtient pas gratuitement et transformer l'économie a un coût. L'Etat fixe des conditions-cadre pour y parvenir ; et le SEQE-UE constitue le pilier d'une stratégie climatique européenne proche des marchés.

3.1.5 Le plan Biden-Harris pour les Etats-Unis

Le **«Green New Deal»** (**GND**), New Deal vert, est un programme et une vision politiques auxquels divers représentants, principalement démocrates et verts, [129] se sont ralliés aux Etats-Unis. Il se réfère non seulement par le nom au «New Deal» initié dans les années 1930 par le président Franklin D. Roosevelt. A cette époque, le New Deal

129 Il existe également un parti vert aux Etats-Unis – dont l'influence est faible au niveau national – et qui s'est donné pour objectif le GND *(Green Party US 2021)*.

était un programme économique et social en réponse à la crise économique mondiale, aujourd'hui le GND entend non seulement réduire considérablement les émissions de GES, mais aussi réaliser des objectifs tels qu'une couverture santé pour tous, des salaires minimaux plus élevés et la réduction des inégalités de revenus. Début 2019, une résolution dans ce sens a été présentée devant le Congrès américain, le rejet au Sénat ayant stoppé le projet à ce stade (US Congress 2019).

Tandis que le président Biden n'était pas autrefois un partisan du GND, la vice-présidente Harris faisait partie du cercle des soutiens à ce projet. Dans leur programme **«Biden Plan for a Clean Energy Revolution and Environmental Justice»** («Plan Biden pour une révolution de l'énergie propre et la justice environnementale»), ils exposèrent les promesses électorales suivantes (Biden Harris 2020).

- Retour des Etats-Unis dans l'Accord de Paris (réalisé depuis).
- Réalisation du zéro net d'ici 2050, au moyen d'investissements dans les énergies propres, dans la recherche sur le climat et dans l'innovation.
- Renforcement de la résilience de l'infrastructure ; la politique climatique devient part de la sécurité nationale.
- Engagement d'autres pays au respect des objectifs climatiques de l'Accord de Paris ; les objectifs de la politique climatique doivent également jouer un rôle important dans la politique étrangère, entre autres dans le commerce extérieur.
- Atténuation sociale des mesures.

Avec la «Clean Energy Revolution», premier acte du plan Biden-Harris, les objectifs climatiques reprennent en partie ceux du GND, mais selon un calendrier moins ambitieux et pour un moindre coût total. Au lieu de 2030 (GND), la cible de la neutralité carbone des Etats-Unis devra être atteinte en 2050 ; au lieu de 93 billions de dollars (GND), les mesures doivent avoir un coût de 6,7 billions de dollars. Avec la production d'énergie, l'administration Biden s'attaque à un puissant levier, car encore 80 % de l'énergie des Etats-Unis provient du charbon, du pétrole ou du gaz. [130] L'introduction d'une taxe sur le CO_2 est en discussion, ce qui pourrait limiter un substantiel accroissement supplémentaire de la dette publique. Les politiques américains de gauche préconisent une plus forte imposition des personnes aisées (Investopedia 2020) pour financer les interventions de l'Etat dans la structure économique existante.

Une longue route attend les Etats-Unis jusqu'à la neutralité climatique en 2050 – un ou même deux mandats d'un président n'y suffiront pas. Biden aura besoin de successeurs qui reprennent le flambeau. Ce que les Européens ne doivent pas oublier en revanche, c'est le haut degré d'indépendance des Etats fédérés. Ces derniers ont réguliè-

130 Les Etats-Unis disposent d'importantes réserves d'agents énergétiques fossiles. S'ils passent à une production d'énergie à partir de sources renouvelables et qu'ils n'exportent pas leurs ressources fossiles, le monde peut sortir du paradoxe vert (voir chapitre 2.2.5). La Norvège a transformé très rapidement son économie, en particulier le secteur de la mobilité, pour la rendre neutre en carbone, mais elle continue à exporter du pétrole.

rement par le passé promulgué des lois qui allaient au-delà des mesures de protection environnementale de l'Etat fédéral (voir encadré 14).

3.1.6 Le système chinois d'échange de droits d'émission

Après plusieurs années de préparations – en partie avec l'assistance technique de l'UE –, le système chinois d'échange de droits d'émission a été lancé au début de 2021 au niveau national, succédant aux phases d'essai menées dans sept provinces et grandes villes. Il doit dans un premier temps inclure 2225 producteurs d'énergie qui concentrent environ 40 % du total des émissions chinoises. Les centrales à charbon [131] sont responsables en Chine d'environ 60 % de la production d'électricité ; au total, la Chine a émis en 2019 environ 14 milliards de tonnes de CO_2, ce qui représente 29 % des émissions mondiales de GES (The Economist 2021). La Chine est ainsi le plus grand émetteur de GES du monde, devant même les Etats-Unis.

Les résultats apportés par le système d'échange chinois devraient, au début, rester limités. Car au contraire du SEQE-UE, la Chine ne vise pas (encore) une baisse progressive des émissions totales, mais une amélioration de l'efficience. Les exploitants de centrales à charbon reçoivent des incitations pour réduire autant que possible la quantité de CO_2 émise par kilowattheure d'électricité produite (ARD 2021 ; Solarify 2021 ; Stern 2021). Ce principe n'entraînera pas forcément une baisse des émissions totales. En effet, si les centrales soumises au système d'échange augmentent à la fois l'efficience de la production, mais également le nombre de kilowattheures produits, la croissance de quantité peut annuler les gains d'efficience, ou même les dépasser. En outre, les autres segments de l'économie chinoise qui ne sont pas inclus dans son système d'échange devraient continuer à croître et à générer davantage d'émissions.

Selon les annonces du président Xi Jinping, la croissance des émissions de GES chinoises devrait se renverser au plus tard en 2030, et d'ici 2060 le pays devrait atteindre la neutralité climatique. On peut donc s'attendre à ce que les règles venant d'être introduites soient bientôt renforcées et que le champ d'application du système d'échange soit étendu, afin d'accroître l'efficacité de la politique climatique chinoise. Cependant, le plan quinquennal promulgué en 2021 laisse encore peu transparaître de ce volontarisme – le plan restant en deçà des propres objectifs climatiques du pays (NZZ 2021a).

131 La capacité installée des centrales à charbon chinoises se monte à 1 000 948 mégawatts ; à la deuxième place, les Etats-Unis possèdent une capacité de 246 187 mégawatts. En Europe, les plus grandes capacités se trouvent en Allemagne (44 470 mégawatts) et en Pologne (30 870) *(voir FAZ 2020)*.

3.1.7 Des solutions mondiales pour un problème de dimension mondiale

Le changement climatique est un défi de dimension mondiale, et c'est pourquoi la protection du climat devrait également être une obligation pour le monde entier. La communauté internationale a réalisé d'importantes avancées au cours des trente dernières années pour apporter une riposte commune au réchauffement de la planète. Sans les expériences du protocole de Kyoto, qui n'imposait d'obligations qu'aux pays industrialisés, l'Accord de Paris réunissant les pays du monde entier n'aurait pas pu voir le jour (Michaelowa et al. 2019). Sur le plan international, l'UE en particulier joue un rôle précurseur, avec son Pacte vert et l'instrument du SEQE-UE, même si ses dispositifs réglementaires nécessitent encore des améliorations.

Un marché international des émissions de GES pourrait apporter une contribution essentielle à l'amélioration de l'efficience économique de leurs réductions (voir chapitre 4.1). Outre le SEQE de l'UE/Aele, ainsi que les mécanismes évoqués ci-dessus en Californie/Québec et en Chine, de tels systèmes existent également au Japon, en Nouvelle-Zélande et en Corée du Sud [132] (Europäische Kommission 2021e). [133] L'Accord de Paris offre une base pour coupler les SEQE existants et futurs à un niveau national ou subnational. L'article 6 de l'Accord prévoit la possibilité de contribuer à la réduction d'émissions par le transfert international de résultats d'atténuation. A cette fin, un système de comptabilisation commun et fiable doit être développé. Les conditions essentielles à réunir pour réussir un couplage sont la large équivalence des SEQE entre eux (par ex. même base de mesure pour une tonne d'éq.CO_2), le caractère contraignant des réductions et l'existence d'un plafond absolu. Par les deux accords qu'elle a conclus avec le Pérou et le Ghana (voir chapitre 4.3), la Suisse a pris un rôle de pionnier en matière de coopération internationale.

132 Le système d'échange de droits d'émission mis en place en 2015 par la Corée (Korean Emissions Trading Scheme, Kets) couvre environ 66 % du total des émissions de gaz à effet de serre du pays *(Europäische Kommission 2021e)*.

133 L'Australie illustre le cas d'un pays qui a introduit une taxe sur le CO_2 et l'a supprimée après seulement deux ans (2014) *(NZZ 2014b)*, avant même que le dispositif ait pu – comme prévu – être transformé en 2015 en un système d'échange de droits d'émission. Le prélèvement soulevait trop de controverses politiques dans un pays misant sur les centrales à charbon et exportant de grandes quantités de charbon principalement en Asie.

3.2 Politique climatique suisse actuelle

Afin de limiter l'élévation de la température mondiale à 1,5 degré Celsius – et respecter ainsi l'objectif de l'Accord de Paris –, de nombreux Etats devraient encore renforcer les ambitions de leurs CDN (voir figure 6). La Suisse, qui a déjà rehaussé ses objectifs fin 2020, assume à cet égard un rôle de précurseur (voir encadré 13). Par le but qu'elle s'est fixé – zéro net d'ici 2050 –, mais aussi par les moyens engagés pour sa réalisation, c'est-à-dire le choix et les modalités de mise en œuvre des mesures, la Suisse pourrait jouer un rôle modèle sur le plan international. C'est pourquoi la seconde moitié de ce chapitre s'intéresse à la politique climatique en Suisse. Tout d'abord est présentée la base juridique de cette politique, la loi sur le CO_2 actuelle (3.2.1). Puis sont formulés et développés quatre critères d'une politique climatique libérale (3.2.2), avant de livrer une description – neutre pour commencer – des mesures de la loi sur le CO_2 (3.2.3), puis d'en évaluer à titre d'exemple quelques-unes selon les critères ainsi formulés et en comparer les mérites réciproques (3.2.4).

3.2.1 Les objectifs climatiques de la loi sur le CO_2

La loi sur le CO_2 est entrée en vigueur en 2000, dans le but d'ancrer juridiquement et de mettre en œuvre les objectifs auxquels la Suisse s'était engagée dans le cadre du protocole de Kyoto pour la période 2008–2012. Une version révisée a été promulguée en 2013 et est restée en vigueur jusqu'en 2020, ce qui correspondait également à la deuxième période d'engagement du protocole de Kyoto. Dans le cadre de l'Accord de Paris, le Parlement a adopté en septembre 2020 la révision totale de la loi sur le CO_2, qui doit couvrir la nouvelle période jusqu'à 2030.

L'objectif initial était de parvenir en 2012 à un niveau d'émissions annuelles de GES qui soit de 10 % inférieur au niveau de 1990. [134] En 2020, la réduction devait atteindre 20 %, [135] et pour 2030 il est prévu que la baisse soit de 50 % par rapport au niveau de 1990. Enfin, en 2050 les émissions de GES devront être de zéro net – c'est-à-dire qu'à compter de cette date, il ne sera autorisé d'émettre que la quantité de GES qui peut être retirée de l'atmosphère au moyen de mesures techniques ou de modifications de l'utilisation des terres.

Le détail de la trajectoire de réduction interroge : lorsqu'en 1997 la Suisse s'est engagée à une réduction de 10 %, ses émissions ne représentaient déjà que 97,8 % de celles de 1990. Il ne lui restait donc seulement qu'à réduire ses émissions de 7,8 % supplémentaires. Ce qu'elle est parvenue à faire. [136] Pour la période 2013–2020, 10 % d'émissions

134 Sur la 1ere période d'engagement du protocole de Kyoto, de 2008 à 2012, la réduction des émissions annuelles moyennes à réaliser était de 8 %.

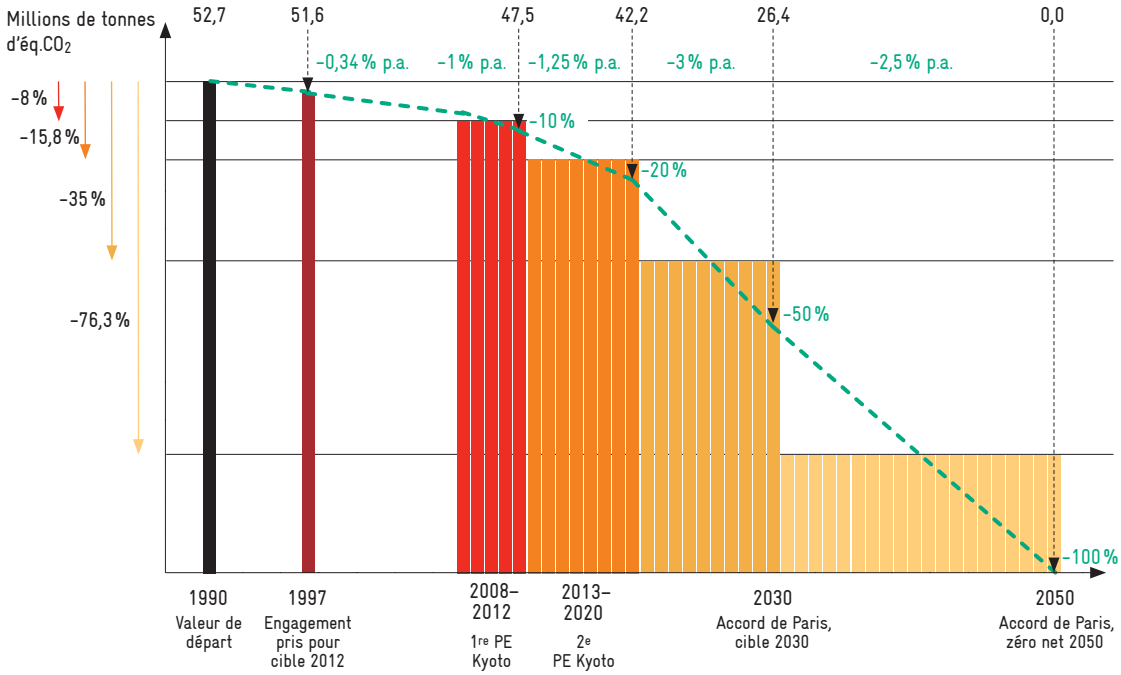
135 Sur la 2e période d'engagement du protocole de Kyoto, de 2013 à 2020, cela correspond à une réduction de 15,8 % des émissions annuelles moyennes.

136 La réduction a même été de 0,4 point de pourcentage plus forte que la cible fixée.

Figure 25

Trajectoire de réduction de la Suisse

La trajectoire de réduction de la Suisse peut à ce jour être divisée en quatre périodes. Les deux périodes d'engagement (PE) dans le cadre du protocole de Kyoto et les deux cibles communiquées pour 2030 et 2050 dans le cadre de l'Accord de Paris. Les efforts de réduction annuelle les plus intenses sont encore devant nous.



Source : propre représentation, Bafu (2020e).

supplémentaires devaient être supprimées. Bien que cet objectif ne semble pas avoir été non plus trop ambitieux, l'Ofev laissait encore entendre en décembre 2020 qu'il ne serait probablement pas atteint (Bafu 2020c). S'il était malgré tout respecté, cela ne serait que grâce à l'effet Covid. [137] D'ici 2030, il serait en revanche nécessaire de trouver (au moins) 30 % de réductions supplémentaires pour réaliser la réduction de moitié par rapport à 1990, comme l'objectif en a été fixé. En comparaison de ce qui a été réussi jusqu'ici, la cible est extrêmement ambitieuse.

La loi sur le CO_2 précise les mesures destinées à atteindre ces objectifs. Les instruments de politique climatique comme la taxe sur le CO_2 sur les combustibles, le programme Bâtiments, le système d'échange de quotas d'émission, ainsi que le programme de compensation pour les carburants, ont été créés dès la première loi sur CO_2, mais ne s'appliquaient initialement qu'aux émissions de CO_2 résultant de l'utilisation éner-

137 Pour espérer atteindre la réduction de 15,8 % (voir note ci-dessus) prévue pour la deuxième période d'engagement de Kyoto, même la pandémie ne devrait rien y changer car cet objectif se réfère à une moyenne pluriannuelle.

gétique de combustibles et carburants fossiles. La loi révisée a étendu les obligations aux émissions de CO_2 non liées à des fins énergétiques (comprenant les émissions des raffineries), à la valorisation et l'incinération des déchets, ainsi qu'à tous les autres gaz à effet de serre (Bafu 2020b). En outre, les instruments existants ont été adaptés et des prescriptions concernant les émissions de CO_2 des voitures neuves ont été introduites. Pour la période 2021–2030, la révision totale actuelle prévoit d'introduire de nouvelles modifications (voir chapitre 4.3.2).

Les mesures de la loi sur le CO_2 concernent avant tout les secteurs des bâtiments, du transport et de l'industrie. En 2018, ces trois derniers représentaient ensemble 80 % des émissions de GES de la Suisse :

- Le transport émet 32,4 % des émissions (15 millions de tonnes d'éq.CO_2). 94 % sont produites par le trafic routier, dont 74 % par les véhicules individuels (soit par conséquent 22,6 % du total des émissions de GES) (Bafu 2020e). Les instruments de protection climatique visant le trafic sont les prescriptions concernant les émissions de CO_2 et l'obligation de compenser.
- Le secteur des bâtiments génère 24,7 % des émissions (11,2 millions de tonnes d'éq. CO_2), réparties entre les ménages (17 %) et les services (7,7 %). Les émissions résultent essentiellement du chauffage des surfaces habitables et des immeubles (Bafu 2020c). 37 % de la surface de référence énergétique [138] est chauffée avec du mazout et 26 % avec du gaz naturel, tandis que les pompes à chaleur ne sont responsables que de 17 % et le bois de 10 % des émissions (Infras et al. 2019). Les instruments de protection climatique appliqués dans ce secteur sont le Programme Bâtiments et la taxe sur le CO_2.
- A l'industrie revient une part de 24 % des émissions (11 millions de tonne d'éq.CO_2). Environ la moitié de celles-ci résulte de la consommation d'énergie de l'industrie manufacturière et de l'industrie du bâtiment, un tiers résulte des installations de valorisation des déchets, de la production de chaleur à distance et des raffineries. Le reste provient de la production de ciment et de l'industrie chimique. 71 % des quantités de combustibles utilisées dans l'industrie le sont pour la chaleur nécessaire aux processus. L'instrument de protection climatique appliqué à ces branches est avant tout le SEQE, ainsi que, en partie, la taxe sur le CO_2.

Un secteur, dont l'absence est remarquée dans cette liste, est l'agriculture– bien que ce secteur soit, avec 6,6 millions de tonnes d'éq.CO_2 (14 %), le quatrième plus grand émetteur (Bafu 2020c). La réduction des émissions de GES de l'agriculture devrait – selon l'intention exprimée – être réglementée par la législation sur l'agriculture. En février 2020 a été adopté le message relatif à l'évolution future de la Politique agricole à partir de 2022 (PA22+), qui prévoit une réduction des émissions de GES et aurait dû atténuer

138 La surface de référence énergétique est la somme de toutes les surfaces de plancher des étages et des sous-sols, dont l'utilisation nécessite un chauffage ou une climatisation.

Encadré 15

Les efforts suisses de protection climatique en comparaison internationale

Dans la dernière édition du «Climate Change Performance Index», un indice de performance en matière de lutte contre le changement climatique, la Suisse est classée à la 14e place (Germanwatch 2021). L'indice évalue la politique climatique de 57 pays (ainsi que de l'UE) responsables ensemble de 90 % des émissions de gaz à impact climatique. La méthode utilisée pour le classement est pour le moins curieuse. Ainsi, par exemple, les places 1 à 3 ne sont pas attribuées, car selon les auteurs aucun pays n'obtient de très bons résultats. [139] En tête du classement, à la quatrième place, se trouve la Suède, suivie du Royaume-Uni et du Danemark. Les Etats-Unis ferment bons derniers la marche. Parmi les quatre sous-indicateurs de l'étude, la part des énergies renouvelables en Suisse n'est que moyennement satisfaisante en dépit de la place importante de l'énergie hydraulique. Des pays comme le Brésil, la Chine ou l'Inde font mieux que la Suisse pour ce critère. Cela peut s'expliquer par le fait que plusieurs chiffres utilisés mesurent en vérité la même chose, ce qui influe sur le classement.

Avec les mesures telles qu'elles sont actuellement en vigueur, la Suisse figure déjà internationalement dans le premier tiers des Etats engagés dans la lutte contre le changement climatique. [140] Avec les mesures nouvellement prévues – ce qui ne préjuge pas de leur efficacité (voir p. 143) –, la Suisse devrait gagner quelques places au classement (Bafu 2018b; Uno 2020). Si elle réussira ou non à tenir ensuite réellement ses objectifs de réductions, c'est une toute autre question.

Le «Global Sustainable Competitiveness Index» se donne un champ d'étude plus large: cet indice mondial de la compétitivité compatible avec le développement durable, n'évalue pas seulement la politique climatique, mais également les qualités de développement durable de 180 pays, sur la base de 127 mesures chiffrées. La Suisse y occupe la 5e place (Solability 2020). Les mieux classés sont les pays scandinaves, tandis que les Etats-Unis se classent 32e et la Chine 39e. Dans le détail, les indicateurs où la Suisse obtient les plus mauvais résultats sont ceux de la disponibilité et de l'utilisation des ressources naturelles (87e place), tandis qu'elle se hisse malgré tout au 11e rang pour l'efficience de l'utilisation des ressources (sur ce critère, les Etats-Unis sont 117e, et la Chine 158e).

les conséquences du changement climatique sur l'agriculture. Cependant, la PA22+ a été suspendue par le Parlement en mars 2021 (Dümmler 2021; Schweizer Parlament 2020). L'avenir de la protection climatique dans l'agriculture est ainsi incertain.

3.2.2 Critères d'évaluation pour futures mesures de protection climatique

Même en cas d'acceptation de la révision totale de la loi sur le CO2 lors de la votation populaire du 13 juin 2021, rien ne laisse présager que les débats concernant les problèmes climatiques s'arrêteront. La Suisse s'est fixé une cible ambitieuse pour 2050.

139 Il est intéressant de consulter la liste des experts interrogés pour chaque pays. Pour la Suisse, des données et des analyses ont été fournies par des représentants d'Alliance Sud et de Greenpeace *(Germanwatch 2021)*. Il est par conséquent difficile de ne pas identifier une certaine coloration idéologique dans les résultats suisses.

140 Ainsi la taxe sur le CO_2 appliquée aux combustibles, d'un taux de 96 Fr. par tonne de CO_2, compte parmi les tarifs les plus élevés appliqués sur les gaz à effet de serre dans le monde *(Stavins 2019)*. Dans la version révisée de la loi sur le CO_2, le taux pourrait même être porté jusqu'à 210 Fr. la tonne.

La révision totale ne couvre pas toute la période jusqu'à cette date et par conséquent d'autres adaptations seront nécessaires, ce qui sera de nouveau l'occasion de vifs débats. Pour atteindre le zéro net d'ici 2050, la Suisse doit miser sur des mesures qui conduisent à des réductions sur le long terme et maintenables sur le long terme. De plus, le coût de ces mesures doit être supportable. Chaque nouvelle mesure devrait donc être examinée, selon des critères transparents, pour vérifier sa capacité à livrer durablement les résultats attendus. Une politique climatique libérale devrait satisfaire aux exigences suivantes :

01_ Elle devrait être **efficace**, c'est-à-dire aboutir à une réelle réduction des émissions de GES.

02_ Elle devrait être **efficiente**, c'est-à-dire générer le résultat maximal pour les moyens engagés.

03_ Elle devrait établir (du moins dans son principe) la vérité des coûts.

04_ Elle devrait préserver la **neutralité technologique**.

Tandis que les deux premières exigences obéissent à la simple raison économique, la création de la vérité des coûts et la préservation de la neutralité technologique sont des exigences classiquement libérales.

Il existe naturellement également d'autres critères qui peuvent être importants selon les cas. Ils ne seront pas systématiquement pris en compte dans la suite de l'analyse, et leurs caractéristiques ne sont donc que brièvement esquissées ci-dessous.

_ **L'effet redistributif** : la redistribution est une propriété aux nombreuses facettes : redistribution entre catégories de revenus, à l'intérieur d'un secteur économique ou entre plusieurs branches ; redistribution même entre pays dans le cas d'instruments multilatéraux – sans oublier la non moins importante redistribution intertemporelle, autrement dit entre générations. La question de la redistribution se pose en premier lieu en ces termes : la mesure envisagée génère-t-elle des recettes ? Comment celles-ci sont-elles (re)distribuées ? Elle se pose tout autant relativement aux coûts d'évitement : qui assume ces coûts, et de quelle manière sont-ils répercutés sur les autres acteurs ? Le critère «redistribution» doit être pris au sérieux – en particulier parce qu'il est déterminant pour l'applicabilité politique d'une mesure. C'est précisément la raison pour laquelle il n'y a pas besoin ici d'insister sur la nécessité de le prendre en compte – car il ne court pas le moindre danger d'être oublié dans le débat politique.

_ La question des **incitations à l'innovation** est liée à plusieurs des critères cités ci-dessus, en premier lieu naturellement la neutralité technologique : si l'Etat prescrit avec quelle technologie un objectif doit être atteint – ou quelles technologies ne doivent plus être continuées – il donne ainsi également des incitations à l'innovation. De simples contraintes sur les émissions sont en revanche en soi aussi technologiquement neutres qu'une tarification des GES. Mais leur effet d'incitation à l'innovation peut être moindre : car si des acteurs remplissent déjà les conditions, ils n'ont aucune in-

citation à faire aucune amélioration que ce soit. C'est un phénomène qui peut limiter l'efficacité d'un instrument.

- De même, le législateur ferait bien de s'inquiéter si la mesure envisagée peut créer ou non des **incitations contreproductives non prévues**. Par exemple, des exigences réglementaires trop élevées sur les nouvelles installations industrielles peuvent conduire à prolonger l'existence d'installations vieillissantes (et plus polluantes).
- Il convient en outre de veiller à un **effet équilibré sur les conditions concurrentielles** : la mesure ne doit pas entraîner d'inégalité de traitement entre les émetteurs.

Mais revenons aux quatre critères qui nous intéresseront spécifiquement par la suite.

Efficacité

Le premier critère d'évaluation d'une mesure, cela devrait être le niveau de réduction d'émissions de GES qu'elle permet. Pour mieux éclairer encore cet aspect, il est possible de distinguer deux composants dans l'efficacité :

- Quelle part d'émissions (nationales) de GES cette mesure couvre-t-elle ? Ce composant est dénommé par la suite **«portée»** (et correspond au «scope» en anglais). De façon imagée, on peut se représenter la portée d'action comme la grandeur (la portée) du levier que l'on va activer.
- Quelle diminution des émissions de GES la mesure entraîne-t-elle dans le domaine où elle est appliquée (dans son champ de portée) ? Ce composant est dénommé par la suite **«degré»** (et correspond au «scale» en anglais). Le degré d'action correspond donc à la question du degré d'activation ou de soulèvement du levier. Déterminer la contribution apportée par une mesure dans une réduction constatée peut être difficile. En effet, il n'est parfois pas évident de délimiter si une réduction observée est due, par un vrai lien de cause à effet, à la mesure en question, ou si elle a été fortement influencée par d'autres facteurs (autres instruments de réduction des émissions, influences exogènes).

Pour donner une définition plus mathématique de ces deux composants :

- **portée** = part d'émissions couvertes par l'instrument en % du total des émissions.
- **degré** = réduction effective d'émissions en % du total des émissions couvertes par l'instrument.

L'efficacité est par conséquent le produit de la portée et du degré d'action. Elle correspond à la réduction d'émissions en % du total des émissions.

La seule démonstration de l'efficacité d'une mesure n'est cependant pas encore, loin s'en faut, le garant que cette mesure est souhaitable du point de vue de l'ensemble de la société. C'est pourquoi les trois critères suivants sont tout aussi importants à prendre en compte.

Efficience

Le critère de l'efficience s'intéresse à la question : quelle réduction de GES un instrument obtient-il par franc investi ? Il décrit par conséquent le rapport coût-bénéfice. L'efficience est proche de la notion d'efficacité – surtout de son aspect «degré» (d'efficacité) : si aucune réduction ou presque n'est obtenue (faible efficacité), il sera difficile d'avoir une bonne efficience – sauf si la mesure coûte vraiment très peu à mettre en place.

Cependant, le critère d'efficience mérite également d'être considéré en lui-même. Dans le débat sur le climat, on mentionne souvent l'urgence de la question, en ajoutant qu'aucune dépense ne serait trop élevée pour stopper le plus vite possible le réchauffement du climat. L'urgence justifie tout à fait le redoublement d'efforts. Elle ne justifie cependant en aucun cas d'investir des ressources dans des mesures mal conçues et gaspiller ainsi l'argent. Précisément parce que la question est urgente, il est important que chaque franc livre tout son potentiel de réduction possible.

En outre, d'un point de vue économique, toute mesure est liée à des coûts d'opportunité : les ressources qui sont utilisées pour des mesures climatiques ne peuvent plus être investies dans d'autres domaines (par ex. la formation, la santé). Raison supplémentaire pour concevoir une mesure de protection climatique de la façon la plus efficiente possible. De façon très générale, les moyens disponibles devraient être utilisés là où ils peuvent générer la plus grande utilité sociale (voir chapitre 2.3.2).

En plus de la quantité de GES évités (voir Efficacité), la mesure de l'efficience a besoin de connaître également le coût de l'évitement de ces émissions. Dans certains cas, ce coût est relativement simple à déterminer : le coût d'une rénovation thermique est explicitement consigné dans les livres comptables. Dans d'autres cas, cela est nettement plus compliqué ou peut même conduire à des conclusions erronées : dans le cas d'une taxe d'incitation sur le CO_2, on serait par exemple tenté de considérer le produit (la recette) de la taxe comme un «coût». Cette recette fiscale ne correspond cependant pas à un coût d'évitement et n'est pas non plus un coût au sens économique, car elle devrait – dans le meilleur des cas – être redistribuée à la population (voir chapitre 2.2.4). La figure 26 illustre la différence entre le coût d'évitement et la recette d'une taxe d'incitation.

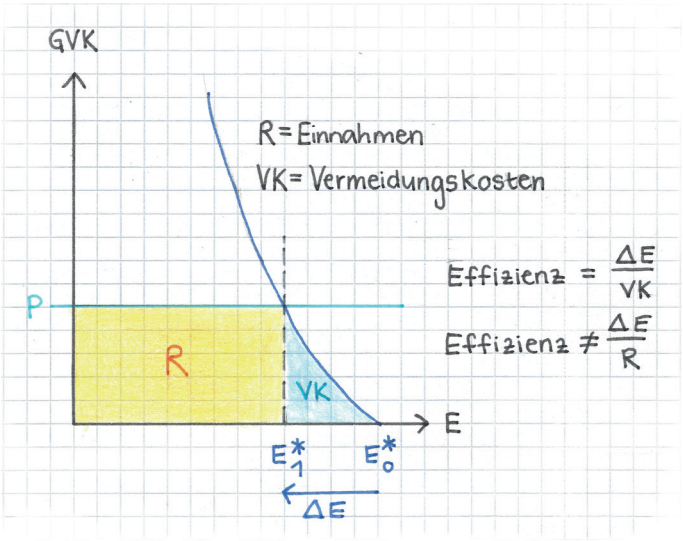
Une tarification des GES est en théorie toujours efficiente, car elle permet une convergence des coûts marginaux d'évitement des différents acteurs, ce qui signifie que les émissions sont réduites précisément là où elles peuvent l'être au coût le plus bas (voir chapitre 2.2.1 et figure 18). Dans la pratique en revanche, même avec un mécanisme de tarification, l'efficience peut être inférieure à l'optimum – par exemple parce que les acteurs ont un déficit d'information ou qu'ils n'agissent pas de façon strictement rationnelle.

Tendanciellement, les mesures qui présentent une moindre efficience sont celles qui ne visent pas directement les émissions effectives de GES (ou de l'agent énergétique fossile), mais préfèrent taxer un objet. Un exemple est la taxation des véhicules ayant des valeurs d'émissions élevées (voir p. 159) : une voiture de sport a beau avoir une consom-

Figure 26

Taxe d'incitation : ou comment faire la différence entre un coût d'évitement et le montant d'une recette fiscale

La courbe bleue dans ce graphique représente le coût marginal d'évitement (CME), c'est-à-dire le coût que cause l'évitement d'émission d'une nouvelle tonne d'éq.CO_2 (voir figure 18). *Pour un prix P, la recette de la taxe d'incitation correspond au nouveau niveau d'équilibre d'émissions de GES (E1*) multiplié par le prix P de la tonne d'éq.CO_2. Géométriquement, cette recette fiscale correspond à la surface du rectangle R, dont la base vaut E1* et la hauteur vaut P (ces deux dimensions étant chacune mesurées à partir de l'origine du repère). Le coût d'évitement en revanche correspond à la surface du triangle VK.*



GVK	CME
R = Einnahmen	R = Recette
VK = Vermeidungskosten	CE = Coût d'évitement
Effizienz	Efficience

Source : propre représentation

mation d'essence très élevée – tant qu'elle reste au garage, elle n'émet pas de CO_2. Une fois achetée, ce type de taxation ne fournit en revanche aucune sorte d'incitation à économiser de l'essence. De telle mesures couvrent donc souvent uniquement un (parmi de nombreux autres) aspect du comportement des consommateurs et producteurs, ce qui nuit typiquement à leur efficience.

Vérité des coûts

Un troisième critère, et en même temps élément central d'une politique climatique libérale, est la vérité des coûts. Celle-ci permet que le responsable d'une externalité négative, autrement dit en l'occurrence les émissions de GES (ou leurs répercussions climatiques futures), assume les coûts qui autrement auraient été mis à la charge de la société (future). On parle dans ce cas d'internalisation des coûts externes. Sans elle, il y aura excès de rejets de GES (voir chapitre 2.2.1).

Evidemment, les mesures non tarifaires n'établissent pas de vérité des coûts. Les obligations ou les interdictions forcent ou empêchent simplement une action. Il est certes possible que des émissions de GES soient ainsi évitées dans des proportions notables, et il n'est pas a priori exclu que cet évitement d'émissions soit même dans cer-

tains cas efficient. Mais ces mesures ne réalignent pas les coûts marginaux privés sur les coûts marginaux sociaux, et ainsi elles ne créent pas de vérité des coûts.

Il est plus difficile de juger les mesures tarifaires à cet égard : parce que les estimations du préjudice subi par la société pour chaque tonne d'éq.CO_2 émise divergent considérablement (voir chapitre 2.2.2), il est pratiquement impossible de juger ce qu'est un prix juste et un prix incorrect (trop haut ou trop bas). Une chose est claire : si les prix sont trop faibles, l'efficacité d'une mesure en pâtit ; et si les prix sont trop élevés, l'efficience s'en ressent. [141] Des prix uniformément trop élevés dans le monde (un scénario plutôt invraisemblable) signifieraient au contraire que la société s'impose aujourd'hui des sacrifices trop élevés pour freiner le changement climatique.

Les subventions sont également considérées comme des mesures tarifaires. Elles n'établissent cependant pas de vérité des coûts, mais créent – tout au contraire – une non-vérité des coûts des deux côtés (technologies à faible impact carbone subventionnées d'un côté, technologies à fort impact carbone non taxées de l'autre) (voir p. 92).

Neutralité technologique

L'impératif de neutralité technologique exige qu'une mesure ne favorise pas, ne défavorise pas, ou même interdise certaines technologies en soi. Le politique devrait uniquement indiquer l'objectif devant être atteint avec la mesure mise en place. Le chemin pour atteindre ce but, en particulier le choix de la technologie la plus adaptée, devrait être laissé aux acteurs concernés. La concurrence favorise les innovations, et parmi celles-ci, les plus efficientes et les plus efficaces finissent par s'imposer. L'avantage est qu'il n'est pas nécessaire de conjecturer déjà à l'avance, depuis une instance centrale, lesquelles de ces technologies cela pourrait être. De nombreuses technologies se trouvent encore au stade de développement ou ne sont pas encore assez mûres pour être utilisées à grande échelle. Aucun gouvernement au monde, aussi bien organisé soit-il, peut avoir centralisé tant de connaissances qu'il puisse évaluer si telle ou telle technologie dans le futur solutionnera nos problèmes de GES. En outre, même les meilleures prévisions peuvent se tromper sur le cours que prendront réellement les développements futurs. Une violation du principe de neutralité technologique augmente le risque qu'une mesure n'ait pas l'efficience optimale recherchée.

La neutralité technologique est en particulier souvent enfreinte à l'occasion d'interventions étatiques mineures et isolées. Ce sont fréquemment des mesures de politique industrielle, que l'Etat prend sous couvert de protection climatique ou plus généralement d'écologie. De telles distorsions de concurrence induites par l'Etat créent des barrières qui rendent plus difficile l'accès au marché pour les technologies alternatives. Cela vaut cependant également dans l'autre sens : sans correction des prix – la vérité

141 Du moins dans la mesure où les coûts marginaux d'évitement, en cas de prix du CO_2 très élevés, se trouveraient également très élevés, ce qui rendrait très probable qu'il soit possible de réduire les émissions pour un coût nettement moindre dans d'autres secteurs ou même dans d'autres pays (où les prix de CO_2 seraient plus faibles, voire inexistants).

des coûts entre de nouveau en jeu ici –, les énergies fossiles ont un avantage concurrentiel injustifié par rapport aux formes d'énergie neutres en CO_2.

3.2.3 Les mesures de la loi actuelle sur le CO_2

Les critères qui viennent d'être énumérés sont utilisés dans le chapitre 3.2.4 pour évaluer à titre d'exemple les mesures de la loi actuelle sur le CO_2. C'est pourquoi nous présentons brièvement celles-ci préalablement ici.

La taxe sur le CO_2

La taxe sur le CO_2 est prélevée depuis 2008 sur les combustibles fossiles comme le mazout, le gaz naturel, le charbon ou le coke de pétrole. La taxe sur le CO_2 n'est pas (comme souvent supposé à tort) prélevée sur les carburants comme le diesel ou l'essence (GFS Zürich 2020). Ces derniers ont été exemptés de la taxe pour des raisons politiques et sont soumis à la place à l'obligation de compenser les émissions (voir p. 150). Le bois et la biomasse sont tout aussi peu concernés par cette taxe : ce sont des agents énergétiques neutres en CO_2, qui font partie du cycle normal du carbone (voir encadré 2). [142]

La taxe sur le CO_2 est explicitement conçue comme une taxe d'incitation. Elle ne vise donc pas en premier lieu à établir une vérité des coûts, mais veut orienter les comportements : si certains objectifs intermédiaires d'une trajectoire de réduction définie à l'avance sont manqués, le taux de la taxe est automatiquement majoré. Cela s'est produit déjà quatre fois depuis sa création. Depuis 2018, le taux de la taxe est de 96 Fr. par tonne de CO_2. Toutefois, les émissions de CO_2 résultant des combustibles ont pu être suffisamment réduites jusqu'à 2020 pour éviter le taux maximal jusqu'ici de 120 Fr. par tonne (Bafu 2020f). Les recettes de la taxe sont redistribuées aux deux tiers à la population (d'un même montant par habitant) et à l'économie (proportionnellement à la masse salariale). Le reste des recettes va au Programme Bâtiments et au fonds de technologie (voir ci-dessous).

Certaines entreprises ont la possibilité d'être exemptées de la taxe sur le CO_2 : soit en prenant part au système d'échange de quotas d'émission (voir ci-dessous) ou au moyen d'un engagement de réduction («exemption hors SEQE»). Cette dernière peut être accordée sur demande par la Confédération si les entreprises s'engagent à réduire continuellement leurs GES.

Système d'échange de quotas d'émission (SEQE)

Le SEQE est un instrument de régulation des quantités reposant sur le principe du «cap and trade». Il se présente comme une alternative à la taxe sur le CO_2 : les entreprises à forte intensité en GES peuvent demander leur exemption de la taxe, en fonc-

142 Pour le bois, cela n'est naturellement vrai que si un arbre abattu est remplacé par un nouvel arbre. Encore faut-il aussi que la biomasse des deux arbres soit à peu près équivalente pour que la neutralité soit assurée.

tion de leur secteur économique (et de la puissance calorifique totale de combustion de leur installation) ; à la place, ils rejoignent le SEQE. Pour les entreprises ayant une puissance calorifique de plus de 20 MW, [143] la participation au SEQE est cependant obligatoire. [144] Depuis 2020, le SEQE suisse est couplé avec celui de l'UE. Depuis, les exploitants suisses et étrangers d'aéronefs, qui effectuent des vols en Suisse ou au départ de la Suisse vers l'EEE) sont tenus de participer au SEQE suisse (Bafu 2019b).

Le SEQE suisse fonctionne de façon similaire à celui de l'UE (voir chapitre 3.1.4) : il existe un plafond de quotas – nommés quotas d'émissions en Suisse – qui est abaissé au cours du temps. Le facteur de réduction linéaire est le même que celui du SEQE-UE (à ce jour : 1,74 % ; à partir de 2021 : 2,2 %) et l'allocation – gratuite – est effectuée selon le même référentiel. [145] A la fin de l'année, chaque participant doit pouvoir couvrir ses émissions de CO_2 avec des quotas d'émission et remettre ces derniers à l'Ofev. Si les quotas d'émissions reçus sont en quantité insuffisante ou si un excédent semble se former, les participants peuvent négocier ces quotas entre eux. Jusqu'à fin 2020, il était possible jusqu'à un certain degré de remplir son obligation de remettre des quotas d'émission à l'aide de certificats de réduction des émissions (CER) étrangers, qui pouvaient être acquis en vertu du protocole de Kyoto dans le cadre des mécanismes de développement propre (MDP) avec des pays en développement (voir encadré 12). Cette possibilité a été cependant supprimée avec le couplage du SEQE suisse et de celui de l'UE (Bafu 2019b). La dimension mondiale des échanges de quotas d'émissions a donc été éliminée, au profit du renforcement du lien européen.

Programme Bâtiments

Le Programme Bâtiments, depuis 2010, a permis le subventionnement d'assainissements de l'enveloppe de bâtiments, d'investissements dans des énergies renouvelables, la récupération de chaleur et l'utilisation de composants domotiques. Depuis 2018, des projets géothermiques sont également soutenus. Le programme est financé par un tiers des recettes de la taxe sur le CO_2 ou un maximum de 450 millions de francs par an [146] (Das Gebäudeprogramm 2019). Les moyens non utilisés sont redistribués à la population avec le reste des recettes de la taxe sur le CO_2. Depuis 2017, les moyens issus de la taxe sur le CO_2 et affectés à la finalité sont versés directement aux cantons sous la forme de contributions globales, afin que ces subventions puissent être utilisées d'une façon «efficace, adaptée à la demande et spécifique à chaque canton.» (Nufer 2017). Les contributions globales consistent en une contribution de base par habitant et une contribution

143 Pour certains secteurs économiques, des seuils séparés sont définis en annexe 6 de l'Ordonnance sur le CO_2 *(RS 641.711 2013)*.
144 Elles n'ont pas non plus la possibilité de prendre un engagement de réduction à la place.
145 Les référentiels ont été repris sur ceux de l'UE et se basent sur les données des 10 % des sites de production pertinents ayant la meilleure efficience en termes d'émissions de GES dans l'UE («Best Available Technology», voir chapitre 3.1.4).
146 Ce maximum n'est pas obligatoirement atteint : en 2019, les recettes de la taxe sur le CO_2 se situaient autour de 1,2 milliard de Fr., les dépenses pour le Programme Bâtiments de la même année ont été de 265 millions de Fr. *(Bafu 2020f; Das Gebäudeprogramm 2019)*.

complémentaire. La contribution de base est distribuée à tous les cantons, tandis que la contribution complémentaire va seulement aux cantons qui ont leur propre programme d'encouragement [147] dans le domaine de l'énergie des bâtiments (BFE 2020a).

Prescriptions concernant les émissions de CO_2 des voitures

Les prescriptions concernant les émissions de CO_2 s'appliquent à toutes les voitures neuves (voitures de tourisme, voitures de livraison et tracteurs à sellette légers), qui ont été immatriculées pour la première fois en Suisse. Elles prescrivent la quantité maximale d'émissions, en grammes de CO_2 par kilomètre, autorisée en moyenne pour un parc de véhicules. L'obligation concerne non seulement les importateurs professionnels mais aussi les personnes privées qui introduisent un véhicule en Suisse. [148] Les valeurs cibles sont régulièrement abaissées afin de réduire les émissions de CO_2 causées par le trafic routier.

Pour les voitures de tourisme, les prescriptions ont été introduites, similairement à l'UE, en 2012. La période jusqu'en 2014 a servi de phase d'introduction, pendant laquelle seule une partie du parc automobile devait satisfaire la valeur cible («phasing-in») ; depuis, le domaine d'application a été étendu. [149] Le bilan du parc automobile peut être amélioré en important des véhicules particulièrement efficients (principalement des véhicules électriques et des hybrides plug-in) générant un maximum de 50 grammes de CO_2 par kilomètre. Ces derniers peuvent être comptabilisés plusieurs fois dans la moyenne d'émission du parc – ce qu'on appelle le «supercrédit», lequel vaut 1,67 pour l'année 2021, et sera abaissé à 1,33 en 2022.

En 2020, la valeur cible des voitures de tourisme était de 95 g de CO_2/km [150], et de 147 g de CO_2/km pour les voitures de livraison. Début 2021 a eu lieu un passage vers un nouveau cycle de conduite [151] pour déterminer la consommation de test (litres/100km). Ce nouveau cycle livre des valeurs de consommations plus proches des conditions réelles (et plus élevées), et par conséquent les valeurs cibles de CO_2 ont également été modifiées. Elles sont à présent de 118 g/km pour les voitures de tourisme et

147 Ces programmes d'encouragement doivent correspondre au Modèle d'encouragement harmonisé des cantons (ModEnHa), voir à ce sujet la note 155. En outre les cantons doivent apporter des moyens additionnels à hauteur d'au moins 50% de la contribution complémentaire pour obtenir celle-ci.

148 Dans l'UE – en raison de l'industrie automobile qui y est établie – les constructeurs sont directement soumis à cette obligation.

149 Par exemple pour les voitures de livraison et les tracteurs à sellette légers, soumis à des prescriptions spécifiques depuis 2020.

150 Cela correspond à une consommation moyenne de 3,6 litres de diesel ou de 4,1 litres d'essence pour 100 kilomètres. La consommation du parc se mesure – pour simplifier – au nombre de consommation moyenne de toutes les voitures vendues du même constructeur dans une année. De nombreuses règles additionnelles s'appliquent, par exemple le fait que pour chaque constructeur, on part d'une valeur limite après nivellement du poids. Cela réduit les exigences pour les constructeurs de véhicules lourds. Ainsi pour Jaguar Land Rover, la valeur limite – la plus élevée pour un constructeur – est de 130,6 g de CO_2/km *(Auto Motor und Sport 2021)*.

151 A l'origine les mesures étaient effectuées selon la procédure NEDC (New European Driving Cycle, c'est-à-dire «Nouveau Cycle de Conduite Européen»). La procédure d'essai utilisée est maintenant la WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures, c'est-à-dire la «Procédure d'essai mondiale harmonisée pour les véhicules légers»).

de 186 g/km pour les voitures de livraison et les tracteurs à sellette légers (BFE 2020b). Ces valeurs cibles servent de base pour calculer celles des parcs des importateurs. Si la valeur cible n'est pas respectée, une sanction est appliquée par gramme en trop et pour chaque véhicule nouvellement immatriculé dans l'année calendaire concernée. Les montants des sanctions sont modifiés chaque année et se basent sur les montants en vigueur dans l'UE. Actuellement le montant de la sanction par gramme de dépassement de la valeur cible est de 111 Fr. (BFE 2020c).

Obligation de compenser les émissions de CO_2

L'obligation de compenser impose la compensation du CO_2 émis par le trafic routier au moyen de réductions d'émissions dans tout autre secteur. Cet instrument a été introduit à la place de la taxe sur le CO_2 sur les carburants. Il s'applique aux importateurs d'essence, de diesel, de gaz naturel et de kérosène [152] à partir d'un seuil de 1000 tonnes de CO_2. Les coûts de la compensation sont reportés sur les consommateurs et sont donc compris dans le prix des carburants. Pour remplir leurs obligations, les importateurs doivent remettre une attestation. Ces attestations peuvent être soit obtenues au moyen de projets de compensation en Suisse ou achetées à d'autres entreprises qui ont pris un engagement de réduction et ont dégagé des prestations complémentaires (voir p. 147).

Pendant la première période d'engagement, de 2008 à 2012, la compensation était volontaire et a été mise en œuvre à l'initiative de l'Union Pétrolière (aujourd'hui : Avenergy) par la Fondation Centime Climatique. Depuis la deuxième période d'engagement, la compensation est obligatoire et l'ordonnance sur le CO_2 précise combien de pourcents d'émissions de CO_2 issues du trafic routier doivent être compensés. En 2014 et 2015, le taux de compensation était de seulement 2 %; depuis, il a été plusieurs fois augmenté : en 2020 il était de 10 %, en 2021 il passe à 12 %, ce qui correspondra présumablement à une réduction, en chiffres absolus, de 1,8 million de tonnes de CO_2 (Bafu 2020g).

Dans la première période d'engagement, la majoration était limitée à 1,5 centime par litre de carburant ; dans la deuxième période d'engagement, il est fixé à 5 centimes par litre maximum. Ces taux doivent cependant être plutôt interprétés comme un signal politique et sont à peine significatif économiquement, car les importateurs sont libres de fixer leurs prix. Ils peuvent à tout moment inclure dans leur prix, y compris sans devoir explicitement afficher le montant du supplément, les coûts additionnels qu'ils encourent du fait de leur obligation de compensation.

Fonds de technologie

Le Fonds de technologie est destiné à faciliter l'obtention de crédit pour les entreprises innovantes. La Confédération se porte caution du remboursement des crédits octroyés par des banques ou d'autres institutions. L'initiative soutient ainsi les innovations qui

152 L'obligation de compensation du kérosène ne concerne que le trafic aérien intérieur (voir chapitre 4.3.2).

Encadré 16

Les émissions grises

Les émissions de GES peuvent être considérées du point de vue de la production ou du point de vue de la consommation. Les premières comprennent les émissions de GES résultant de la production intérieure, tandis que les secondes incluent les émissions de GES causées par les produits et prestations que nous consommons. Les émissions de GES générées à l'étranger par les produits importés en Suisse sont à elles seules plus importantes que les émissions de toute notre production intérieure (voir figure 12). C'est pourquoi il est de plus en plus instamment demandé de prendre en compte ces «émissions grises» dans la politique climatique suisse. Il est vrai que ces émissions grises ont été jusqu'ici largement ignorées par les instruments de politique climatique : et les mesures de l'actuelle loi sur le CO_2 concernent exclusivement le territoire suisse.

Il existe une variété de raisons de donner la priorité au point de vue de la production :

- Premièrement, il est plus simple de mesurer les émissions de sa propre production – on voit également par conséquent clairement où une mesure est nécessaire. L'étude des émissions grises pose au contraire des problèmes méthodologiques : il serait nécessaire de s'appuyer sur les bilans écologiques étrangers concernant l'extraction des matières, la transformation et le transport, ainsi que tenir constamment à jour les données en fonction de l'état de la technique, des changements des conditions de production et des flux de marchandises.
- Deuxièmement, il est également plus simple de définir des cibles de réduction pour sa propre production car celle-ci est soumise à notre propre cadre légal et à notre propre contrôle. A l'étranger au contraire, l'influence d'un autre Etat est limité et même en partie indésirable : la communauté internationale n'a pas décidé sans raison dans le cadre de l'accord de Paris que les contributions seraient fixées à une échelle nationale.
- Enfin, la demande d'une prise en compte accrue des importations souffre également d'une contradiction interne : car d'une part le crédo de nombreux activistes climatiques est que la responsabilité de nos réductions doit être assumée entièrement par la Suisse et en Suisse, et qu'elle ne doit pas se défausser sur des compensations à l'étranger ; mais d'autre part, une plus forte prise en compte des importations dans la politique climatique suisse suggérerait précisément des compensations et des projets étrangers.

limitent les émissions de GES, réduisent la consommation de ressources, favorisent l'utilisation d'énergies renouvelables et l'efficience énergétique. Le traitement des demandes et le suivi des cautionnements ont été confiés à Emerald Technology Ventures et South Pole Carbon. Celles-ci s'assurent que les demandes répondent aux critères technologiques, et vérifient la viabilité financière de l'entreprise. Sur la base de ces critères, les demandes remises à l'Ofev sont évaluées par un comité de cautionnement composé de représentants de la Confédération et de l'économie privée. Les cautionnements sont octroyés pour une durée maximale de 10 ans. Les défauts de remboursement sont couverts par le Fonds de technologie qui est alimenté par un montant maximal de 25 millions de francs par an issu des recettes de la taxe sur le CO_2.

De 2016 à 2019, le fonds a reçu un total de 336 demandes, représentant un volume de demandes de cautionnement de 526 millions de francs. Il a accordé un cautionnement à 105 demandeurs et possédait alors un encours de 98 cautionnements – pour un montant total de 134 millions de francs. Cinq des prêts cautionnés ont dû être rem-

boursés en raison de la faillite des entreprises. Le Fonds de technologie évalue lui-même les économies d'émissions de CO_2 réalisées par 80 entreprises soumises à obligation de rapport d'émissions à 1,1 million de tonnes pour 2019 (Technologiefonds 2020) – sans évaluer combien d'émissions auraient été économisées même sans le cautionnement de ces projets. Le Fonds de technologie joue pour cette raison un rôle secondaire dans la réduction des émissions de GES dans le cadre de loi sur le CO_2, car sa contribution n'est même pas prise en compte dans le calcul du respect de la cible de réduction. Il n'est donc pas inclus dans l'analyse faite au chapitre 3.2.4, et un bref jugement est donc déjà livré ici même :

Un fonds de technologie est en général un instrument de politique dirigiste, proche d'une politique industrielle. Des projets vraiment prometteurs devraient trouver des investisseurs même sans cautionnement de l'Etat. Celui-ci augmente au contraire le risque que des projets soient soutenus bien qu'ils n'offrent qu'une faible réduction de GES relativement à un coût élevé. Il en résulte une allocation inefficiente des ressources. Aussi contestable l'instrument soit-il d'un point de vue de politique économique, ses conséquences financières pour le contribuable n'en restent pas moins (jusqu'ici) très limitées : la couverture des défauts n'a vraisemblablement pas dépassé jusqu'à présent une dizaine de millions par an.

3.2.4 Analyse comparée des mesures sur la base de ces critères

Les critères présentés en détail dans le chapitre 3.2.2 et par lesquels on peut juger du caractère libéral ou non d'une politique climatique se veulent avant tout un outil d'évaluation des mesures que l'on envisage d'adopter. Mais naturellement, il est encore plus aisé de juger de l'efficacité et de l'efficience d'un instrument avec le bénéfice du recul. C'est pourquoi nous passerons dans les paragraphes qui suivent les instruments existants au crible de nos quatre critères. Une telle évaluation est également utile pour le débat sur la révision totale de la loi sur le CO_2 (voir chapitre 4.3.2). La Suisse a mis à l'œuvre jusqu'ici presque toute la panoplie des instruments de politique climatique. Grâce aux considérations qui suivent, il sera possible de savoir quelles mesures à l'avenir devraient être renforcées, quelles autres adaptées ou bien encore abandonnées.

3.2.4.1 Analyse de l'efficacité

Taxe sur le CO_2 et Programme Bâtiments

Portée : La taxe sur le CO_2 porte sur les combustibles. En 2018, leurs émissions de CO_2, corrigées des variations d'intempéries, [153] se sont montées à 16,8 millions de tonnes de CO_2 (Bafu 2020d), ce qui correspond à une part de 36,3 % du total suisse des émissions de GES. Le Programme Bâtiments englobe aussi bien des immeubles d'usage privatif qu'à usage commercial. Ensemble, ces derniers représentaient 24,7 % des émissions suisses (Bafu 2020e). La portée de la taxe sur le CO_2 est donc plus grande que celle du

Programme Bâtiments. Ce dernier vise essentiellement les bâtiments anciens, dont il encourage la rénovation énergétique. Les nouvelles constructions, elles, doivent de toutes façons respecter les règlements d'efficience énergétique. La portée de la taxe sur le CO_2 couvre au contraire tous les bâtiments du moment qu'ils consomment des combustibles.

Degré : L'effet de réduction des deux instruments est difficile à estimer, car leurs champs d'applications se recoupent. En plus de la taxe sur le CO_2 et du Programme Bâtiments, d'autres mesures cantonales interviennent, par exemple le Modèle de prescriptions énergétiques des cantons («MoPEC») (Bafu et BFE 2018). Il faudrait en outre également tenir compte du progrès technologique et des effets d'aubaine. [154] Autant de facteurs qui peuvent conduire à des réductions de CO_2, sans rapport causal avec la mesure à évaluer en l'espèce.

Au total, ces facteurs ont conduit à une réduction de 34,5 % dans le domaine du bâtiment jusqu'en 2018 par rapport à 1990 (Bafu 2020e). Pour analyser quelle part revient à quelle mesure, il est nécessaire de faire une analyse basée sur des modèles.

- Programme Bâtiments : Infras a calculé, en tenant compte de divers effets socioéconomiques, pour la période de 2010 à 2014, que le Programme Bâtiments avait eu un effet cumulé de réduction de 0,34 million de tonnes de CO_2. Ecoplan est arrivée pour la même période à des chiffres semblables, avec 0,3 million de tonnes de CO_2, ou 0,06 million de tonnes de CO_2 par an (Ecoplan 2017). Rapportée aux 11,7 millions de tonnes d'éq.CO_2 (Bafu 2020e) émises en 2014 par le secteur des bâtiments, cette réduction correspond à un très modeste 0,5 % en pourcentage. Une nouvelle évaluation basée sur le Modèle d'encouragement harmonisé des cantons (ModEnHa) en 2015 [155] a corrigé quelques-uns des défauts identifiés par Infras et Ecoplan et que présentaient les estimations antérieures. Mais dans quelle mesure ce modèle est-il vraiment capable de saisir la contribution indépendante du Programme Bâtiments à la réduction des émissions ? La réponse reste peu claire. Le rapport annuel du programme parle des émissions globales du parc immobilier, qui avait diminué de 0,6 million de tonnes de CO_2 en 2019, «grâce au Programme Bâtiments» (Das Gebäudeprogramm 2019).

153 Comme les températures et les rayonnements solaires peuvent causer de fortes fluctuations des besoins de chauffage, les émissions effectives sont corrigées d'un facteur dit de correction climatique. Il intervient dans la détermination du taux de la taxe. Pour le respect des cibles fixées par la loi sur le CO_2 et le protocole de Kyoto, les émissions effectives sont déterminantes. Elles étaient de 15,5 millions de tonnes de CO_2 en 2018.

154 Il y a effet d'aubaine lorsque des subventions, des mesures de soutien ou d'autres incitations financières récompensent un comportement qui se serait produit même sans ces mesures ou subventions.

155 Le ModEnHa constitue une base centrale en ce qui concerne le soutien financier proposé par la Confédération et les cantons dans le domaine du bâtiment. Il dresse une liste de mesures, pour la promotion desquelles des fonds peuvent être mis à disposition par la taxe sur le CO_2 ; il fait des recommandations concernant la conception des programmes de soutien. Il sert également de base aux analyses de l'efficacité des programmes cantonaux d'encouragement.

- Taxe sur le CO_2 : Ecoplan évalue l'effet total cumulé de la taxe sur le CO_2 sur la période 2005–2015 dans une fourchette de 4,1 à 6,9 millions de tonnes de CO_2, ou pour l'année 2015 de 0,8 à 1,3 million de tonnes de CO_2 (Ecoplan 2017). Rapportée aux émissions de combustibles, cela correspond à une réduction de 4,3 % à 7,1 %. Selon Ecoplan, l'efficacité de la taxe sur le CO_2 est deux à trois fois supérieure à l'efficacité du Programme Bâtiments et des conventions d'objectifs [156] (les deux cumulés).

L'efficacité du Programme Bâtiments est limitée par l'étroite focalisation de la mesure. Au lieu de viser les émissions de combustibles, comme c'est le cas pour la taxe, le Programme Bâtiments est axé sur l'infrastructure qui favorise la consommation d'énergies fossiles. Ces infrastructures comprennent d'une part le chauffage au mazout et au gaz, qui équipent encore la plupart des foyers et qui contribuent directement aux émissions de GES du secteur. D'autre part, le programme vise également les enveloppes de bâtiments et les installations techniques («qualité énergétique»), car ces dernières sont causes d'une plus forte consommation d'énergie en raison de normes d'isolation de mauvaise qualité, et ainsi indirectement également à l'origine de plus fortes émissions de GES. [157] Le Programme Bâtiments n'a en revanche pas d'effet sur le comportement de l'utilisateur – c'est-à-dire par exemple sur la température sélectionnée dans les pièces ou sur les habitudes d'aération – et qui peuvent également, après la rénovation, avoir un effet considérable sur la consommation d'énergie. Le Programme Bâtiments ne crée donc pas en soi d'incitations à adopter des comportements plus économes. Il n'y a ainsi pas besoin non plus d'attester d'une réduction pour obtenir la subvention (Beobachter 2021).

Système d'échange de quotas d'émission (SEQE)

Portée : Le SEQE suisse rassemble 55 installations : celles-ci ont été responsables de 4,9 millions de tonnes d'éq.CO_2 en 2020. Le Contrôle fédéral des finances (CDF) estime qu'en 2014, environ 25 % des émissions dans l'industrie selon la loi sur le CO_2 étaient dues à des combustibles, tandis qu'une autre part de 25 % provenait des émissions de processus industriel et de production de ciment (Bafu et EFK 2017). Le SEQE ne privilégie pas un agent énergétique particulier. Les émissions de GES des participants sont considérées en bloc, en ce qu'à la fin de l'année ils doivent remettre des quotas d'émission pour la totalité de leurs émissions de GES. La portée du SEQE peut être jugée satisfaisante dans la mesure où dans le secteur industriel, qui est le territoire naturel du dis-

156 Les conventions d'objectifs sont semblables aux engagements de réduction (**voir 3.2.3, paragraphe sur la taxe sur le CO_2**) et sont conclues entre la Confédération ou les cantons et les entreprises. Elles servent certes aussi à la réduction des émissions de CO_2 et à l'amélioration de l'efficience énergétique, mais sont indépendantes de la loi sur le CO_2. De fait, elles sont régies par la loi sur l'Energie *(art. 46 LEne, paragr. 1)*.

157 L'attention est portée sur l'isolation thermique, les installations techniques et la rénovation du système, car ces mesures représentent la part du lion des dépenses.

positif, il couvre 50 % des émissions. Cependant en proportion à la totalité des émissions GES du pays, cette couverture se réduit à 10 %. Comparée à des SEQE étrangers, cette part est très faible. Ainsi, le SEQE-UE, avec ses près de 11 000 exploitants, couvre environ 2 milliards de tonnes d'éq.CO_2, soit une part d'environ 40 % des émissions totales de l'UE (voir chapitre 3.1.4). Ainsi la «portée» du SEQE est assez réduite.

Degré : Pour atteindre son but de réduction des GES, le SEQE actionne le mécanisme d'abaissement du plafond de quotas. La trajectoire de réduction suisse entre 2013 et 2020 enregistre une réduction de 2,9 millions de tonnes au total. Jusqu'à récemment, la couverture des quotas d'émission pouvait également s'effectuer par la remise de certificats de réduction étrangers (CER) (voir encadré 12). Cette possibilité est en principe la bienvenue parce qu'elle abaisse le coût des réductions. [158]

En revanche l'allocation gratuite des quotas est un procédé critiquable : en 2013, elle se situait avec près de 5,4 millions de tonnes tout juste en dessous des émissions de CO_2 de 5,5 millions de tonnes ; le volume d'allocations gratuites continua à être diminué très graduellement. Ce procédé se comprend certes d'un point de vue de réalisme politique : on se soucie d'un désavantage compétitif unilatéral de l'industrie nationale et on cherche à éviter de créer des incitations aux délocalisations de la production (fuite de charbon), ce qui ne bénéficierait effectivement pas au climat. Mais cela est très éloigné de l'optimum théorique d'un système cap and trade, lequel (analogiquement à la taxe sur les GES) devrait tarifier la totalité des émissions de GES (voir p. 98 et suivantes).

En 2014 fut acceptée la remise de certificats CER pour un volume de 1,2 million de tonnes d'éq.CO_2, imputées sur l'année 2013, ce qui permit aux participants d'épargner pour l'année suivante une partie de leurs quotas d'émissions reçus à titre gratuit, et ainsi même d'augmenter la limite d'émissions de GES autorisées (Bafu et EFK 2017). C'est pourquoi une pression à la baisse tarda à se manifester sur le territoire national. [159] L'efficacité du SEQE dans la première période d'engagement fut ainsi critiquée de divers angles. Cependant il ne doit pas être oublié que l'objectif de baisses cumulées de 2,9 millions de tonnes fut atteint par la force des choses – même si largement via l'achat de CER à hauteur de 2,36 millions de tonnes au total (Emissionshandelsregister 2021). [160] Ces émissions de GES ont donc été réduites à l'étranger, ce qui d'un point de vue d'efficacité climatique ne fait en réalité aucune différence. Si de nombreuses personnes

158 Seulement «en principe», parce que les coûts de réduction ont chuté par conséquent très fortement et si forte chute n'était pas le but du procédé : après la crise financière, l'offre de certificats CER issus du mécanisme MDP (CDM) dépassa rapidement de loin la demande et les CER étaient déjà devenus dès 2012 pratiquement gratuits (voir p. 126 et suivantes).

159 Un «problème» supplémentaire a été l'interruption inattendue du troisième plus grand émetteur (raffinerie Tamoil). Cela contribua à faire diminuer la demande de quotas et par conséquent les possibilités de vente, si bien que les besoins jusqu'à fin 2020 étaient pratiquement couverts.

160 Unités CER remises année après année : 2008 : 1292 ; 2009 : 25 216 ; 2010 : 2682 ; 2011 : 19 809 ; 2012 : 459 140 ; 2013 : 1 236 493 ; 2014 : 394 288 ; 2015 : 15 297 ; 2016 ; 67 678 ; 2017 : 40 131 ; 2018 : 38 459 ; 2019 : 59 927. L'«achat de réserves» des années 2012 à 2014 n'est pas critiquable en soi. Au contraire : grâce à lui, les émissions ont été réduites quelques années plus tôt qu'elles ne l'auraient été autrement.

l'ignorent, cela tient – outre le biais irrationnel largement répandu, selon lequel «A la maison c'est mieux» – à une défiance concernant la fiabilité des attestations étrangères. La crainte est que ces attestations ne soient pas associées à une réelle réduction des rejets de GES parce qu'elles recèleraient un double comptage ou un effet d'aubaine. Cette critique ne s'écartait autrefois pas d'un simple revers de main. Mais un nombre croissant de règles furent ajoutées pour améliorer la fiabilité des projets de compensation à l'étranger.

Depuis le couplage des SEQE de la Suisse et de l'UE, les CER de pays tiers ne sont plus admis. Cela représente en théorie un pas en arrière, mais en pratique – en raison de larges pans dysfonctionnels du marché des CER –, le bénéfice de l'intégration dans le SEQE-UE devrait être prépondérant pour l'efficacité de l'action de protection du climat.

Obligation de compenser les émissions de CO_2 et prescriptions concernant les émissions de CO_2 des voitures

Les émissions produites par les carburants – dont 94 % proviennent du trafic routier – se trouvaient en 2018, avec 16 millions de tonnes de CO_2, 1 % au-dessus de leur niveau de 1990 (Bafu 2020h). Elles ont atteint leur pic en 2008 et on observe depuis une baisse lente mais constante. Cependant le trafic routier affiche plutôt de mauvais résultats en matière d'émissions GES par rapport aux autres secteurs. Examinons donc de près le mécanisme de l'obligation de compensation des émissions et celui des prescriptions concernant les émissions de CO_2 des voitures.

Portée: La portée, tant pour l'obligation de compensation des émissions que pour les prescriptions concernant les émissions de CO_2 des voitures, peut être considérée comme identique dans les deux cas, puisque les deux s'appliquent au trafic. Le trafic routier représentait en 2018 un petit tiers (32,4 %) des émissions totales (Bafu 2020h). Toutefois, les prescriptions sur les émissions concernent uniquement la mise en circulation de voitures neuves, [161] alors que l'obligation de compensation a pour objet la totalité du carburant consommé. C'est pourquoi cette dernière dispose d'un bien plus grand levier d'action que les prescriptions.

Degré: Les deux mesures montrent ici des différences essentielles. Dans le cas de l'obligation de compensation, le degré est facile à évaluer car depuis 2013, un taux est fixé légalement pour indiquer combien doit être compensé ou réduit. Durant la première période d'engagement, la compensation était encore volontaire, puis le taux a été progressivement relevé. Actuellement il est de 12 %, si bien qu'en 2021 environ 1,8 million

161 Les véhicules existants, ainsi que la première mise en circulation de véhicules d'occasion étrangers en Suisse sont exonérés de ce règlement.

de tonnes d'éq.CO_2 doivent être réduites via différents projets (en Suisse) afin de remplir l'obligation de compensation (Stiftung KliK 2019). C'est un montant relativement faible. La révision totale de la loi sur le CO_2 prévoit une augmentation du taux de compensation à 15 %, pour le porter à 20 % à partir de 2025. En prenant en compte les compensations rendues nouvellement possibles à l'étranger, la loi autorise même un relèvement du taux jusqu'à 90 % (BBI 2020 7847). Cela ferait faire un bond de géant à l'efficacité de la mesure.

Dans le cas des prescriptions sur les émissions de CO_2 pour voitures de tourisme et de livraison, il est un peu plus difficile de juger le degré d'efficacité. Il faut pour cela distinguer entre une extension quantitative (nombre de voitures et passagers-kilomètres) et la hausse de l'efficience. En 2018, 6,2 millions de véhicules à moteur étaient immatriculés en Suisse, ce qui représente une hausse de 48 % par rapport à 1990. Les voitures de tourisme constituaient environ les trois quarts de tous les véhicules immatriculés (+54 % depuis 1990) (Bafu 2020h). Parallèlement, le kilométrage total des voitures de tourisme a atteint la même année 59,3 milliards de véhicules-kilomètres (+39 % depuis 1990) (Bafu 2020h). Malgré la nette hausse du parc et du kilométrage, les émissions de GES des voitures de tourisme n'ont augmenté que de seulement 7 %. Cette performance a été rendue possible par les gains d'efficience des moteurs : la consommation de carburant (g de CO_2/km) des voitures de tourisme a chuté de 23 % de 1990 à 2018 (Bafu 2020c). [162] Il existe donc un effet de réduction, même si récemment les valeurs cibles de la Suisse n'ont pas été vraiment atteintes : en 2018, la valeur moyenne d'émission de CO_2 des voitures de tourisme nouvellement immatriculées en Suisse était de 138 g/km, soit un peu au-dessus de l'objectif de 130 g (BFE 2020c). Le vrai problème des prescriptions sur les émissions de CO_2 est que la question des extensions quantitatives est complètement mise de côté. C'est l'une des raisons pour lesquelles les émissions de GES ont globalement augmenté.

S'ajoute à cela que les gains d'efficience des voitures évoqués ci-dessus ne doivent pas grand-chose aux progrès réalisés en Suisse, qui n'a pas même d'industrie automobile. Ainsi les rythmes de baisse accélérés s'observent dans la période intermédiaire (2009–2011), avant même que les prescriptions ne soient introduites en 2012 et que la loi révisée sur le CO_2 de 2013 n'entre en vigueur. Dans cette phase intermédiaire, tout le marché était cependant dans une phase de recul en raison de la crise financière et économique, et divers projets politiques furent lancés qui visaient à réduire les émissions de CO_2 des parcs de voitures de tourisme (BFE 2020c). En outre, les annonces de la réglementation de l'Union européenne sur les émissions sont intervenues à cette

162 Cette diminution surévalue cependant un peu la réalité du progrès réalisé. Entre la consommation normalisée et la consommation réelle, on observe une différence croissante en raison de l'optimisation opérée par les constructeurs sur le cycle de conduite mesuré (en conditions de laboratoire). Le passage au WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures) réduit cette différence, mais aussi longtemps que la mesure ne se fera directement en condition de circulation réelle, il est vraisemblable que des écarts subsistent.

époque. Comme dans l'UE ces règles s'appliquent directement aux constructeurs, ces derniers adaptèrent leur offre en conséquence. De fait, au niveau de l'UE également, environ deux tiers des baisses d'émissions annuelles peuvent être attribuées à l'introduction des nouvelles règles européennes (Gibson et al. 2015). La réglementation suisse s'applique au contraire sur les importateurs. Ainsi cette réglementation peut tout au plus baisser la demande interne en véhicules à forte consommation d'énergie, ce qui ne peut exercer qu'une incitation bien marginale sur la production de véhicules à basse consommation à l'étranger. L'efficacité des prescriptions suisses sur la réduction des émissions a par conséquent certainement un niveau proche de zéro.

3.2.4.2 Analyse de l'efficience

Taxe sur le CO_2 et Programme Bâtiments

La taxe sur le CO_2 agit directement sur l'utilisation de combustibles et donc sur les émissions de GES elles-mêmes. Elle a pour assiette la consommation réelle, indépendamment de si cette consommation est due au comportement de l'utilisateur ou à la qualité énergétique du bâtiment. Les coûts de la taxe sur le CO_2 dépendent donc directement des émissions. Au contraire, le Programme Bâtiments se concentre sur la qualité énergétique des bâtiments : 50 % des fonds du programme ont été utilisés en 2019 pour l'isolation thermique (principalement des toits et des façades), 23 % pour la rénovation structurelle (enveloppe du bâtiment avec éventuellement changement du système de chauffage) et 14 % pour les installations techniques (installations de chauffage) (Das Gebäudeprogramm 2019). Le coût du Programme Bâtiments n'est donc pas directement attribuable à la réduction des émissions de GES. Ce découplage limite l'efficience de la mesure.

Cette constatation n'est absolument pas nouvelle : déjà en 2016, le Conseil fédéral indiquait dans un rapport qu'il existait des mesures plus efficaces que le Programme Bâtiments, mais qu'elles n'étaient pas à ce jour politiquement réalisables (Bundesrat 2016). L'Ofen explique lui aussi que le Programme Bâtiments est plutôt conçu comme une aide à l'investissement (Beobachter 2021). Le programme vise à donner une incitation aux travaux de rénovation, en particulier pour les logements en location où cette incitation faisait jusqu'alors défaut, parce que les propriétaires peuvent répercuter sur les locataires le surcoût de la fourniture de chaleur, à travers le décompte de charges (Bundesrat 2016).

Le désir du politique de remédier à ces situations est compréhensible, cependant la mise au point des mesures devrait prêter attention également à l'efficience. Ainsi une étude mandatée par l'Ofev a fait une évaluation de rénovations de bâtiments comportant différents degrés d'interventions énergétiques : l'étude a montré que l'optimum énergétique et économique des rénovations peut être atteint avec une rénovation ciblée, visant certains éléments de construction de l'immeuble, ou en suivant les prescriptions du MoPEC (Bafu 2019c). Des rénovations généralisées de fonds en combles, en

suivant par exemple les normes Minergie, sont en revanche associées à des coûts nettement plus élevés pour en comparaison une faible réduction supplémentaire de CO_2. Cela se traduit par des coûts élevés par tonne de CO_2 supprimée. [163] Le rapport annuel du Programme Bâtiments indique pour 2019 des coûts d'évitement de 205 Fr. par tonne de CO_2. A l'intérieur même du Programme Bâtiments, il est intéressant de constater que l'efficience des différentes mesures divergent énormément : tandis que la rénovation de structures et l'isolation thermique entraînent des coûts de respectivement 500 Fr. ou 300 Fr. par tonne, une installation «chauffage centrale» revient seulement à 59 Fr. par tonne (Das Gebäudeprogramm 2019, p. 6).

Système d'échange de quotas d'émission (SEQE), obligation de compensation du CO_2 et prescriptions concernant les émissions de CO_2

Dans un SEQE, les prix des quotas d'émission et des attestations reflètent les coûts d'évitement des GES. La raison en a déjà été donnée, et on a vu également comment les échanges créent un rapport coût-bénéfice optimal : voir à ce sujet les chapitres 2.2.3 et 3.2.2.

Le mécanisme d'obligation de compensation fonctionne similairement à celui d'un SEQE, même si aucun échange de quotas n'y prend place à proprement parler. La quantité de GES à réduire est donnée d'avance par le taux de compensation et en fin d'année, elle doit être couverte par des attestations pour que l'obligation de compensation soit satisfaite. Une attestation correspond à un certain volume vérifié de réduction. Les importateurs de carburants, qui sont assujettis à l'obligation de compensation, ne peuvent cependant pas réaliser eux-mêmes une réduction de CO_2 ; ce ne sont pas eux qui causent les émissions. A la place, ils achètent des attestations, que l'Ofev a octroyées à des projets ou à des programmes en mesure de prouver une réduction de GES – ainsi, le prix de l'attestation correspond ici aussi au prix de l'évitement. Les projets peuvent provenir de divers domaines, ce qui permet aux réductions d'être effectuées là où elles ont le plus de sens. Néanmoins, la loi actuelle sur le CO_2 impose – et ce n'est pas une légère contrainte – que ces compensations aient lieu en Suisse exclusivement. Avec la révision totale, l'obligation de compensation doit être augmentée jusqu'à un taux de 90 %, en contrepartie il serait possible d'obtenir ces compensations à l'étranger, jusqu'à hauteur de 75 points de pourcentage (jusqu'en 2025) ou 70 points de pourcentage (ensuite). Cela augmenterait significativement l'efficience de la mesure.

Les coûts que supportent les importateurs de carburants sont répercutés sur les clients, pour lesquels ils jouent le rôle d'un prix du CO_2, ce qui représente une incitation supplémentaire à éviter d'en émettre. Le supplément de prix qui en résulte à la pompe n'a pas un grand poids parmi toutes les taxes sur les carburants déjà existantes,

163 La méthode n'est cependant pas entièrement correcte d'imputer la totalité des coûts encourus à la réduction du CO_2 : les efforts supplémentaires des normes Minergie servent pour une part essentielle également au confort de vie (meilleure aération des espaces, moins de bruit, etc.).

et il ne faut donc pas attendre de grandes nouvelles réductions d'émissions via un tarissement du côté du canal de la «demande de carburants».

En plus de l'obligation de compensation, des prescriptions sur les émissions de CO_2 s'appliquent au trafic routier. Cette mesure est un bon contre-exemple, avec lequel on peut montrer pourquoi une mesure n'a qu'une efficience limitée si la charge qu'elle introduit ne pèse qu'indirectement sur des émissions de GES. La mesure définit ici des valeurs cibles pour le parc automobile, dont elle entend diminuer les émissions moyennes de CO_2. Il est ainsi clairement défini comment des émissions doivent être éliminées de la circulation, à savoir par le développement de véhicules à plus grande efficience énergétique. Comme l'attention est focalisée sur un objet particulier, en l'occurrence la voiture et son efficience, toutes les autres variables qui influencent les émissions lors de la circulation, sont perdues de vue. C'est une approche incorrecte : la possession d'un véhicule, quelle que soit sa consommation de carburant, ne dit rien encore de ses véritables émissions de CO_2 : une Lamborghini Aventador S (émissions de CO_2 : 394 g par kilomètre *parcouru*), qui reste quasiment toute l'année au garage, pourrait avoir un bien meilleur résultat écologique qu'une Skoda Octavia TSI-EVO (110 g/km), qui est utilisée tous les jours pour aller au travail. Ainsi la prescription ne sanctionne en réalité que l'achat de certaines voitures, et non l'émission de CO_2, qui ne commence que lorsqu'on roule.

Par conséquent, une prescription de ce type ne tirera pas non plus le maximum des coûts nécessaires à sa mise en application : si à sa place, le prix du carburant était augmenté, cela encouragerait également les constructeurs à développer des moteurs économiques, et surtout, cela créerait une incitation à moins rouler, ou bien de façon plus économe.

3.2.4.3 Analyse de la vérité des coûts et de la neutralité technologique

Deux des mesures examinées ici ne sont pas des mesures orientées sur les prix, et ne peuvent donc pas établir une vérité des coûts : ce sont le Programme Bâtiments et les prescriptions sur les émissions de CO_2. Les autres mesures au contraire, taxe sur le CO_2, SEQE et obligation de compensation, donnent un prix pour le CO_2.

- La taxe sur le CO_2 prend le parti d'en déterminer administrativement le prix. Elle est explicitement conçue comme une taxe d'incitation, c'est-à-dire qu'elle vise en premier lieu à influer sur le comportement des acteurs, et non en soi à l'établissement de la vérité des coûts. Le taux de prélèvement est rehaussé si la réduction souhaitée n'est pas atteinte (voir p. 141). Le taux maximal fixé dans la loi en vigueur jusqu'ici (120 Fr./tonne) est supérieur à la recommandation de la «Commission de haut niveau sur les prix du carbone» («High Level Commission on Carbon Price») pour un prix mondial du CO_2 compris entre 50 et 100 $ (voir p. 93). Le taux effectif se situe à 96 Fr./tonne, soit à l'extrémité supérieure de ce corridor de prix. La vérité du coût est donc bien assurée. Avec la révision totale de la loi, une augmentation du taux jusqu'à 210 Fr./

tonne serait possible. Un tel niveau dépasse nettement la tarification nécessaire pour établir la vérité des coûts.

- Avec le SEQE, le prix résulte des échanges des quotas d'émission. La vérité du coût a été compromise jusqu'ici dans le SEQE, parce que l'allocation gratuite de quotas d'émission a empêché de créer une vraie rareté. Si l'on voulait à tout prix créer la vérité des coûts dans ce système, il faudrait que les rejets de GES soient tarifés non seulement lorsqu'ils dépassent une certaine quantité cible, mais aussi toute émission quelle qu'elle soit.
- Avec l'obligation de compensation également, le prix est fixé au moyen d'échanges d'attestations. La vérité des coûts est meilleure que dans le SEQE, car l'obligation de compensation ne commence pas à partir d'un certain seuil, mais dès la première tonne. Le prix que les importateurs doivent payer pour une tonne de CO_2 à compenser, correspond réellement aux coûts qui sont nécessaires à la réduction d'une tonne de CO_2. Cependant dans la loi sur le CO_2 actuelle, seules les compensations à l'intérieur de la Suisse sont autorisées, ce qui présente un risque que le prix ne se fixe à une valeur trop haute.

La neutralité technologique peut se vérifier également rapidement : si les acteurs concernés peuvent décider eux-mêmes comment ils souhaitent réaliser la réduction ciblée, alors la neutralité technologique est assurée. C'est bien le cas dans trois des cinq mesures, mais non avec le Programme Bâtiments ni avec les prescriptions sur les émissions de CO_2. Ces deux dernières mesures indiquent comment les émissions doivent être réduites, dans le secteur du bâtiment (par des rénovations, qui doivent suivre des règles précise) ou dans le trafic routier (par l'efficience des véhicules, avec une préférence accordée, grâce aux «supercrédits», aux hybrides-plug-in et aux voitures électriques). La taxe sur le CO_2, le SEQE et l'obligation de compensation se contentent au contraire de tarifer directement les émissions de GES et donc de créer une incitation à en moins rejeter.

3.2.5 Synthèse de l'évaluation des mesures existantes

Pour conclure, nous proposons une évaluation synthétique des mesures de la loi révisée sur le CO_2 (dans sa version de 2013) telles qu'analysées ci-dessus. [164] Les évaluations se basent sur une mise en œuvre aujourd'hui, dans les conditions de politique réelle (état : mars 2021) et non pas sur le potentiel économique théorique de la mesure pour satisfaire tel ou tel critère. Les données n'étant pas suffisantes pour une comparaison quantitative, les résultats sont présentés sous forme qualitative au moyen de diagrammes

164 Les mesures contenues dans la révision totale de la loi sur le CO_2 – objet de la votation du 13 juin 2021 – sont discutées au **chapitre 4.3.3.** Le Fonds de technologie est également exclu ici de l'analyse, en raison de la place secondaire qu'il occupe dans le cadre de la loi sur le CO_2 en vigueur. Le niveau de réduction qu'il apporte n'est pas directement inclus dans le calcul de respect/distance de la cible de réduction **(voir p. 150)**.

Figure 27

Evaluations comparées des mesures pour le climat

Trois des cinq mesures de la loi sur le CO_2 affichent de bons résultats. Le Programme Bâtiments, ainsi que les prescriptions concernant les émissions de CO_2 des voitures neuves ne peuvent compter ni sur leur efficacité ni sur leur vérité de coûts, tout en présentant un déficit de neutralité technologique.

	Taxe CO_2 sur les combustibles	Programme Bâtiments	Système d'échange quotas d'émission	Obligation de compensation pour les carburants	Prescriptions sur émissions CO_2 voitures neuves
Efficacité	◔	○	◔	◑	○
Efficience	◕	◔	●	◕	◑
Vérité des coûts	◕	○	◑	◕	○
Neutralité technologique	●	○	●	●	◕

Source: propre presentation

circulaires (appelés boules de Harvey) résumant l'évaluation pour chaque mesure et critère (voir figure 27).

Plus en détail, pour chaque critère.

Efficacité:

- Pour l'efficacité, l'obligation de compensation pour carburants se démarque positivement. Elle agit sur près d'un tiers des émissions de GES suisses, même si pour le moment, seules 12 % des émissions causées par le trafic routier doivent être compensées.
- Moins efficaces s'avèrent la taxe sur le CO_2 prélevée sur les combustibles et le système d'échange de quotas d'émission (SEQE). Tandis que la taxe peut gagner des points par sa large portée (assise sur un bon tiers de toutes les émissions), son degré d'action, entre 4,3 % à 7,1 % sur dix ans, est relativement faible. Le SEQE a une portée nettement plus réduite: il ne concerne que 55 installations de production, qui causent ensemble 10 % de toutes les émissions de GES en Suisse. Il ne couvre donc qu'une faible part du total des émissions suisses de GES, en comparaison avec le SEQE de l'UE qui regroupe 40 % des émissions. Son facteur de réduction annuelle – et donc son degré d'efficacité – était de 1,74 % jusqu'à 2020 et est de 2,2 % à partir de 2021, semblable à celui de l'UE.
- Le Programme Bâtiments et les prescriptions sur les émissions de voitures neuves font pâle figure en termes d'efficacité. Le premier se concentre sur l'infrastructure (production de chaleur, isolation) – laissant de côté le comportement des usagers (pousser le chauffage). Un reproche semblable peut être adressé aux prescriptions sur les émissions des voitures neuves. Même si les objectifs techniques sont remplis,

il n'en ressort aucune incitation à adopter un comportement plus économe, autrement dit de moins utiliser sa voiture.

Efficience :

- Le SEQE se taille la meilleure part en termes d'efficience. La raison en est le couplage du système suisse avec le SEQE de l'Union européenne. A l'intérieur de l'Europe, les efforts de réduction de GES sont effectués là où ils sont les moins coûteux à faire. Il serait encore plus efficient d'avoi un SEQE mondial – mais le vœu semble irréaliste (voir chapitre 4.1.3). [165]
- La taxe sur le CO_2 et l'obligation de compensation sont assez efficientes. Elles tarifient directement les émissions de GES ou les énergies qui en sont à l'origine, et permettent ainsi un rapprochement des coûts marginaux d'évitement des acteurs. Cela conduit à nouveau à ce que les réductions d'émission soient effectuées où elles sont les moins coûteuses. Un défaut est la focalisation sur le territoire national. La taxe sur le CO_2 vise à créer une incitation à l'intérieur de la Suisse et ignore par-là qu'une réduction de même montant à l'étranger pourrait être nettement moins coûteuse. Les importateurs concernés par l'obligation de compensation doivent acquérir un nombre suffisant d'attestations de l'Office fédéral de l'environnement, qui finance avec les recettes des projets ou des programmes de réduction ; la mesure reste concentrée – comme pour la taxe sur le CO_2 –sur la Suisse.
- L'efficience est à la peine avec le Programme Bâtiments et les prescriptions sur les émissions des voitures neuves : en effet, ces mesures subventionnent ou taxent des objets, au lieu des émissions GES elles-mêmes. Les émissions liées à l'usage qui est fait de l'objet restent financièrement indemnes avec ces deux mesures. Du moins les prescriptions sur les émissions ont-elles recours à une charge, et non à une aide financière comme pour le Programme Bâtiments. Ce dernier se révèle, avec son coût de jusqu'à 450 millions de francs par an, comme une mesure très coûteuse en comparaison de son effet de réduction.

Vérité des coûts :

- La vérité des coûts ne peut être établie, par définition, que lorsque la mesure de protection climatique en question possède un mécanisme de prix. Par conséquent, seules la taxe sur le CO_2, l'obligation de compensation, ainsi que – à quelque distance – également le SEQE, réussissent à obtenir de bons scores ici. Le SEQE est à la traîne parce qu'une large part des quotas d'émission est allouée gratuitement.
- Le Programme Bâtiments et les prescriptions sur les émissions automobiles n'établissent pas de vérités sur les coûts. Ils essaient d'infléchir des comportements, mais restent insensibles à l'idée d'internalisation des coûts.

165 Avant le couplage, des quotas étrangers (y compris d'origine hors EU) pouvaient être pris en compte dans les SEQE de Suisse. Cela n'est plus possible aujourd'hui.

Neutralité technologique :

- La taxe sur le CO_2, le SEQE et la compensation préservent entièrement la neutralité technologique. Ces mesures obtiennent donc un cercle plein.
- Les prescriptions sur les émissions des voitures neuves laissent du moins la liberté de choix entre différents modes de motorisation. Mais les véhicules déjà en circulation ne sont pas concernés par cette mesure ; il n'est pas non plus considéré si un véhicule électrique (qui obtient les «supercrédits» les plus enviables) est rechargé de façon neutre pour le climat. Les véhicules hybrides-plug-in bénéficient en outre des avantageux cycles de mesure en vigueur. [166]
- Le Programme Bâtiments prescrit en détail comment les réductions d'émissions doivent être réalisées. Le critère de la neutralité technologique n'est donc pas satisfait.

Dans l'ensemble, les mesures qui satisfont le mieux les exigences sont les trois mesures de protection du climat qui s'appuient plus fortement sur les mécanismes de marché et visent directement les émissions : la taxe sur le CO_2 prélevée sur les combustibles, le système d'échange de quotas d'émission, et l'obligation de compensation pour les carburants. Leurs résultats sont nettement meilleurs que ceux du Programme Bâtiments et des prescriptions sur les émissions de voitures neuves, d'inspiration plus fortement dirigiste. Néanmoins même les trois premières mesures citées ont encore des marges d'amélioration. En particulier pour l'efficacité, qui pourrait – en étendant davantage ces mesures– être substantiellement augmentée. Quant à l'efficience également, elle peut progresser et c'est surtout ici la concentration des mesures dans les seules limites nationales qui a pesé en leur défaveur.

166 Dans l'usage réel, souvent, les propriétaires d'hybrides-plug-in ne rechargent pas leur véhicule, si bien que le véhicule circule avec des carburants fossiles et un poids supplémentaire (moteur électrique) *(NZZ 2021)*.

4 Approches futures de la politique climatique

4.1 Approches mondiales de la réduction des émissions

Pour lutter contre le changement climatique, l'approche la plus efficace est une approche globale dans laquelle tous les pays participent et respectent leurs engagements. En ce qui concerne le réchauffement de la planète, l'endroit du monde où les GES sont émis n'a pas d'importance : que ce soit dans une centrale à charbon près de Pékin, dans une centrale à gaz près de Berlin ou par un camion sur l'A1 autour de Berne – c'est la quantité qui compte. Ce qui compte le plus en termes d'efficacité, ce sont les instruments utilisés pour réduire les GES. Il peut s'agir d'interdictions, de réglementations, de taxes ou d'échanges d'émissions, pour ne citer que les plus importantes. Le chapitre 4.1 évalue ces approches théoriques à l'aune de la réalité politique mondiale.

4.1.1 Interdictions et réglementations

Le problème du climat ne se résoudra pas si quelques émetteurs procèdent à des réductions importantes tandis que d'autres ne font rien - une approche globale est nécessaire. L'Accord de Paris (voir chapitre 3.1.2) en fournit la base, mais la critique demeure : trop peu, trop tard, trop injuste. Il vaut mieux agir «tous azimuts» maintenant et réduire les émissions des pays industrialisés à zéro d'ici à 2030, plutôt que d'atteindre la neutralité climatique d'ici à 2050 de manière coordonnée au niveau international. Une telle stratégie repose sur au moins trois erreurs de raisonnement :

Premièrement, elle ne reconnaît pas que les mécanismes doivent être acceptés pour être efficaces. Les états d'urgence et les interdictions extrêmes peuvent être acceptés et efficaces à court terme dans le cas de catastrophes locales soudaines, mais ce sont des instruments inadaptés à la lutte durable contre le changement climatique. Quiconque veut lutter contre le réchauffement doit garder la tête froide et avoir une stratégie à long terme soutenue par les parties prenantes.

Deuxièmement, la référence à la «dette historique» et à la richesse des pays industrialisés ne tient pas la route. L'«avance» des pays développés en matière d'émissions diminue (voir figure 13 pour l'exemple de la Suisse), et l'utilisation de combustibles fossiles est de moins en moins une condition préalable à la création de richesses. Les émissions de GES par franc de produit intérieur brut généré ont rapidement diminué. Le protocole de Kyoto a fixé des objectifs de réduction uniquement pour les économies développées, tandis que les autres pays n'étaient pas tenus de prendre des mesures ou pouvaient

même en bénéficier financièrement par le biais du MDP (mécanisme de développement propre, voir encadré 12).

Troisièmement, un effort individuel des pays industrialisés, ou de l'Europe seule, par exemple, ne donnerait que peu de résultats. La raison en est le paradoxe vert : la diminution de la demande associée à l'épargne d'un seul continent rend les combustibles fossiles moins chers pour tous les autres consommateurs si le volume de production reste inchangé. Au niveau mondial, les émissions ne sont pas réduites, malgré les efforts des différents pays (voir chapitre 2.2.5). [167]

Les interdictions ne sont pas adaptées à la résolution du problème climatique

Trois approches de la coopération internationale sont envisageables ; elles diffèrent non seulement en termes d'intervention dans l'économie et de compétences des États-nations, mais aussi en termes de leur réelle faisabilité.

Un instrument de réduction des émissions mondiales de GES pourrait être l'interdiction. Il ne s'agirait pas d'une nouveauté, puisque les émissions qui détruisent la couche d'ozone (et qui ont également une incidence sur le climat) ont déjà été interdites une fois au niveau international de manière contraignante en vertu du droit international. [168] Le **«Protocole de Montréal»** a été promulgué en 1989 et a immédiatement couvert les deux tiers des émissions mondiales correspondantes (Keohane et al. 2017). Il s'agit du premier traité de l'histoire de l'ONU qui a finalement été ratifié par tous les membres. Pour cela, les États participants ont même accepté qu'une majorité de deux tiers soit suffisante pour ajouter à la liste des gaz affectés sur la base de nouvelles découvertes scientifiques. L'acceptation a été favorisée par la création d'un fonds multilatéral destiné à aider les pays en développement à effectuer la transition. En outre, les progrès technologiques ont permis d'utiliser des alternatives rentables aux gaz interdits.

La situation de départ pour les émissions de GES, en premier lieu le CO_2, est différente : ce n'est pas seulement une partie de l'industrie qui est touchée (comme c'était le cas à l'époque), mais tous les secteurs. Les technologies alternatives ne sont pas encore prêtes à être commercialisées partout et ne sont donc pas rentables ou largement disponibles. Une interdiction des GES – surtout si elle est introduite rapidement – réduirait brusquement la croissance. L'acceptation politique d'une telle mesure est tout simplement improbable. Si l'interdiction va jusqu'à interdire les procédés qui émettent des GES, il ne sera plus intéressant de rechercher des technologies permettant de capter et de lier les GES émis directement à la source ou de les éliminer de l'atmosphère. Les options technologiques futures sont cruciales pour réduire les pertes de bien-être ou les empêcher de se produire.

167 Pour contrer le paradoxe vert, les pays pourraient recevoir une compensation directe pour laisser dans le sol des combustibles fossiles tels que le pétrole et le gaz. Il est déjà question, par exemple, que le Brésil laisse sa forêt tropicale intacte en échange d'une compensation. La compensation pour laisser les combustibles fossiles dans le sol serait en principe la même.

168 Il s'agit principalement des émissions d'hydrocarbures halogénés (HCFC), de chlorofluorocarbures (CFC) ou d'hydrocarbures bromés. Il ne comprend pas le protoxyde d'azote (gaz hilarant), qui provient principalement des engrais azotés, de l'élevage et des processus industriels. Le protoxyde d'azote joue un rôle important dans la réduction des émissions de GES.

Les normes ou réglementations relatives aux produits et aux processus ne sont pas non plus très adaptées.

Une alternative réglementaire serait l'introduction, à l'échelle mondiale, de **normes ou de réglementations** contraignantes **en matière de produits et de processus** afin d'accroître l'efficacité. Un exemple : l'introduction des **limites de consommation des flottes** dans l'UE (la réglementation s'applique également en Suisse) stipule que les constructeurs automobiles doivent respecter pour 2020 une limite supérieure de 95g CO_2/km pour les nouvelles voitures vendues. Dans le cas contraire, des pénalités sont dues en fonction de l'écart par rapport à la valeur cible et du nombre de véhicules vendus. Cette mesure a pour but d'inciter à inclure des véhicules à émissions nulles ou au moins à faibles émissions dans le portefeuille et de stimuler leurs ventes (voir chapitre 3.2.2).

L'introduction de normes de produits et de processus exige du législateur qu'il définisse exactement comment, par exemple, la consommation moyenne est mesurée, ce qui se passe en cas d'écart, quelles exceptions ou facilités s'appliquent, etc. Les litiges juridiques avec les fabricants conduisent à détailler davantage la loi. Au niveau mondial, une telle approche est illusoire. Même si tous les fabricants respectent la législation applicable, cela ne garantit pas que les objectifs climatiques primordiaux seront atteints. [169] En effet, la quantité émise dépend de nombreux facteurs, tels que l'évolution économique ou le comportement des utilisateurs.

En outre, la fixation de normes de produits et de processus n'est pas neutre sur le plan technologique et est économiquement inefficace, puisque les émissions ne sont pas nécessairement réduites là où cela serait possible au moindre coût. En outre, il y a le problème des droits acquis. Dans l'exemple des véhicules mentionné ci-dessus, la valeur limite ne s'applique qu'aux voitures neuves ; une extension à tous les véhicules – qui devraient être retirés de la circulation ou dont les propriétaires devraient payer de lourdes amendes - contredit la compréhension occidentale traditionnelle de la loi. [170]

4.1.2 Taxe sur les gaz à effet de serre

Un instrument fréquemment mentionné pour réduire les GES est l'introduction d'une **taxe** mondiale **sur les GES**. L'un des points de discussion sera probablement, premièrement, le «bon» niveau de la taxe. S'il est trop bas, il aura peu d'effet ; s'il est trop élevé, il ne sera pas accepté en raison des coûts d'ajustement élevés. Aujourd'hui, il existe une multitude de prix des GES dans le monde, et des discussions épiques ont lieu sur

169 Par exemple, la valeur limite susmentionnée pour les véhicules ne prend en compte que les émissions moyennes par kilomètre et non le kilométrage annuel. Une voiture lourde à forte consommation qui ne parcourt que quelques milliers de kilomètres par an enfreint la limite supérieure, mais peut émettre moins de CO_2 qu'une petite voiture à faible consommation moyenne qui respecte la réglementation mais parcourt 20 000 kilomètres par an.

170 L'effet rétroactif d'un arrêté est délicat et crée une insécurité juridique. En Suisse, l'initiative sur la fiscalité des successions (rejetée en 2015) aurait prévu une telle rétroactivité. Malgré l'absence d'effet rétroactif, les restrictions à l'utilisation des véhicules à carburant fossile sont susceptibles d'augmenter, par exemple en ne leur permettant plus d'accéder aux centres-villes. À Lausanne, une interdiction correspondante à partir de 2030 est en discussion *(SRF 2021)*.

ce que serait le «bon prix» pour une tonne d'éq.CO_2 (voir encadré 17 et p. 93). Faut-il imputer uniquement les coûts climatiques effectivement causés ? Selon le principe économique de l'internalisation des externalités, la réponse est «oui». Cela peut sembler simple en théorie, mais c'est presque impossible à mettre en œuvre dans la pratique.
En effet, la quantification objective se heurte à des limites scientifiques et, dans de nombreux cas, les idées politiques jouent donc un rôle important dans la détermination du prix.

Encadré 17

Tarification mondiale des émissions de GES

Selon une étude de la Banque mondiale, un prix mondial des GES de 40 à 80 dollars pour 2020 et de 50 à 100 dollars par tonne d'éq.CO_2 pour 2030 est nécessaire pour atteindre l'objectif climatique de Paris «inférieur à deux degrés» (High-Level Commission on Carbon Prices 2017). En 2021, grâce à 61 initiatives (31 ETS et 30 taxes sur les GES), 23,2 % des émissions mondiales de GES sont déjà tarifées, mais moins de 5 % des prix se situent entre les 40 et 80 dollars considérés comme nécessaires. La moitié des prix sont inférieurs à 10 dollars (Stavins 2019; World Bank 2021), et le prix moyen du CO_2 de toutes les émissions au niveau mondial (y compris celles qui ne sont pas tarifées) ne devrait être que de 2 dollars par calcul (Parry 2019). Cela n'incite guère à investir dans les technologies d'atténuation des GES. [171]

En 2018, une étude de l'OCDE est parvenue à un prix cible par tonne d'éq.CO_2 d'au moins 30 dollars, [172] qui n'est pas atteint pour 76,5 % des émissions de GES des 42 membres de l'OCDE et du G-20 (ce qu'on appelle l'écart de tarification du carbone), (OECD 2018b). [173] En 2012, le chiffre était encore de 83 %, en amélioration, mais seulement lentement. Au rythme actuel, il faudrait encore attendre 2095 pour atteindre l'objectif de prix – les objectifs climatiques de l'Accord de Paris seraient clairement manqués.

Une autre étude de la Banque mondiale (2020b) a recensé plus de 50 mécanismes de tarification des GES dans le monde, dont 30 taxes sur les GES et 21 systèmes d'échange de quotas d'émission de GES. Dans l'ensemble, seuls les mécanismes les moins performants atteignent la fourchette de prix cible de 40 à 80 dollars (voir figure 28).

De manière inattendue, l'écart de prix du carbone pour le secteur des transports est le plus faible, à 58 %. Cela est dû au fait que l'étude n'inclut pas seulement les taxes sur les GES ou le prix des GES dans le SEQE, mais aussi les surtaxes sur les combustibles fossiles, qui sont par exemple purement motivées par des raisons fiscales. [174] Celles-ci rendent également les combustibles fossiles plus chers que les alternatives. [175]

171 La disproportion est d'autant plus grande que des secteurs de l'économie bénéficient de subventions pour l'utilisation de combustibles fossiles. Dans le cadre de la coalition internationale «Friends of Fossil Fuel Subsidies Reform», la Suisse fait campagne pour l'abolition de ces subventions *(UNO 2020)*.

172 Selon l'étude de l'OCDE (2018a), le minimum de 30 dollars correspond au dommage effectif causé par une tonne d'éq.CO_2 ; un prix médian suppose 60 dollars pour 2020, soit le minimum en 2030.

173 La Suisse a enregistré une valeur de 26,6 % et est ainsi en tête du groupe de pays examinés. En d'autres termes, selon les calculs de l'OCDE, un peu plus d'un quart seulement des émissions de GES de la Suisse peuvent être émises à un prix inférieur à 30 dollars.

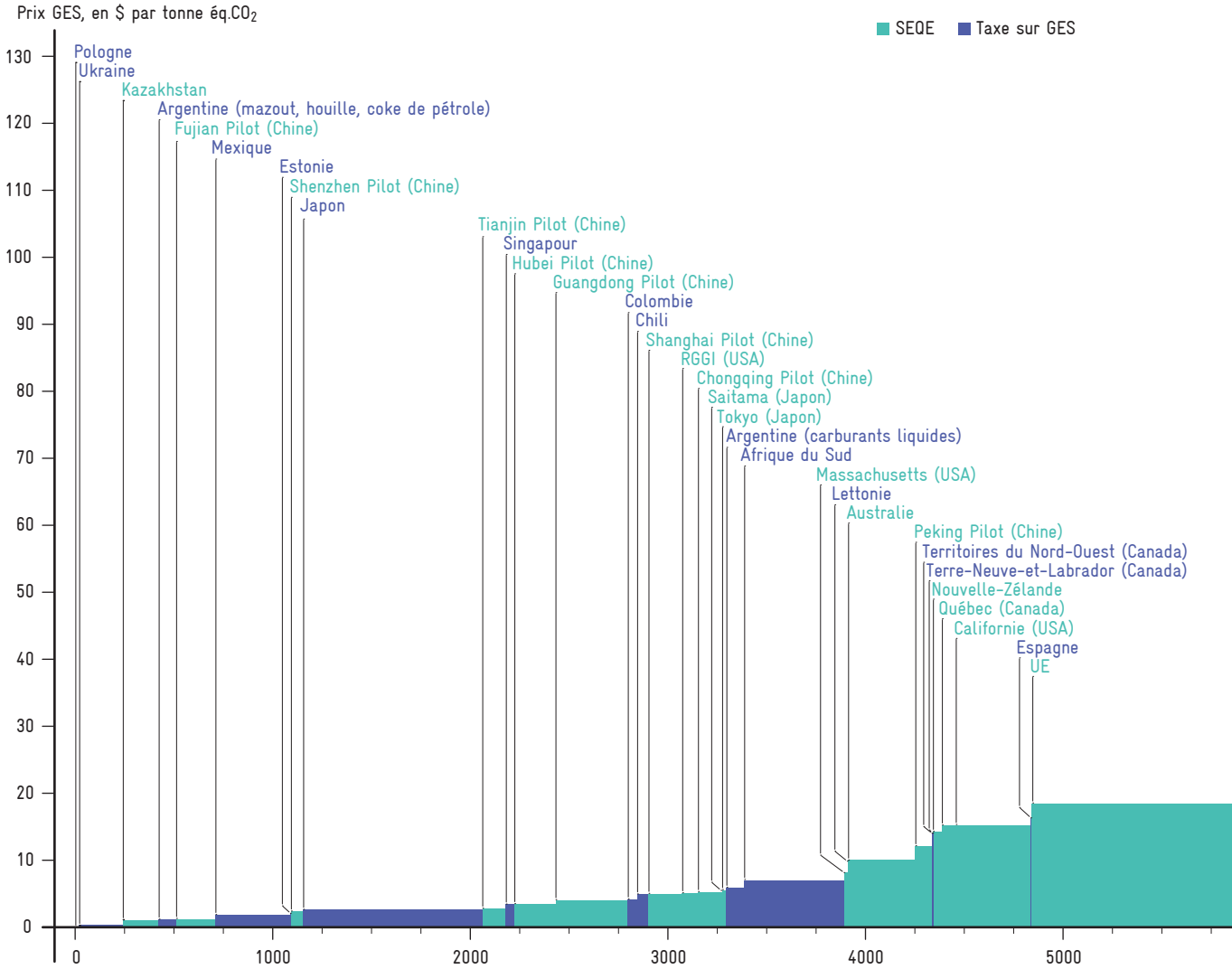
174 En raison des systèmes de taxation existants, les coûts de l'introduction d'une surtaxe sur les GES dans les carburants devraient être minimes par rapport à d'autres secteurs.

175 Si, dans de nombreux pays, les surtaxes sur les carburants sont déjà suffisamment élevées pour couvrir les dommages liés aux émissions de GES, elles sont trop faibles pour couvrir toutes les externalités associées au transport (par exemple, les coûts de congestion, le bruit, les accidents, la pollution atmosphérique).

Figure 28

SEQE et taxes mondiales sur les GES

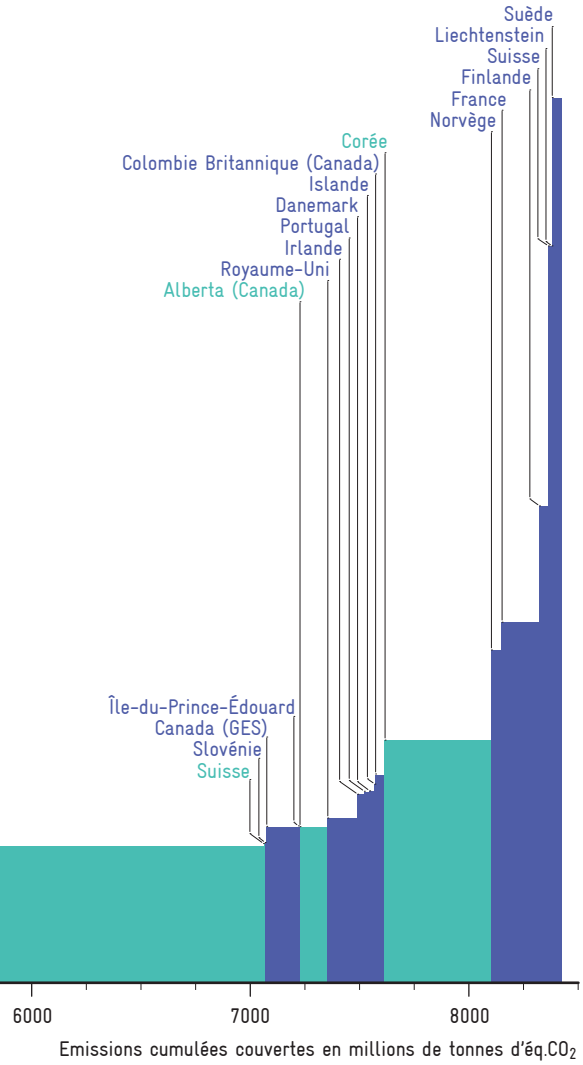
En 2020, la Banque mondiale a recensé 51 systèmes de tarification des GES dans le monde. L'hétérogénéité est élevée, allant de quelques cents US par tonne d'éq.CO_2 à plus de $ 100. La quantité d'émissions couverte en millions de tonnes d'éq.CO_2 varie également beaucoup. Le plus grand est le SEQE, les plus petits sont – naturellement – les systèmes de tarification de nombreux petits pays. Mais même des pays de taille moyenne comme la Pologne ne couvrent que quelques millions de tonnes d'éq.CO_2 avec leur taxe sur les GES. La Suisse se classe - en termes de niveau du prix des GES – dans le premier groupe mondial avec sa taxe sur le CO_2, après la Suède et en deuxième position avec le Liechtenstein.



Remarque: par manque de données sur les prix, les systèmes suivants ne sont pas représentés dans le graphique: Colombie-Britannique GGIRCA, Canada fédéral OBPS (Système fédéral de tarification fondé sur le rendement - STFR), Kazakhstan ETS, Nouvelle-Ecosse CaT, Terre-Neuve-et-Labrador PSS, Saskatchewan OBPS, Washington CAR.
Le taux de la taxe sur les GES des systèmes suivants diffère selon le type et l'utilisation des agents énergétiques fossiles ou selon le GES. Pour ces systèmes, le graphique indique la moyenne pondérée: Argentine, Danemark, Finlande, Irlande, Mexique, Norvège, Islande.

Une tarification efficace des GES communique un prix initial et un prix cible et assure de manière crédible que les prix ciblés seront appliqués. Les augmentations de prix peuvent être liées à des seuils, comme la non-réalisation d'étapes de réduction des GES à un moment donné. [176] Cela accroît la sécurité de la planification pour les acteurs économiques et réduit l'incertitude induite par la politique.

Au lieu d'une taxe sur les GES uniforme au niveau mondial, il serait pragmatique de convenir d'un prix minimum applicable au niveau mondial, basé sur la fourchette de prix de l'étude de la Banque mondiale (voir encadré 17). Compte tenu de la régressivité d'une telle taxe, elle pourrait comporter trois tarifs minimaux : un montant élevé pour le groupe des pays développés (par exemple, 100 dollars), un montant moyen pour les pays émergents (75 dollars) et un montant faible pour les pays en développement (50 dollars). [177] Certes, une telle différenciation ne correspondrait pas à un optimum efficient, car elle n'égaliserait pas globalement les coûts marginaux d'évitement, mais cela devrait accroître l'acceptation de la realpolitik. Cela pourrait également être réalisé en redistribuant les revenus globalement sur une base par habitant ; les pays pauvres recevraient beaucoup plus en retour que ce qu'ils devraient payer en prélèvements (voir p. 103).



Source : World Bank (2020b : p. 27)

Le deuxième point de discussion sera probablement la compétence pour percevoir la taxe. Il est difficilement concevable que tous les États délèguent la collecte de la taxe sur les GES à une organisation multilatérale.

Pour qu'une taxe mondiale sur les GES ait la moindre chance d'être appliquée au niveau international, elle devrait très probablement être imposée par les États eux-mêmes. Cependant, les exemptions accordées au niveau national à des entreprises individuelles ou à des

176 La taxe suisse sur les carburants fonctionne selon ce principe.
177 Sans différenciation du niveau de taxation, une taxe mondiale sur les GES risque d'avoir un effet régressif, c'est-à-dire que les pays les plus pauvres seront relativement plus sollicités que les pays riches.

secteurs entiers, ainsi que la corruption, pourraient restreindre massivement une perception fiscale uniforme au niveau mondial. Une cour internationale de justice devrait être en mesure de déterminer et de sanctionner rapidement les manquements – faute de quoi l'approche resterait probablement sans effet. [178]

Le troisième point de discussion concerne l'utilisation des taxes. À l'échelle mondiale, les recettes provenant des instruments (nationaux) relatifs aux GES se sont élevées à environ 45 milliards de dollars en 2019 (World Bank 2020b). Avec une taxe mondiale sur les GES, elles seraient plusieurs fois supérieures à ce montant. Il serait tentant pour les pays dont le niveau d'endettement est élevé en raison de la crise financière et économique et de la pandémie de Covid 19 de retenir ou d'affecter les recettes. Cela augmente la part de l'État, ce qui tend à décourager l'action économique individuelle. Dans les États participants, les recettes devraient donc être entièrement redistribuées par le biais d'un paiement par habitant (voir chapitre 2.2.4). [179] Une autre possibilité serait de les utiliser pour réduire dans la même mesure les impôts sur le revenu et les impôts fonciers. Si, du point de vue de la redistribution équitable, le paiement par tête est à privilégier, l'augmentation de l'efficacité productive plaide en faveur d'une baisse des impôts sur le revenu et sur la fortune. En effet, la redistribution via un paiement par capitation et/ou une réduction de la dette déclenche des stimuli de croissance et d'emploi plus faibles que les réductions de l'impôt sur le revenu et sur la fortune (voir les études de Goulder et Hafstead 2013 ; Hebbink et al. 2018 ; Jorgenson et al. 2018 et Jorgenson et Wilcoxen 1993). [180]

Les taxes mondiales sur les GES, un instrument approprié, mais politiquement difficile à mettre en œuvre

Malgré les difficultés énumérées, une taxe mondiale sur les GES est clairement préférable à une interdiction des émissions, en raison de son efficacité économique. Premièrement, les émetteurs sont incités à réduire leurs émissions jusqu'à ce que les coûts de réduction soient égaux à la taxe. Cette volonté de payer stimule l'innovation. Deuxièmement, l'introduction d'un prix pour les émissions de GES entraîne des décisions décentralisées pour réduire les émissions. Cela permet de combler le fossé des connaissances entre les émetteurs et les législateurs. Le choix des sources d'émission à réduire et le choix des technologies ou des alternatives à utiliser à cette fin sont laissés aux émetteurs.

En résumé, une taxe sur les GES réduit les émissions là où cela est possible au moindre coût, sans pour autant interdire complètement les activités qui reposent encore sur les

178 Il pourrait s'agir d'un nouveau rôle pour l'organe de règlement des différends de l'Organisation mondiale du commerce.

179 Même la Suisse ne procède pas à une redistribution complète. En termes d'économie politique, il existe toujours une incitation à utiliser une partie de l'impôt directement pour les subventions, etc. Toutefois, comme l'électorat l'anticipe, l'acceptation et le niveau de ces taxes restent difficiles.

180 La redistribution est également possible à l'industrie qui doit payer les prélèvements. La raison souvent invoquée est qu'il s'agit de contrer la migration. L'un des avantages de l'approche globale est qu'il n'y a plus d'incitation à la migration – du simple fait de la taxe sur les GES. Après tout, les concurrents dans d'autres pays paient également la taxe.

combustibles fossiles, par exemple parce qu'aucun substitut n'est (encore) disponible. D'autre part, lorsque des alternatives à faible coût sont disponibles, le passage à des sources d'énergie et à des technologies à faible, voire à zéro émissions de GES se fera en premier. Si une taxe sur les GES est introduite, il est actuellement probable que ce soit surtout le cas dans les pays qui utilisent beaucoup de charbon pour produire de l'électricité, comme la Chine, l'Inde, les États-Unis ou l'Allemagne (BP 2020). Le passage à des centrales électriques au gaz est déjà en cours dans de nombreux pays (ce que l'on appelle le « Fuel Switch», voir chapitre 3.1.4). [181]

Malgré les avantages de la taxe sur les GES par rapport à une interdiction des émissions de GES ou à une réglementation des produits et des processus, il semble peu probable qu'un accord multilatéral soit conclu à ce sujet en raison de la résistance politique attendue.

4.1.3 Échange de quotas d'émission

La troisième approche abordée ici est l'introduction d'un système mondial d'échange de quotas d'émission (EQE). [182] D'un point de vue économique, un système d'échange de quotas aussi largement ancré géographiquement que possible, fondé sur un ensemble de règles solides, transparentes et compréhensibles [183], serait préférable à un système d'échange purement national (ou paneuropéen). Les avantages d'un marché plus vaste sont une plus grande efficacité des coûts, [184] la liquidité du marché et un prix du CO_2 plus stable. Un système mondial impliquerait un prix harmonisé du CO_2, ce qui empêcherait le «Carbon Leakage» (voir encadré 17). Une restitution gratuite des quotas sur la base du «Grandfathering» ou du «Benchmarking» (voir. p. 100) – ces deux mécanismes d'allocation sont susceptibles de subir des pressions politiques – ne serait donc plus nécessaire.

Pour lutter efficacement contre le changement climatique, un système d'échange de quotas d'émission doit non seulement couvrir tous les pays dans la mesure du possible, mais aussi inclure toutes les sources d'émissions de GES. [185] Ce n'est pas le cas dans l'actuel SEQE. Par exemple, les émissions provenant des transports, des bâtiments, de l'agriculture et de la gestion des déchets en sont absentes. Les émissions de GES de ces secteurs doivent être réduites dans les années à venir grâce à des réglementations nationales dans chaque cas (voir p. 123). La principale raison est que ces secteurs de l'écono-

181 Un co-bénéfice local de la tarification des GES est la réduction de la pollution atmosphérique, ce qui facilite l'élimination progressive du charbon.
182 Le fonctionnement d'un système d'EQE transfrontalier a déjà été décrit au chapitre 3.1.4 en prenant l'exemple du SEQE européen. Un manuel sur la conception et la mise en œuvre d'un système d'échange de quotas d'émission est disponible dans Partnership for Market Readiness et International Carbon Action Partnership (2016).
183 Une question importante est de développer des solutions qui évitent le double comptage. Des propositions à ce sujet sont présentées dans *Michaelowa et al. (2019)*.
184 Le coût marginal des réductions de gaz à effet de serre est plus faible dans un marché plus vaste.
185 «Les objectifs à petite échelle, notamment ceux qui concernent des secteurs individuels au sein des économies, font en revanche obstacle à une solution efficace» *(Sachverständigenrat 2019)*.

mie – contrairement à l'industrie ou à l'énergie – ne présentent généralement pas de risque de migration et peuvent donc être réglementés au niveau national. En outre, la demande ne réagit que lentement à la hausse des prix (en fonction, par exemple, du cycle de renouvellement des systèmes de chauffage au fioul). D'un point de vue purement technique, l'intégration dans le SEQE serait concevable, mais politiquement, cela réduirait les compétences nationales.

Ce manque d'uniformité dans la réglementation entre les secteurs crée des incohérences, ce qui se traduit par des prix de GES très variables selon les réglementations et les secteurs. [186] Il existe un risque de transfert indirect des émissions des secteurs où les prix de GES sont élevés vers les émetteurs qui font partie d'un système réglementaire où les prix sont plus bas. [187] Un prix de GES uniforme pour tous les émetteurs serait préférable afin de profiter des économies potentielles par secteur, qui peuvent différer technologiquement. La répartition des efforts de réduction par secteur peut être différente au départ, mais cela est cohérent avec une réduction rentable.

L'Accord de Paris comme base d'un système mondial d'échange de quotas d'émission?

Au niveau mondial, l'Accord de Paris (voir chapitre 3.1.2) permet que les «contributions déterminées au niveau national» (CDN) soient également réalisées par une coopération volontaire entre les parties. Cela signifie que les réductions d'émissions de GES à l'étranger peuvent être comptabilisées dans le cadre des CDN d'une partie si certains critères sont respectés. [188] L'important est que les réductions de GES favorisent le développement durable, garantissent l'intégrité environnementale et la transparence, qu'il n'y ait pas de double comptage et que le processus de comptabilisation soit fiable (UNTC 2021). [189] Il existe deux types de réductions d'émissions transfrontalières:

- Premièrement, les résultats d'atténuation transférés au niveau international (ITMO), transférables bilatéralement pour atteindre les contributions déterminées au niveau national. Un État qui dépasse ses engagements peut vendre les réductions d'émissions supplémentaires à d'autres États, qui peuvent les comptabiliser dans leurs objectifs de réduction.
- Deuxièmement, un mécanisme d'échange supervisé par la Conférence des Parties (COP). Cela correspond le plus à l'établissement d'un système international d'échange

186 C'est déjà le cas en Suisse : la taxe sur les combustibles (les ménages privés équipés de systèmes de chauffage au mazout sont principalement concernés) est actuellement environ trois fois supérieure au prix du SEQE-UE (février 2021), et la différence de prix était encore plus importante les années précédentes.

187 Par exemple, l'achat d'une voiture électrique au lieu d'une voiture à essence. Tant que l'électricité supplémentaire destinée aux voitures électriques en Europe proviendra principalement de centrales électriques au charbon (qui sont incluses dans le SEQE-UE) et que les véhicules à essence ou diesel devront payer des taxes sur le CO_2 du carburant à l'avenir, un transfert de la charge de réduction entre les secteurs pourrait avoir lieu.

188 Voir l'article 6 de l'accord *(SR 0.814.012 2017)*.

189 Lors de la Conférence mondiale de l'ONU sur le climat de 2018 à Katowice (COP 24), le Brésil a voulu comptabiliser les projets climatiques du pays financés par des acteurs étrangers dans son propre objectif d'atténuation; les atténuations seraient ainsi comptées deux fois, mais l'effet positif sur le climat une seule fois.

de quotas d'émission, souvent appelé mécanisme de développement durable (MDS), basé sur le mécanisme de développement propre (MDP) du protocole de Kyoto.

L'opérationnalisation de ces deux approches doit être précisée par les États signataires de l'Accord de Paris. Le temps presse, car les consultations ont déjà environ deux ans de retard. L'établissement de règles mondialement contraignantes et reconnues est essentiel pour la tarification des GES et leur réduction rentable. [190]

Objections à un système mondial d'échange de quotas d'émission

Les objections suivantes sont généralement soulevées contre l'introduction d'un système d'échange de quotas d'émission – notamment par rapport à une taxe sur les GES (Dullien et al. 2020) :

Volatilité des prix – dans le cadre de l'échange de quotas d'émission, les prix sont volatils, ce qui réduit la certitude de planification des entreprises et donc aussi l'incitation à investir dans des technologies de réduction des émissions. Ce problème pourrait être résolu en introduisant un corridor de prix, mais dans une telle solution hybride, des quotas supplémentaires devraient être mis aux enchères lorsque le plafond est atteint afin de défendre le corridor de prix. Cela supprime l'un des avantages du SEQE : la trajectoire prédéfinie et prévisible des émissions.

- Toutefois, il est concevable que, si le marché est suffisamment important, le secteur financier propose des instruments de couverture, par exemple via des produits dérivés. Il est déjà courant pour les exportateurs de couvrir les risques de change.
- Il serait également possible – notamment en cas de volatilité des prix liée à la conjoncture – d'introduire un mécanisme similaire au frein à l'endettement suisse (voir p. 99). Cela permettrait de réduire la volatilité des prix.

Dans l'ensemble, cependant, l'objection de la volatilité des prix provoquée par l'introduction d'un système d'échange de quotas d'émission n'est pas vraiment crédible, puisque le prix du pétrole, par exemple, fluctue régulièrement de 50 dollars par baril en l'espace de 12 mois, ce qui équivaut à 100 dollars par tonne de CO_2. Seuls quelques émetteurs sont susceptibles d'avoir péri en conséquence.

«Matelas à eau» – les économies réalisées à un endroit entraînent des émissions supplémentaires à un autre endroit (voir encadré 9).

- Premier exemple : supposons qu'une expansion bien intentionnée ou une réduction du coût des transports publics réduise effectivement l'utilisation des transports mo-

190 On considère que les règles fondamentales ou les conditions préalables à un EQE mondial efficace sont les suivantes : pas de double comptage, additionnalité (pas de poids mort), et expansion et augmentation des CDN au cours des prochaines années *(Kizzier et al. 2019)*.

torisés privés. [191] Cela réduit la demande de quotas, ce qui fait baisser leur prix. Cela réduit l'incitation à réduire les émissions de GES ailleurs dans le monde. Grâce aux dépenses publiques dans un pays, les émetteurs d'un autre pays peuvent indirectement acheter des quotas à un prix inférieur.

- Deuxième exemple : un changement volontaire de comportement ou une «éducation» de la société à l'utilisation du train plutôt que de l'avion pour les déplacements urbains en Europe peut également manquer son effet. Moins de trafic aérien signifie moins de quotas à acheter pour ce trafic. Le prix des quotas diminue, ce qui pourrait rendre les centrales électriques au charbon plus attrayantes que les centrales au gaz, plus propres, par exemple.

Selon la logique du «matelas à eau», l'un des inconvénients d'un système d'échange de quotas d'émission est l'effet modérateur que les mesures supplémentaires de protection du climat ont sur le prix du certificat. Ils risquent donc d'être inefficaces. Les coûts économiques augmentent, mais l'effet de réduction supplémentaire est probablement faible.

Exploitation et braderie – différences de prix entre des pays développés économiquement très différents. L'incitation à réaliser des réductions d'émissions dans des pays «bon marché» au lieu d'investir dans des mesures de réduction chez soi est grande (Energie Experten 2021). [192] Les volumes de quotas des différents pays pourraient être, pour ainsi dire, bradés.

- L'augmentation de la demande entraîne une hausse des prix des quotas. Les émetteurs n'achèteront un quota que si leurs coûts marginaux de réduction sont plus élevés. Les autres émetteurs ne vendront un quota que si le produit de la vente couvre au moins leurs coûts marginaux de réduction - sinon, l'échange n'a pas lieu. Du point de vue du rapport coût-efficacité, il s'agit précisément de trouver des projets de réduction des émissions dans le monde entier qui permettent d'économiser une certaine quantité de GES à un coût moindre que dans son propre pays. Cet argument est donc absurde, puisque ce qu'il critique est précisément l'objectif du SEQE. [193]

Relier des systèmes nationaux d'échange de quotas d'émission à un système mondial d'échange de quotas d'émission présente un grand potentiel. [194] La Suisse et l'UE ont été les premières à relier deux systèmes d'échange de quotas d'émission distincts et mo-

191 Même cela n'est pas garanti. En premier lieu, les transports subventionnés entraînent une augmentation de la demande globale de mobilité.

192 Même dans de sérieux reportages médias, la rhétorique idéologique de nombreux représentants d'ONG transparaît presque sans filtre. Ils ne se préoccupent pas de la réduction effective et efficiente des GES, mais d'interventions de marché de grande envergure basées sur des interdictions et des subventions ; l'Accord de Paris semble même y faire obstacle *(DW 2019)*.

193 Toutefois, l'utilisation de quotas étrangers est limitée par les exigences de la Suisse et de l'UE selon lesquelles un certain pourcentage de réduction doit être réalisé dans le pays. De telles interventions dans l'EQE réduisent généralement l'efficacité économique globale du système. Pour d'autres idées sur la manière d'éviter une braderie, voir *Infras (2020)*.

194 Un rapport désormais plus ancien critiquait le lien entre le SEQE-UE et d'autres systèmes *(Carbon Market Watch 2015)*. Dans l'intervalle, cependant, de nombreux objectifs nationaux de réduction ont été considérablement augmentés et les systèmes de surveillance ont été renforcés pour identifier les réductions d'émissions injustifiées.

dernes. Cela ne signifie pas que le système d'EQE suisse a été absorbé par le SEQE-UE ; au contraire, il continue d'exister, mais offre aux acteurs du marché suisse la possibilité d'effectuer des échanges dans le système européen, beaucoup plus vaste, et d'obtenir des quotas correspondants crédités au niveau national.

Il en va de même pour les acteurs du marché européen. Les systèmes d'EQE fixent un prix pour les GES, générant des revenus qui augmentent la demande de technologies et de processus d'atténuation ou d'évitement des GES. Un marché pour ces technologies est créé, ce qui stimule la recherche et le développement de celles-ci. Si un pays dispose de conditions de site favorables (par exemple, le vent ou le rayonnement solaire), les SEQE incitent à dépasser les «contributions déterminées au niveau national» (CDN ; voir chapitre 3.1.2), car les bénéfices peuvent être vendus dans le cadre du système d'EQE.

Les gains d'efficacité économique annuels de la coopération internationale par rapport aux systèmes purement nationaux pour atteindre les CDN sont estimés à 250 milliards de dollars pour 2030 (Ieeta 2019). Ces gains d'efficacité sont disponibles pour une réduction supplémentaire des émissions de GES [195] ou pour la poursuite d'autres objectifs, tels que l'amélioration des objectifs de développement durable (ODD ; voir chapitre 3.1.1).

Un nouveau rôle supplémentaire pour l'Organisation mondiale du commerce ?

Outre l'ONU – dans le cadre de l'Accord de Paris– l'Organisation mondiale du commerce (OMC) serait également un opérateur approprié d'un système d'échange de quotas d'émission, surtout si tous les pays ne participent pas. Les participants à l'EQE pourraient alors former un club climatique (voir chapitre 4.2), et les différends pourraient être résolus par les mécanismes de l'OMC. Cela devrait donner à l'organisme multilatéral, qui est actuellement soumis à des pressions politiques et, dans certains cas, incapable de se réformer, l'élan nécessaire pour adapter ses processus et les aligner sur le commerce transfrontalier des biens, des services et, désormais, des GES.

Le mécanisme d'EQE est un moyen économiquement efficace de réduire les émissions de GES. La plupart des pays devront d'abord créer leurs propres systèmes nationaux d'échange de quotas d'émission afin de pouvoir les relier par la suite. La création d'un système mondial d'échange de quotas d'émission sans le niveau national échouerait très probablement en raison de problèmes tels que les droits souverains et la répartition des revenus.

L'introduction d'une approche globale de la réduction mondiale des émissions de GES serait optimale et souhaitable, mais probablement peu réaliste. Il faut donc réfléchir aux meilleures solutions alternatives. Des propositions en ce sens sont faites dans les chapitres suivants.

195 *Ieeta (2019)* suppose environ 5 milliards de tonnes de CO_2 d'économies supplémentaires possibles par an à partir de 2030.

4.2 Le club climatique

Les approches mondiales de la protection du climat souffrent également du problème du parasitisme. L'introduction d'un club climatique serait une façon d'inclure tous les pays dans un mécanisme de réduction des GES. Son principe de fonctionnement de base – un tarif punitif sur les pays tiers – est décrit au chapitre 4.2.1. Idéalement, les règles commerciales multilatérales devraient être adaptées en conséquence (4.2.2), mais un tarif punitif élevé n'est pas nécessaire pour atteindre une masse critique de pays participants (4.2.3). Enfin, le document examine comment l'UE pourrait former un club climatique à l'avenir (4.2.4).

4.2.1 Résoudre le problème du parasitisme

En l'absence de sanctions crédibles, les incitations économiques pour un État à faire du parasitisme sont trop importantes. Cependant, l'approche du club développée par le lauréat du prix Nobel William D. Nordhaus parvient à résoudre le problème du parasitisme, du moins en théorie (Nordhaus 2019). Son idée : afin de réduire les émissions de GES tout en disposant d'un mécanisme de sanction contre les profiteurs externes, plusieurs pays créent ensemble un club climatique. Il s'agit d'une sorte de «coalition des volontaires» dans l'effort de lutte contre le changement climatique. Les membres s'engagent à l'introduction d'un prix minimum pour l'émission de GES. [197] L'approche multilatérale (globale) cède ainsi la place à une idée de solution plus petite, «minilatérale» (Falkner 2016). La différence avec les autres mécanismes réside dans un élément clé : les non-membres sont pénalisés par le club.

Sanction pour non-coopération

La sanction sera imposée sous la forme de pénalités douanières uniformes sur les importations de tous les non-membres. Cette pénalité n'est explicitement pas destinée à créer la vérité des coûts en matière de climat entre les membres du club et les non-membres, [198] mais est uniquement censée inciter à l'adhésion au club. Les non-membres n'ont pas d'autre moyen de l'éviter que de devenir eux-mêmes membres du club. Le parasitisme a donc un prix. Surtout avec la nature hautement interconnectée de l'économie mondiale, les incitations sont orientées de telle sorte que la participation est

196 Les pays non coopérants bénéficient également de l'influence positive que la réduction des émissions des pays coopérants exerce sur le climat. Ce sont des profiteurs : ils participent sans supporter de frais.

197 *Nordhaus (2015)* mentionne des taxes incitatives ou l'introduction d'un système d'échange de quotas d'émission. Sa préférence va aux taxes, car il considère que le système est moins sensible au lobbying. Toutefois, si l'on analyse la manière dont les taux d'imposition sont calculés, l'instrument n'est probablement pas moins susceptible d'être influencé que la distribution des quotas dans un système d'échange de quotas d'émission, d'autant plus que l'UE a déjà une longue expérience en la matière.

198 L'établissement de la vérité des coûts climatiques à la frontière - l'intégralité des émissions sur le marché intérieur des pays non coopérants ne serait de toute façon pas couverte – serait associé à des coûts administratifs élevés et à une énorme bureaucratie, car mesurer le bilan CO_2 des marchandises importées de manière individuelle et objective est coûteux et compliqué. Il y aurait toujours le soupçon que ce serait aussi du protectionnisme.

recherchée par le biais d›une pénalité douanière. [199] Grâce aux obligations des membres, le changement climatique est ensuite abordé collectivement au sein du club.

Une faible pénalité douanière est une incitation suffisante à coopérer

Cela soulève la question du niveau correct de cette pénalité. Sur la base des calculs de Nordhaus, un tarif de 2 % semble optimal. [200]

La pénalité douanière doit bien sûr être suffisamment élevée pour inciter à rejoindre le club en premier lieu (afin de l'éviter). Toutefois, il s'avère que pour la plupart des pays, même un tarif très bas constitue une incitation suffisante à l'adhésion. Les prix du CO_2 débattus dans le club climatique de Nordhaus représentent un fardeau global moindre sur la production totale de nombreux pays que le tarif punitif de 2 % sur les exportations vers les pays du club (Nordhaus 2015).

Il existe plusieurs raisons pour lesquelles le droit punitif ne doit pas non plus être fixé trop haut. Tout d'abord, les droits doivent être perçus par les États importateurs eux-mêmes. Cela crée des incitations à supprimer la pénalité en échange d'une facilitation des échanges avec le non-membre, par exemple. Plus la pénalité est élevée, plus l'incitation à l'éluder est forte. D'autres membres du club seraient tentés de saper les mesures punitives de leur côté, et la stabilité interne du club serait mise en péril (Lessmann et al. 2009). Deuxièmement, l'objectif de la sanction est de créer des incitations à l'adhésion et non d'élever des barrières commerciales protectionnistes - même si de nombreuses industries à orientation nationale le souhaiteraient. Un tarif ayant un effet protectionniste mettrait en danger le bien-être économique général, et l'objectif même de la sanction serait manqué. Si la pénalité douanière est trop élevée, elle entravera trop le commerce et l'économie nationale. L'incitation à quitter à nouveau le club deviendrait trop forte. Le club se dissoudrait à long terme.

4.2.2 Adaptation des règles multilatérales

Afin d'établir la pénalité douanière contre les non-membres de manière permanente et crédible, des ajustements aux règles commerciales multilatérales seraient utiles. L'introduction d'une nouvelle clause de l'OMC est envisagée (Eichner et Pethig 2015). Nordhaus parle même d'ajustements d'une telle portée que les mesures de rétorsion seraient interdites si les pénalités douanières du club climatique étaient ensuite mises en œuvre de manière conforme à l'OMC (Nordhaus 2015). L'introduction d'une telle clause au niveau de l'OMC est difficile. Les exigences élevées en matière d'unanimité, notamment, font qu'un tel projet échouerait rapidement (OMC 2020). Les États qui ne coopèrent pas dans

199 Une extension du modèle consiste à admettre le niveau infranational *(Nordhaus 2015a)*. Dans les États décentralisés, les sous-États ou les niveaux administratifs et législatifs inférieurs pourraient donc également être inclus dans le club. Là encore, il s'agit d'atteindre la «masse critique» du nombre de membres du club ou des émissions mondiales d'éq.CO_2 à inclure.

200 À titre de comparaison, le tarif moyen pour tous les pays et tous les groupes de produits est de 5,17 %, avec une pondération de 2,59 % *(Banque mondiale 2020c)*.

le cadre d'une approche de club climatique seraient peu enclins à accepter une modification des règles.

En outre, l'introduction d'un tarif climatique punitif par le biais d'une clause additionnelle multilatérale ouvre une boîte de Pandore thématique. D'autres préoccupations, même légitimes, telles que le respect des droits de l'homme, l'amélioration des conditions de travail et de l'égalité, l'accès aux soins de santé, à l'eau potable et d'autres critères de durabilité, seraient incluses dans le discours sur le commerce international. Une grande partie de ces questions est déjà réglementée au niveau multilatéral (par exemple au niveau de l'ONU), mais le niveau d'exigence peut théoriquement être augmenté à volonté, selon la vision du monde de chacun. Une telle surcharge d'exigences à l'égard de l'OMC entraînerait également l'échec de l'approche du club en matière de changement climatique.

La prévention des contre-mesures par les non-membres en cas d'introduction d'une pénalité douanière climatique au moyen d'une clause correspondante de l'OMC pourrait, de manière optimiste, également contribuer à dénouer le nœud gordien afin de s'attaquer enfin à la réforme de l'OMC, ce qui a déjà été reconnu depuis un certain temps - mais le processus risque de prendre beaucoup de temps. [201] L'approche «minilatérale» bénéficierait après tout d'une légitimité internationale suite à une expansion correspondante du droit commercial international (Falkner 2016). Toutefois, les incitations, en particulier l'impact sur le bien-être global, rendraient l'option de l'adhésion plus attrayante, même face aux contre-mesures potentielles des non-membres (Nordhaus 2015b). Ainsi, même une clause moins sûre de l'OMC contribuerait à la réussite du club climatique.

Une approche ascendante serait également envisageable à la place de l'approche descendante : Un groupe d'Etats comme l'UE ou une association économique comme l'AELE incluraient la pénalité ou la renonciation aux contre-mesures dans leurs accords économiques avec les pays tiers. Au moyen de l'accord avec l'Indonésie, l'AELE a démontré que des critères de durabilité couplés à des échanges préférentiels sont possibles.

4.2.3 Atteindre la masse critique

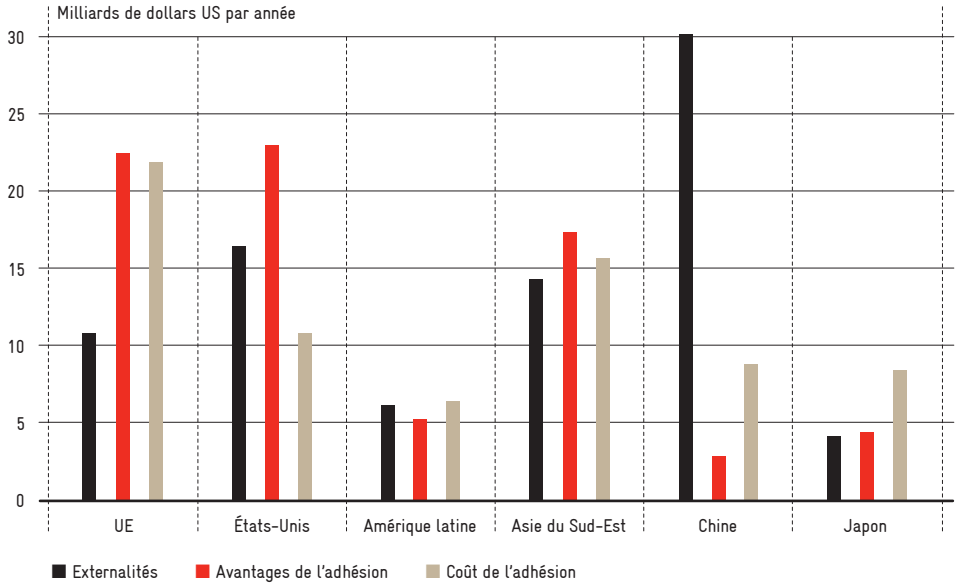
Afin d'acquérir une certaine pertinence, les organisations internationales ont besoin d'une «masse critique» d'acteurs pertinents. Pour lutter efficacement contre le changement climatique, un club climatique doit couvrir une part aussi élevée que possible des émissions mondiales de GES. Plus le club dans son ensemble commerce avec les non-membres, et plus le commerce avec les membres du club est important pour la prospérité du non-membre, plus l'incitation à adhérer est forte. Les coûts de l'adhésion (l'introduction de mesures climatiques nationales) sont comparés aux avantages. Il

201 Voir *Dümmler et Anthamatten (2019)* pour une discussion plus approfondie sur la nécessité de réformer l'OMC.

Figure 29

Coûts et avantages d'un club climatique

La colonne de gauche montre les coûts sociaux supplémentaires en termes d'externalités qui seraient encourus en raison de l'augmentation des émissions de CO_2 si un pays (ou une région) ne participe pas au club climatique. Le calcul est basé sur 25 dollars par tonne de CO_2. La colonne du milieu montre le cas extrême des avantages de l'adhésion au club climatique si celui-ci ne comprenait que la région ou le pays en question. Avec chaque participant supplémentaire, le bénéfice pour tous les participants augmente car les coûts sociaux du changement climatique sont réduits grâce aux mesures climatiques. Enfin, la colonne de droite montre la perte de bien-être du pays en question si – dans le cas extrême – tous les pays font partie du club climatique sauf celui considéré (base: pénalité de 2%). Il est intéressant de noter que les trois colonnes présentent les «bons» présages, c'est-à-dire qu'un club climatique créerait des avantages: les externalités seraient réduites par la colonne indiquée, le bénéfice de la participation d'un pays serait positif, et les coûts de la non-participation seraient également positifs



Source: Nordhaus (2015: p. 1350)

s'agit des pénalités douanières économisées, qui peuvent conduire à une relance des exportations. Un effet similaire résulte d'un accord de libre-échange qui réduit les droits de douane. Sur la base des calculs de Nordhaus et de son modèle mathématique C-DICE, il en résulte une incitation positive à rejoindre un club climatique pour les régions ou pays étudiés.

Selon ce modèle, tous les États clés chercheraient finalement à devenir membres. Les quelques exceptions sont l'Afrique du Sud et certains États d'Asie centrale (voir tableau 3). Leurs économies ne sont pas suffisamment intégrées au commerce mondial, et leurs économies nationales ne sont pas suffisamment compatibles avec l'environnement. Les coûts du passage à une structure économique plus respectueuse du climat seraient donc supérieurs aux avantages de l'adhésion. Par conséquent, ces pays accepteraient le tarif punitif et ne chercheraient pas à devenir membres.

Tableau 3

Probabilités de participation des pays et des régions

Nordhaus a modélisé 40 scénarios différents avec des tarifs punitifs. La proportion de scénarios dans lesquels une région ou un pays participerait au club climatique est indiquée ici.

Région	*Probabilité de la participation (en %)*
Canada	88
UE	83
Moyen-Orient	75
Japon	73
Amérique latine	73
Asie du Sud-Est	73
Afrique subsaharienne	70
États-Unis	70
reste du monde	70
Russie	63
Chine	63
Brésil	60
Eurasie	60
Inde	53
Afrique du Sud	45
Moyenne	68

Source: Nordhaus (2015)

Bien que les pays non-coopérants n'émettent qu'une petite partie des émissions mondiales de GES, ils peuvent être décrits comme des dommages collatéraux du club climatique. En effet, leur intégration dans l'économie mondiale est davantage entravée par l'émergence du club, et un degré plus élevé d'autarcie semble donc plus attrayant pour ces pays. Mais une sortie de cette impasse est possible: si tout le reste du monde fixait un prix pour les émissions de GES, de nouvelles technologies entreraient en jeu et deviendraient de plus en plus efficaces. Cela permettrait de réduire le coût de la réduction des émissions. La diffusion de ces technologies permettrait également de réduire les émissions de GES à moindre coût dans les pays non membres. Cela réduit les coûts de réduction et augmente les incitations à participer au club climatique.

Un autre avantage du club de Nordhaus est sa composante dynamique: plus le club est grand, plus l'incitation à participer est grande. En même temps, la «masse critique» pour déclencher cette vague d'adhésion est relativement faible. Déjà plus de 77 pays se sont engagés volontairement à atteindre l'objectif net zéro, de sorte que les chances d'établir un club climatique dans ces conditions sont intactes (Uno Generalsekretariat 2019).

4.2.4 Mise en œuvre possible par l'UE

L'échec à ce jour de l'approche d'une solution internationale contraignante peut être essentiellement réduit à l'incitation que présente le parasitisme. L'approche du club climatique préconisée ici permet de sortir de ce dilemme. En introduisant des pénalités pour la non-application ou la non-adhésion, une nouvelle structure d'incitation est créée, même pour les États qui font preuve de peu de coopération pour enrayer le changement climatique. La composante dynamique et le découplage de la pénalité par rapport à l'objectif réel devraient, en théorie, permettre à ce club climatique de réaliser une percée. La tarification des coûts des GES serait ainsi imposée à la majorité des émetteurs, et un mécanisme contraignant presque mondial serait réalisé de manière détournée.

Concrètement, un tel club climatique pourrait être mis en œuvre par l'UE. Le Pacte vert pour l'Europe (voir chapitre 3.1.3), qui a été détaillé davantage depuis sa publication initiale fin 2019, pourrait également déboucher sur un club climatique qui en serait l'un des éléments centraux. À cette fin, il est prévu d'introduire un mécanisme grevant les importations à la frontière en provenance de pays dont les prélèvements pour la protection de l'environnement sont moins élevés que ceux de l'UE (Von der Leyen 2021). Ce mécanisme d'ajustement frontalier taxerait les marchandises en provenance de pays tiers si les mesures de protection du climat du pays tiers en question ne correspondent pas au moins au niveau et aux objectifs de réduction de l'UE. Il s'agit de compenser le désavantage concurrentiel que subissent les entreprises de la zone UE en raison des mesures de protection du climat.

La mise en œuvre d'un tel mécanisme d'ajustement aux frontières par l'UE fait actuellement l'objet d'un examen plus approfondi, car un certain nombre de questions pratiques se posent (Europäische Kommission 2020h), comme celle de savoir s'il convient de prélever une taxe sur les GES (sur les produits nationaux et étrangers) ou un tarif d'importation, ou encore si un élargissement du SEQE-UE pour inclure les importations doit constituer la base. C'est probablement en terme de realpolitik que l'approche européenne discutée diffère de l'approche théorique de Nordhaus sur deux points essentiels :

Tout d'abord, dans les discussions, l'UE ne part pas d'un taux uniforme sur les importations, comme le fait Nordhaus, mais souhaite faire une différenciation en fonction de l'industrie. La base serait un référentiel GES à déterminer par secteur, par analogie méthodologique avec l'approche de la «meilleure technologie disponible» par catégorie d'actifs industriels dans l'allocation de quotas gratuits du SEQE (voir chapitre 3.1.4).

Deuxièmement, seules les marchandises des secteurs qui présentent un risque accru de fuite, par exemple l'acier, devraient faire l'objet d'un ajustement aux frontières. Cela signifie que l'ajustement aux frontières est sélectif. Cela signifierait également que plus aucun quota du SEQE ne devrait être alloué gratuitement, car la justification de la fuite

ne serait plus applicable. Si les importations sont grevées, les exportations devront par conséquent être exemptées de la taxe sur les GES.

Cela va à l'encontre du principe de Nordhaus selon lequel une pénalité douanière devrait s'appliquer quel que soit le type de bien importé et l'intensité des GES avec lesquels il a été produit. Un système tel que celui envisagé par l'UE est administrativement complexe à concevoir et à appliquer, crée de multiples exemptions et offre des possibilités d'influence politique. La courbe d'apprentissage – compte tenu de l'expérience acquise lors de l'installation d'un système d'échange de quotas d'émission opérationnel – sera probablement longue. En outre, on peut se demander si le système d'échange de quotas d'émission peut être conçu de manière à ne pas violer le droit applicable de l'OMC ou les obligations découlant des accords économiques internationaux de l'UE.

Outre la voie empruntée, l'UE devrait adopter une approche plus pragmatique au niveau international, à l'OMC et avec ses partenaires commerciaux, ce qui est beaucoup plus proche de la proposition de Nordhaus. En définitive, cela pourrait même permettre de gagner du temps, ce qui augmenterait la probabilité d'atteindre les objectifs climatiques.

4.3 Développement de la politique climatique suisse

Au chapitre 3.2, la politique climatique suisse actuelle a été discutée et évaluée sur la base de quatre critères. Dans le présent chapitre, l'accent est mis sur le développement politiquement envisagé des mesures climatiques. Dans le prolongement de la discussion ci-dessus sur les approches multilatérales (chapitre 4.1) et plurilatérales (chapitre 4.2), les possibilités de conclure des accords bilatéraux de compensation climatique seront d'abord abordées (chapitre 4.3.1). Vient ensuite la poursuite du développement de la politique climatique nationale, avec en point de mire la révision totale de la loi sur le CO_2 (chapitre 4.3.2).

4.3.1 Accords bilatéraux de compensation climatique

Outre les niveaux multilatéral et plurilatéral, la Suisse a également la possibilité de conclure des accords bilatéraux de compensation climatique. L'Accord de Paris permet explicitement aux États participants la possibilité de réaliser des réductions d'émissions à l'étranger et de les comptabiliser dans leur propre objectif climatique (SR 0.814.012 2020, art. 6).

Accords bilatéraux existants en matière de compensation climatique

Avec l'accord 2020, la Suisse et le Pérou sont devenus les premiers signataires d'un accord de compensation climatique (Bafu 2020i). Les «résultats sur la réduction» doivent être réels, vérifiables et permanents. La prévention des doubles comptages et le transfert des prestations de réduction sont réglementés, et la possibilité d'une surveillance mutuelle est accordée. En outre, les critères convenus garantissent que les projets ne nuisent pas à l'environnement, favorisent le développement durable et respectent les droits de l'homme (Bafu 2021b). La même année, la Suisse a également signé un tel accord avec le Ghana, en vue d'accroître encore la transparence. Dans cet accord, les deux parties contractantes s'engagent à consigner les mesures dans un rapport de transparence bisannuel (Bafu 2020j).

Les accords suisses pourraient servir de modèle à d'autres États. En fait, une bonne demi-douzaine d'États ont l'intention de conclure de tels accords de compensation (WOZ 2020). En raison de leur caractère pionnier, les formulations et les accords conclus sont particulièrement importants. Un passage qui est discutable d'un point de vue libéral est contenu dans l'accord avec le Ghana : celui-ci stipule explicitement qu'aucune «activité basée sur l'énergie nucléaire» ne peut être comptabilisée pour la compensation (Bafu 2020g). [202] Cela porte atteinte au principe de neutralité technologique (voir p. 146), c'est-à-dire à la liberté de choix de la technologie à utiliser pour réduire les émissions de GES. Ce passage correspond probablement davantage à la volonté de po-

202 Sur le continent africain, deux centrales nucléaires sont en service en Afrique du Sud et quatre autres sont prévues en Égypte (*Nuklearforum Schweiz 2021*).

litique intérieure de la Suisse (voir encadré 18) qu'aux besoins du Ghana. Cette disposition devrait être supprimée dans les futurs accords.

Extension des accords et échange international de connaissances

Les accords étatiques fournissent un cadre contraignant dans lequel des initiatives privées telles que la Fondation pour la protection du climat et la compensation de CO_2 (Klik) achètent par exemple des poêles à bois économes en énergie pour des villages péruviens, afin d'économiser du bois de chauffage et donc des émissions de GES, ou font installer plusieurs centaines de milliers de systèmes solaires décentralisés dans le

Encadré 18

La question de l'énergie nucléaire

La Suisse s'appuie également sur la «Stratégie énergétique 2050» dans le cadre de sa politique climatique. A ce jour, elle comprend des incitations et des réglementations dans le domaine de l'efficacité énergétique, de la promotion des énergies renouvelables et des mesures pour les réseaux électriques (Uvek 2021). La loi révisée sur l'énergie, en vigueur depuis 2018, en a jeté les bases. L'un de ses éléments est la «sortie du nucléaire»[203] les quatre centrales nucléaires existantes peuvent continuer à fonctionner – à condition qu'elles respectent toutes les exigences de sécurité actuelles – mais plus aucune licence ne sera délivrée pour de nouvelles centrales.

À mesure que les exigences de sécurité des centrales nucléaires deviennent plus strictes, les coûts de modernisation et de maintenance peuvent augmenter à un point tel que la poursuite de l'exploitation n'est plus rentable. C'est la principale raison pour laquelle la centrale nucléaire de Mühleberg a été la première centrale suisse à être arrêtée en décembre 2019 et a depuis été démantelée.

Des exigences de sécurité de plus en plus strictes, notamment en Europe, entraînent non seulement la fermeture de centrales existantes, mais empêchent également la construction de nouvelles centrales.[204] Pour les projets existants, les coûts de construction augmentent et la mise en service est retardée. Les nouveaux projets sont rares en raison de l'absence de viabilité économique. En Suisse, cet aspect est à nouveau cité politiquement comme une raison pour laquelle la fin légale de l'énergie nucléaire n'est pas un problème – pour des raisons économiques, aucun investisseur ne serait de toute façon trouvé pour une nouvelle centrale.

Les exigences en matière de sécurité – que ce soit pour l'énergie nucléaire ou les centrales hydroélectriques – sont importantes. Les accidents peuvent entraîner des coûts économiques et privés très élevés. Mais il est important de garder à l'esprit qu'un durcissement continu - indépendamment de l'augmentation effective du niveau de sécurité qu'il permet d'atteindre – peut également être utilisé politiquement comme un instrument pour forcer la technologie à sortir du marché dans un pays – une technologie qui pourrait soutenir de manière décisive la voie d'un pays vers la neutralité climatique. Si la recherche sur l'énergie nucléaire continue à progresser et que de nouveaux types de centrales sont disponibles et présentent un risque moindre que les centrales actuelles, la Suisse devrait être prête à revoir son interdiction actuelle de nouvelles centrales nucléaires.

203 La désignation linguistique est intéressante : alors que scientifiquement, nous parlons d'énergie nucléaire – après tout, l'énergie est générée par la fission nucléaire – politiquement le terme d'énergie atomique est souvent utilisé. Cela vise – selon une interprétation – à rapprocher la technologie de la bombe atomique. Le danger potentiel de l'énergie nucléaire, perçu psychologiquement, est ainsi accentué sur le plan linguistique, ce qui peut être exploité à des fins politiques.

204 Dans le monde, 100 nouvelles centrales nucléaires sont prévues ou en cours de construction, et il existe des projets pour 300 autres. La plupart d'entre elles sont situées en Asie, notamment en Chine *(World Nuclear Association 2021)*.

cadre du «Ghana National Clean Energy Program» (Burkhard et Medilanski 2020). Des accords similaires seront bientôt conclus avec une dizaine d'autres pays, dont le Sénégal, le Maroc, la Thaïlande, le Mexique, la Colombie, le Chili et l'Argentine. Pour la Suisse, il existerait la possibilité d'établir un système commun de transfert de compensation avec la Norvège et le Canada, ainsi qu'avec les pays déjà mentionnés, qui fonctionnerait selon des règles uniformes. Grâce au transfert de connaissances de la Suisse, de la Norvège et du Canada, plusieurs de ces pays pourraient également mettre en place des EQE nationaux qui seraient ensuite reliés au niveau international.

Alors que par le passé - par exemple dans le cadre du protocole de Kyoto - les compensations étrangères ont acquis une réputation douteuse au niveau international et ont été rapidement qualifiées de «vente de complaisance» (ou «Greenwashing»), la situation de départ est différente aujourd'hui. Les gens ont appris de leurs erreurs et veulent faire mieux dans le cadre de l'Accord de Paris. Des règles contraignantes pour les compensations étrangères sont en cours de discussion (voir p. 174). Il faut se féliciter que la Suisse, en particulier, assume un rôle de pionnière et fixe des normes. [205] Elle fait partie d'un groupe de 32 pays qui ont convenu de ce que l'on appelle les «règles de San José». [206] L'objectif du groupe est d'établir des règles strictes et vérifiables pour les compensations étrangères dans le cadre de l'Accord de Paris.

4.3.2 Révision totale de la loi sur le CO_2

L'élément clé de la future stratégie climatique de la Suisse est la révision totale de la loi sur le CO_2. La loi initiale sur le CO_2 (voir chapitre 3.2.1) est entrée en vigueur en 2000 et a été façonnée par les engagements de la Suisse dans le cadre du protocole de Kyoto (voir encadré 12). Entre-temps, l'Accord de Paris est entré en vigueur au niveau international, et une révision totale de la législation suisse était impérative. Alors que l'objectif de réduction, la taxe sur le CO_2 et les conditions de sanction étaient initialement fixés en douze pages (RS 641.71 2000), la nouvelle version compte 40 pages (BBl 2020 7847). Le nouveau texte devrait entrer en vigueur au début de l'année 2022, pour autant que le projet de loi soit approuvé par le peuple le 13 juin 2021. [207] La révision totale a pour but de garantir la réalisation des objectifs suivants : Premièrement, économiser au moins 50 % des émissions de GES d'ici 2030 par rapport à 1990 ; deuxièmement, poser les jalons de l'objectif de zéro émission nette en 2050 (Bundesrat 2021). Certains des changements législatifs les plus importants sont énumérés ci-dessous et évalués ensuite dans le contexte des quatre critères développés au chapitre 3.2.4.

205 Imaginez que la Somalie ou le Sud-Soudan (classés 179 et 180 dans l'indice mondial de corruption) au lieu de la Suisse (classée 4) soient les pionniers de la signature d'un accord de compensation climatique *(Transparency International 2020)*.

206 Le nom complet est «San José Principles for High Ambition and Integrity in International Carbon Markets», voir Dirección de Cambio Climático (2019) pour la liste des pays participants et des informations supplémentaires.

207 Une loi transitoire s'applique pour 2021, car la consultation sur la révision totale de la loi sur le CO_2 a pris plus de temps que prévu. En principe, les mesures existantes seront poursuivies en 2021 ; l'objectif de réduction pour 2021 est de moins 1,5 % par rapport à 1990 (environ 0,8 million de tonnes d'éq.CO_2).

Justification peu plausible d'une part nationale minimum

Un changement qui affecte l'ensemble de la loi sur le CO_2 est l'ajustement de la part nationale. Auparavant, la réduction prévue pour 2013–2020 dans la loi sur le CO_2 (voir chapitre 3.2.1) devait être réalisée exclusivement au niveau national. Une part étrangère ne pouvait être prise en compte que pour d'éventuelles réductions supplémentaires (voir RS 641.71 2013), art. 3, al. 1-2). Avec la révision totale, «seulement» 75 % de la réduction doit maintenant être réalisée au niveau national. Cela signifie que la plus stricte des trois variantes discutées a prévalu au Parlement. [208] Avec cette part élevée prévue par la loi, la Suisse limite sa propre flexibilité. Les partisans d'une part intérieure élevée avancent notamment les deux arguments suivants :

Premièrement, à long terme, tous les pays devraient réduire leurs émissions de CO2, raison pour laquelle ils auraient de plus en plus besoin de comptabiliser leurs propres réductions au lieu de les «vendre» à d'autres pays comme la Suisse. Cet argument ne tient pas : si ces pays avaient de plus en plus besoin de réduire eux-mêmes leur production, cela réduirait simplement la circulation internationale des quotas d'émission, ce qui entraînerait une hausse du prix des compensations. En théorie, le prix pourrait augmenter à tel point qu'il deviendrait moins coûteux pour la Suisse de réaliser des projets de protection du climat au niveau national. Ce scénario conduirait donc précisément à une augmentation des réductions nationales par le biais d'un mécanisme de marché. Un quota de réduction national prescrit par la loi n'est donc pas nécessaire. D'un point de vue économique, on ne voit pas pourquoi il ne faudrait pas utiliser des coûts de réduction différents dans le monde entier (voir encadré 19). [209] Après tout, l'«achat» de quotas d'émission à l'étranger n'est pas une transaction unilatérale, puisqu'il est utilisé pour payer des mesures de réduction des GES par le bénéficiaire de l'argent. Cela peut inclure l'utilisation de nouvelles technologies qui réduisent non seulement les GES, mais aussi les polluants qui ont un effet principalement local. [210]

Deuxièmement, les projets nationaux sont plus judicieux car – selon le slogan «l'argent reste ici» – ils favorisent les emplois nationaux. Politiquement, cela est souvent vendu comme une solution gagnant-gagnant : on obtient une économie neutre sur le plan climatique, tout en créant des emplois par la même occasion. Les coûts économiques sont cependant considérables et risquent de dépasser largement les avantages. Si la logique de l'emploi susmentionnée était appliquée de manière cohérente, la Suisse devrait fermer ses frontières à tout commerce international et tout produire dans le pays. Cela correspond à la théorie du mercantilisme, qui est scientifiquement dépassée depuis 200 ans mais reste populaire dans la realpolitik. Les effets sur la pros-

208 Les alternatives étaient un minimum de 60 % (proposition du Conseil fédéral et du Conseil des États) et aucun minimum.

209 La différence de coût entre la Suisse et l'étranger persistera très longtemps si l'objectif national est fixé à un niveau élevé, et peut même augmenter au début. En effet, trois tonnes de GES sur quatre doivent être économisées en Suisse, ce qui signifie que les coûts de réduction sur le petit marché intérieur augmentent plus fortement qu'à l'étranger.

210 Une centrale électrique au charbon, par exemple, émet non seulement du CO_2, mais aussi de l'oxyde de soufre, des oxydes d'azote et de la poussière.

Encadré 19

Exemple de différences de prix des compensations nationales et étrangères

La protection du climat en Suisse est coûteuse : la production d'électricité n'entraîne que des émissions minimes de CO_2, le secteur de production électrique locale est peu émetteur en raison de sa structure, et la Suisse dispose déjà de normes d'efficacité énergétique élevées dans le secteur du bâtiment. En bref, les coûts de réduction – à l'exception du transport et de l'agriculture – sont comparativement élevés en termes internationaux. Deux exemples de compensation individuelle (myclimate 2021) :

- Pour les 245 km environ qui séparent Berne de Zurich, aller et retour sur l'A1, une voiture moyenne à essence émet 0,084 tonne de CO_2. Pour les projets dans les pays en développement et émergents, les coûts de compensation pour le trajet en voiture s'élèvent à 2 francs. Si la moitié de cette compensation doit être faite en Suisse, le montant passe à 7 francs.
- Un vol aller-retour en classe économique de Zurich à New York pour une personne (environ 12 600 km) produit environ deux tonnes de CO_2. Les coûts de compensation dans les pays en développement et les pays émergents s'élèvent à 58 francs ; si la moitié seulement doit être compensée en Suisse, les coûts passent à 138 francs.

Une compensation purement domestique pour le vol coûte arithmétiquement – une option non proposée sur myclimate – 218 francs, c'est-à-dire 109 francs par tonne. Selon cet exemple, les coûts marginaux de la compensation en Suisse sont environ 3,8 fois plus élevés que dans les pays en développement et émergents.

périté seraient désastreux - surtout pour un pays aussi fortement ancré dans les chaînes de valeur mondiales que la Suisse (Dümmler et al. 2020). Si tout devait être produit sur le territoire national, les avantages en termes de coûts comparatifs par rapport aux autres pays ne pourraient plus être exploités. Si la Suisse génère un revenu par habitant élevé, c'est précisément grâce à son réseau international, qui peut également être utilisé pour acheter des biens étrangers «à bas prix». En ce qui concerne le climat : Comme les coûts de réduction sont moins élevés à l'étranger, il est possible de réaliser des économies globales de CO_2 plus importantes avec le même effort. L'efficacité des mesures climatiques est accrue. Cela s'explique également par le fait que le franc suisse a un pouvoir d'achat plus élevé à l'étranger.

Dans ce cas, le mot à la mode «gagnant-gagnant» dissimule les véritables intentions : Il s'agit moins de préoccupations concernant les effets du changement climatique que de la politique industrielle de l'État sous une apparence protectionniste. Un objectif national élevé – justifié par la création de valeur locale– est la nouvelle édition d'une politique de commerce extérieur mercantile. [211] À cette fin, l'artisanat aide une politique de gauche-verte à obtenir une majorité parlementaire. [212] Une telle «alliance

211 La Commission de l'environnement du Conseil des États «…est convaincue que les mesures prises en Suisse génèrent beaucoup de création de valeur dans le pays» *(Urek-S 2019)*. Le Conseil fédéral écrit également : «L'argent qui actuellement part à l'étranger [c'est-à-dire les dépenses pour les énergies fossiles] sera à l'avenir investi dans le pays et profitera ainsi aux entreprises suisses.» *(Bundesrat 2021)*.

212 L'augmentation de l'objectif domestique à 75 % dans la loi révisée sur le CO_2 a été soutenue au Conseil national par les groupes parlementaires du PS, des Verts, du PVL et la majorité du groupe du centre. Ainsi, 111 voix contre 86 et une abstention ont voté pour l'augmentation. «La ministre de l'environnement Simonetta Sommaruga n'a pas résisté avec beaucoup de vigueur à l'augmentation de l'objectif domestique.» *(SDA 2020)*.

contre nature» est susceptible de devenir plus courante à l'avenir (Dümmler et Anthamatten 2019) : selon Lobbywatch (2021), 53 % de tous les parlementaires représentent (également) des intérêts dans le secteur de l'environnement, la plupart d'entre eux parmi les Verts libéraux (81 % du groupe parlementaire), suivis par les Verts (77 %) et les Socialistes (56 %). Le Centre est divisé exactement en deux (50 %), et l'UDC (42 %) devance de peu le PLR (39 %). Bien sûr, les représentants de gauche et de droite des questions environnementales ne se regroupent pas automatiquement, mais le nombre élevé de représentants des intérêts environnementaux laisse place à des coalitions et à des échanges de voix. [213] Au Parlement, les questions environnementales ont depuis longtemps cessé d'être représentées uniquement sur le spectre gauche-vert.

Le point de vue de la consommation plaide en faveur d'une plus grande compensation étrangère

Une autre raison parle d'une part plus importante de compensations étrangères : les mêmes représentants qui réclament une part intérieure plus élevée aiment à rappeler que l'«empreinte GES» de la Suisse se situe principalement à l'étranger. Les statistiques internationales et l'Accord de Paris ne s'intéressent généralement qu'aux émissions nationales, c'est-à-dire à la quantité de GES émise sur le territoire d'un pays (du point de vue de la production ; voir encadré 16). Si l'on ajoute les émissions liées aux importations (du point de vue de la consommation, «GES gris») et que l'on soustrait les émissions liées aux exportations, on obtient les émissions nettes (ou «empreinte GES») causées par la demande finale de biens et de services en Suisse. En moyenne, cette part était environ 1,7 fois plus importante que la part émise au niveau national pour les biens et services consommés dans le pays entre 2000 et 2018 (voir figure 12) (BFS 2020a). L'internalisation sur la base de la vision de la production se rapproche de la vérité des coûts, mais n'y correspond pas entièrement. La base de cette démarche serait le point de vue de la consommation. Cela signifie que les réductions de GES de la Suisse devraient de plus en plus avoir lieu à l'étranger.

Renforcement des mesures existantes

Les autres modifications de la révision totale complètent les mesures existantes, à l'exception de la taxe sur les billets d'avion et du Fonds pour le climat, qui seront nouvellement introduits (voir ci-après). Ainsi, le taux maximal de la **taxe sur le CO_2** applicable aux carburants, qui a fait ses preuves en tant qu'instrument, doit être adapté et porté à 210 francs par tonne d'éq.CO_2. L'application ou non de ce taux dépend de la réalisation des objectifs intermédiaires. L'effet de pilotage devrait donc être renforcé, ce qui – à ce taux élevé – conduit à un dépassement des coûts réels, ce qui rend l'instrument moins efficace.

213 Par exemple, lorsque les lobbyistes de droite des propriétaires forestiers s'allient aux lobbyistes de gauche pour la construction écologique.

Toutes les entreprises devraient désormais pouvoir s'en exonérer (Bundesversammlung 2020) – toutefois, il n'est pas encore clair si elles devront participer au SEQE ou prendre un engagement de réduction pour ce faire. Globalement, la révision de la taxe sur le CO_2 n'apporte pas d'amélioration significative des quatre critères d'évaluation (voir chapitre 3.2.2) par rapport à l'état actuel (voir figure 27).

Dans le **secteur des bâtiments**, en revanche, des valeurs limites de CO_2 doivent s'appliquer aux anciens bâtiments à partir de 2023 et les systèmes de chauffage au fioul ne peuvent être installés que si un bâtiment est bien isolé. La valeur limite est fixée à un maximum de 20 kg par mètre carré de surface de référence énergétique et par an, et doit être réduite de 5 kg tous les cinq ans (BBl 2020 7847, art. 10). Cela devrait résoudre le problème actuel selon lequel les anciens systèmes de chauffage au fioul sont souvent simplement remplacés par de nouveaux. L'abandon des systèmes de chauffage fonctionnant avec des combustibles fossiles peut avoir un fort impact sur les économies de CO_2, tout en augmentant l'efficacité des mesures : les rénovations ciblées de composants du bâtiment ont finalement un meilleur rendement énergétique que d'autres interventions (voir chapitre 3.2.4.2). Toutefois, cet ajout ne garantit pas que seules ces rénovations seront effectuées. Dans le contexte du Programme Bâtiments (dans le cadre du nouveau Fonds pour le climat, voir ci-après), cela signifie qu'une augmentation de l'efficacité des mesures de subvention n'est pas nécessairement acquise, même après la révision totale. En outre, le choix des systèmes de chauffage ne dépend pas de leurs émissions de GES, mais de l'état des bâtiments. Par conséquent, les mesures prises dans le secteur des bâtiments restent très axées sur un facteur spécifique, à savoir la qualité énergétique des bâtiments. Cela limite encore l'efficacité (voir chapitre 3.2.4.1). Les deux autres critères d'évaluation – vérité des coûts et neutralité technologique – ne s'améliorent pas non plus par rapport à la loi actuelle sur le CO_2.

En ce qui concerne l'**obligation de compenser** les importations de combustibles, il est prévu qu'une proportion plus élevée soit compensée : un maximum de 90 %. La part des mesures nationales est désormais d'au moins 15 %, et d'au moins 20 % à partir de 2025. Cela signifie que la différence par rapport à la part de compensation de 90 %, par exemple, peut être assurée par des quotas de réduction étrangers (BBl 2020 7847, art. 30 et suivants). La majoration du prix du litre de carburant sera de 10 centimes maximum d'ici 2024 et de 12 centimes maximum à partir de 2025. L'augmentation du taux de compensation accroît l'ampleur de la mesure et donc son efficacité (voir chapitre 3.2.4.1). Il en va de même pour l'augmentation de la part étrangère : l'efficacité de la mesure augmente. En outre, la courbe d'apprentissage pour une coopération bilatérale plus étendue avec d'autres pays est accélérée (voir chapitre 4.3.1). Par rapport à la loi actuelle sur le CO_2, non seulement l'efficacité mais aussi l'efficience sont améliorées, car toutes les compensations ne doivent plus être faites au niveau national, comme c'était le cas auparavant.

Dans le cas de la réglementation sur **les émissions de CO_2**, un nouveau renforcement des valeurs cibles est prévu, ainsi que l'extension à d'autres types de véhicules (BBl 2020 7847, art. 11 et suivants). Il a déjà été montré pourquoi cette mesure n'est pas idéale pour réduire les émissions dans les transports (chapitre 3.2.3 et suivants). Néanmoins, il est logique que la Suisse - en raison de l'absence de sa propre production de véhicules – suive les directives de l'UE. Cela facilite les importations. En ce qui concerne les quatre critères, certains progrès peuvent être réalisés en termes d'efficacité, mais les autres évaluations restent les mêmes.

La taxe sur les billets d'avion – une mauvaise conception

Dans le cas de la nouvelle taxe sur les billets d'avion qui doit être introduite (FF 2020 7847, art. 42 ss), il est souvent fait référence à une «taxe sur le CO_2 pour les billets d'avion» (SRF 2020). Ce n'est pas faux - mais un peu confus, puisque la taxe sur le CO_2 existe déjà en tant que mesure indépendante. Elle n'est prélevée que sur les carburants, ce qui restera le cas même après la révision totale de la loi. Il ne s'agit donc pas d'étendre la taxe sur le CO_2, mais d'introduire une nouvelle taxe. Celle-ci sera prélevée sur les billets d'avion et s'élèvera, en fonction de la classe et de la distance parcourue, à un minimum de 30 francs et à un maximum de 120 francs. Pour les jets privés (à partir d'un poids maximum au décollage de 5700 kg), la fourchette se situe entre 500 et 3000 francs.

Mais qu'est-ce qui a été réellement appliqué au trafic aérien jusqu'à présent? Tout d'abord, il faut noter que le trafic aérien national en Suisse n'est guère significatif: en 2018, il représentait une part de 0,8 % des émissions du transport (Bafu 2020k). [214] Le transport aérien international est beaucoup plus important, mais– conformément aux exigences de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) – il n'est pas comptabilisé dans les émissions nationales. [215] L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) de l'ONU est responsable des 5,67 millions de tonnes d'éq.CO_2 (Bafu 2020e), [216] que le trafic aérien international lié aux aéroports suisses a généré en 2018. Cette organisation travaille actuellement sur un mécanisme basé sur le marché (Corsia) qui permettra l'échange de quotas entre les compagnies aériennes et d'autres secteurs économiques. [217]

Il existe toutefois quelques exceptions : l'UE a décidé d'intégrer l'aviation dans son EQE dès 2005. Initialement, tous les opérateurs aériens ayant des décollages et des atterrissages dans l'Espace économique européen (EEE) étaient soumis au système

214 Néanmoins, ces émissions sont partiellement couvertes par l'obligation de compensation pour les carburants, car le kérosène est également concerné.

215 Il en va de même pour le transport maritime international.

216 Cela représente une augmentation de 83 % par rapport à 1990, la plus importante de tous les autres modes de transport en Suisse.

217 La première phase de test est prévue pour 2021–2023, mais elle est volontaire *(Carbon Brief 2019)*. Les émissions de 2020 doivent servir de base, mais elles seront révisées en raison de l'année exceptionnelle au cours de laquelle les mouvements mondiaux d'avions ont été massivement réduits.

d'échange de certificats d'émission, mais la pression internationale a limité l'obligation ETS aux vols au sein de l'EEE. La Suisse l'a adopté à l'occasion de la liaison de son EQE avec celui de l'UE. Ainsi, depuis 2020, tous les exploitants nationaux et étrangers d'aéronefs effectuant des vols en Suisse ou de la Suisse vers des États de l'EEE sont tenus d'y participer. Cela correspond à environ 65 % du volume de passagers dans les aéroports nationaux suisses (Peter et al. 2016).

Avec la taxe sur les billets d'avion, la Suisse impose une double charge à la majorité des vols – qui ont lieu dans l'espace EEE – car, en plus de la taxe, les entreprises de transport aérien (ou, en dernier ressort, les consommateurs) doivent également payer pour participer au SEQE. De plus, de fausses incitations apparaissent : un vol direct de Zurich à New York, par exemple, se voit facturer la taxe pour l'ensemble du trajet, alors que les passagers en transfert à Francfort ne doivent payer que pour le trajet Zurich-Francfort. Le décollage supplémentaire à Francfort par rapport au vol direct de Zurich a un impact disproportionné sur le climat. Les liaisons intérieures, p. ex. Zurich-Genève, sont même triplement grevées ; elles paient en plus les coûts de l'obligation de compensation. Ainsi, la nouvelle taxe sur les billets d'avion est une erreur et devrait être supprimée – au plus tard lorsqu'un système global sera disponible.

Le Fonds pour le climat – un magasin en libre-service

Le **Fonds pour le climat** (BBl 2020 7847, art. 53 ss.) est destiné à remplacer les régimes de financement existants (parties du Programme Bâtiments et du Fonds technologique). Le nouveau fonds continuera d'être financé par l'affectation partielle actuelle de la taxe sur le CO_2 (un tiers des recettes, mais au maximum 450 millions de francs par an). En outre, un peu moins de la moitié des recettes (49 %) de la taxe sur les billets d'avion seront désormais ajoutées, ainsi que d'autres recettes fondées sur la loi sur le CO_2, telles que les paiements de sanctions et le produit de la mise aux enchères des droits d'émission (Ofev 2019d). Selon les estimations actuelles, un milliard de francs suisses par an pourraient être disponibles à l'avenir. [218]

Un montant de 450 millions de francs est également réservé à l'avenir pour le Programme Bâtiments (Swisspower 2020). Cependant, il n'a pas encore été déterminé si les mesures dans le secteur des bâtiments seront modifiées. À d'autres égards également, on ne sait pas exactement à quoi est destiné l'argent du Fonds pour le climat. Les utilisations possibles sont largement définies : contributions aux propriétaires pour des rénovations ou des systèmes de chauffage respectueux du climat, financement de la recherche dans les domaines de l'aviation, de la géothermie, des trains de nuit, garanties pour les investissements dans la réduction du CO_2, projets de prévention des dommages - cette liste est loin d'être exhaustive (NZZ 2020). Comme si cela n'était pas assez

218 Le montant total dépendra également de la manière dont le secteur aérien se remettra de la crise actuelle *(NZZ 2020)*.

confus, le gouvernement fédéral est en outre autorisé à soutenir des «mesures supplémentaires» non définies si elles servent les objectifs de la loi.

Mis en place de cette manière, le Fonds pour le climat prévu risque de se transformer en un libre-service, les groupes d'intérêts commerciaux - soutenus par les partis de gauche et les partis verts - faisant pression pour l'élargissement des mesures de financement (voir également Dümmler et Rutz 2019). L'efficacité climatique par franc investi risque d'être faible. Voici une brève comparaison arithmétique : la Suisse émet environ 46 millions de tonnes d'éq.CO_2 par an. Le prix d'une tonne d'éq.CO_2 dans le SEQE a atteint un nouveau sommet historique de 42 € en mars 2021. En supposant que la Suisse puisse compenser la totalité de ses émissions de GES à l'étranger pendant un an à ce prix, le coût serait d'un peu moins de deux milliards de francs. Avec le double de la somme qui doit alimenter le fonds chaque année, la Suisse pourrait donc, aux prix actuels, atteindre immédiatement la neutralité climatique. On pourrait objecter : oui, mais seulement sur le papier. Mais une tonne de CO_2 économisée est une tonne de CO_2 économisée pour la protection du climat – qu'elle soit économisée dans le pays ou à l'étranger.

Si un Fonds pour le climat devait être créé, au lieu de distribuer l'argent à la population dans son intégralité, il devrait être épargné pour financer les émissions négatives qui pourraient s'avérer nécessaires à partir de 2050, ou pour utiliser l'argent pour réparer les dommages climatiques dans quelques décennies – ce qui permettrait d'atteindre une justice intergénérationnelle au sens propre du terme.

Conclusion sur la révision totale de la loi sur le CO_2

Globalement, la révision totale de la loi sur le CO_2 semble être une continuation du patchwork climatique suisse. Il serait préférable de s'appuyer sur des instruments simples, fondés sur le marché et indépendants des secteurs ou des industries. Après tout, il n'est pas pertinent pour le développement du climat de savoir quelles activités économiques sont à l'origine des émissions de GES. Au lieu de poursuivre le patchwork et de le rendre encore plus hétérogène avec la taxe sur les billets d'avion et le Fonds pour le climat, une nouvelle approche audacieuse aurait été appropriée – avec le risque de perdre le soutien de bénéficiaires du système actuel, tels que l'artisanat, si certains instruments étaient supprimés. Avec la révision totale de la loi sur le CO_2, la Suisse passe à côté du potentiel d'une politique climatique plus efficace et, surtout, plus efficiente.

Malgré ces critiques, il ne faut pas oublier que la révision totale est au moins un moyen – même s'il n'est pas optimal – d'atteindre l'objectif de réduction pour 2030. Si le projet de loi est rejeté, un temps précieux sera perdu pour mettre en œuvre une alternative ayant une légitimité démocratique. Il convient donc d'insister pour que la politique climatique de la Suisse – indépendamment du résultat de la votation – soit à nouveau révisée en profondeur dans les plus brefs délais et que des instruments répondant mieux aux critères énoncés au chapitre 3.2.2 soient utilisés.

4.4 Ajustement intérieur au changement climatique

L'influence de la Suisse sur le changement climatique étant limitée, l'ampleur des changements échappe largement à son contrôle. Le contrôle sur les processus internationaux de recherche de solutions, tels que la création d'un club climatique, reste également limité. En revanche, ce qui relève clairement de sa propre sphère de compétence, c'est l'atténuation des effets négatifs du changement climatique sur son propre territoire. Il est donc important d'être conscient des risques et des opportunités auxquels la Suisse est confrontée et de s'y préparer de manière adéquate.

Mais quelles sont les tâches du secteur public dans le cadre d'une politique d'ajustement interne? Où est-il nécessaire d'intervenir, et où vaut-il mieux s'adapter librement aux nouvelles conditions? Ce chapitre identifie – sur la base des risques et des opportunités du changement climatique – la nécessité d'agir et les champs d'action pour l'État.

4.4.1 Risques

Dans le rapport sur les risques de l'Office fédéral de la protection de la population (OFPP), trois des dix principaux risques dont la valeur des dommages attendus est la plus élevée sont des scénarios susceptibles de devenir plus graves ou plus fréquents en raison du changement climatique: chaleur, tempêtes et sécheresse (Babs 2020). L'objectif de ce sous-chapitre est de montrer quels sont les principaux défis pour les prestations que l'État fournit déjà et quels champs d'action devraient être ajoutés en raison du changement climatique.

Adaptation de l'infrastructure

L'une des tâches essentielles de la Confédération, des cantons et des communes est la mise à disposition d'infrastructures publiques. Il convient de l'adapter aux nouvelles conditions, plus chaudes. Les estimations des coûts supplémentaires annuels des infrastructures de transport s'élèvent à environ 100 millions de francs (Jaag et Schnyder 2019). Cela comprend, par exemple, les dommages causés aux routes et aux voies ferrées par des événements extrêmes tels que les inondations et les tempêtes, mais aussi des évolutions progressives telles que l'augmentation des dommages liés à la dégradation due à des précipitations plus intenses ou à une demande accrue d'installations de refroidissement. Outre les investissements supplémentaires nécessaires, il y a aussi des effets positifs: par exemple, moins de dommages liés au gel sur les rails et les routes (Jaag et Schnyder 2019). Il ne faut pas s'attendre à une explosion des coûts d'entretien des infrastructures suisses.

Augmentation des jours de canicule

De nouveaux domaines d'activité peuvent également être ajoutés aux services déjà fournis par l'État. Certains cantons et villes ont élaboré des «plans d'action contre la canicule». Il s'agit notamment de campagnes de sensibilisation visant à alerter les groupes vulnérables à l'approche d'une canicule. [219] Les cantons de Genève, de Vaud et du Tessin ont adopté une approche moins paternaliste en développant un «système d'aide» volontaire. Dans le cadre de ce système, les personnes âgées vivant à domicile sont prises en charge par des aidants bénévoles pendant une canicule au moyen de visites ou d'appels téléphoniques, avec leur consentement préalable (Ragettli et Röösli 2019).

Il est nécessaire d'agir dans de nombreux grands hôpitaux. L'hôpital universitaire de Zurich, par exemple, ne climatise pas les chambres de ses patients. Seuls les blocs opératoires, les services de soins intensifs et de brûlés et la néonatologie sont climatisés (USZ 2014). Les établissements médico-sociaux (EMS) sont également réticents à installer la climatisation, notamment par crainte de propager des bactéries et des virus (NZZ 2014c). Toutefois, l'argumentation ne tient pas, car les unités de soins intensifs accueillant des patients extrêmement vulnérables en sont équipées, et des filtres appropriés peuvent également être installés. Dans les pays du Sud, la climatisation est la norme non seulement dans les foyers privés mais aussi dans les hôpitaux (Correire della Sera 2020). L'utilisation plus large des systèmes de climatisation n'est pas nécessairement associée à des coûts supplémentaires d'un point de vue global, car d'un autre côté, les

Encadré 20

L'approche du Tessin face aux défis

Le canton du Tessin est exposé au changement climatique différemment du reste de la Suisse. Il compte le plus grand nombre de jours chauds et de nuits tropicales en dehors des grandes villes (Bafu 2019b), et 95 % des feux de forêt en Suisse se produisent au Tessin (Bafu 2017b). À cela s'ajoute une circonstance particulièrement dangereuse : les fréquentes journées ensoleillées et le faible renouvellement de l'air dû à la topographie favorisent la formation d'ozone en été. Les niveaux d'ozone sont excessivement élevés pendant près de huit mois de l'année (Bafu 2019b). Cependant, malgré le plus grand nombre de jours de chaleur, de nuits tropicales et une qualité de l'air plus mauvaise en Suisse, on ne constate pas d'augmentation significative des décès dus à la canicule (Bafu 2019b). Le canton s'y oppose par des mesures ciblées : par exemple, une unité du personnel a été créée – le «Gruppo operativo salute e ambiente» (Gosa). Différents services du canton, des experts du secteur de la santé, de la science et de MétéoSuisse y participent. Depuis 2004, ils surveillent l'évolution de la chaleur, de l'ozone, des particules et de la pollution de l'air intérieur et prennent des mesures lorsqu'elles sont indiquées (Bafu 2019b). L'exemple du Tessin montre que la Suisse peut aussi faire face à la hausse des températures.

219 Dans des villes comme Zurich, une série de nouveaux postes gouvernementaux sont créés à cette fin. Par exemple, le département de la santé et de l'environnement a créé un nouveau groupe chargé de mettre en œuvre la stratégie climatique de la ville. Dans l'ensemble, l'administration de la ville de Zurich a augmenté de 5600 postes en 20 ans – c'est proportionnellement plus que l'augmentation de la population *(NZZ 2019b)*.

besoins en chauffage sont réduits pendant les saisons froides. Dans presque tous les cantons, les particuliers sont tenus d'obtenir un permis de construire pour pouvoir exploiter des systèmes de climatisation stationnaires. Par rapport à l'investissement, les frais sont parfois excessivement élevés et freinent la capacité d'adaptation envers des jours de canicule toujours plus nombreux (HEV 2018). Un assouplissement de l'exigence du permis est indiqué.

Des mesures d'urbanisme sont également discutées pour réduire la chaleur : par exemple, des «systèmes d'air froid» doivent être créés pour permettre à la chaleur de s'échapper des villes, notamment lors du refroidissement naturel de la nuit (Stadt Zürich 2021). Cependant, la mise en œuvre nécessite des mesures invasives et restreint davantage les options de conception des propriétaires. Il serait préférable d'accommoder les propriétaires en contrepartie, par exemple en ce qui concerne les restrictions de hauteur. L'«ombre portée» des bâtiments, qui est aujourd'hui un problème, pourrait l'être moins à l'avenir. Dans le sens d'une planification à long terme, les autorités publiques devraient se limiter à ouvrir les zones réservées et à créer davantage d'espaces verts lors du réaménagement des terrains publics. Cela a moins d'impact sur les droits de propriété privée et est souvent plus bénéfique pour le grand public.

Des périodes sèches plus longues

Il ne faut pas seulement se préparer aux canicules, mais aussi aux périodes de sécheresse. Malgré sa situation confortable de «château d'eau de l'Europe», avec de fortes précipitations dans les montagnes et de nombreux cours d'eau et lacs, la Suisse est de plus en plus touchée par des pénuries d'eau temporaires. Il faut distinguer la sécheresse agricole, qui pose généralement des problèmes en été, de la sécheresse météorologique due à un déficit de précipitations, qui a un impact négatif sur les forêts et le niveau des eaux souterraines (Bafu 2017b). Il faut donc trouver une stratégie adaptée à la forêt et au bilan hydrique de la Suisse :

La **forêt** couvre un tiers du territoire suisse (Bafu 2019e). L'épicéa domine, représentant 44 % de l'approvisionnement local en bois, suivi du hêtre (18 %) et du sapin blanc (15 %) (LFI et WSL 2011). Cette concentration, associée à des périodes de sécheresse plus fréquentes, constitue un défi pour l'écosystème forestier. Plusieurs espèces d'arbres ne peuvent pas faire face à l'intensité imminente de la chaleur et de la sécheresse. Les effets sont la chute précoce des feuilles, la fissuration de l'écorce et la mort des parties de la couronne (Rigling et Stähli 2020). À la suite de tempêtes et d'infestations d'insectes, le nombre d'épicéas a déjà diminué. Le mélange forestier en a bénéficié, les mélèzes, les érables et les frênes comblant partiellement les lacunes (IFN et WSL 2011). L'augmentation de la plantation d'espèces tolérantes à la sécheresse à basse altitude et l'introduction accrue d'arbres à feuilles caduques à haute altitude seraient une mesure ciblée pour soutenir le changement d'espèces d'arbres (Pluess et al. 2016). Le réchauffement du climat et l'augmentation du nombre de foudroiements augmentent le risque de feux de forêt (Moris et

al. 2020). Toutefois, la surveillance des incendies dans les cantons est fonctionnelle et le système d'alerte précoce est continuellement amélioré (WSL 2021). Les incendies de forêt superficiels peuvent généralement être détectés rapidement et contenus par les pompiers (Maringer et al. 2020).

Une sécheresse prolongée affecte également le bilan hydrique. L'agriculture en particulier doit se battre contre la sécheresse ; le volume d'eau nécessaire peut quadrupler en périodes de sécheresse (Bafu 2017b). Toutefois, l'approvisionnement n'est pas garanti partout. En 2018, l'armée a été appelée à assurer l'abreuvement du bétail dans le Jura vaudois et dans les Préalpes fribourgeoises avec ses hélicoptères (Tagesanzeiger 2018). La sécheresse a également eu un impact sur les centrales hydroélectriques et les utilisateurs d'eau de refroidissement. Dans huit cantons, par exemple, un certain nombre de petites centrales hydroélectriques ont dû suspendre leur production pendant plusieurs semaines en raison d'un débit insuffisant. La moitié des cantons disposent déjà d'une stratégie de l'eau ou prévoient d'en élaborer une (BAFU 2019b). Les autorités compétentes ont pris conscience des risques d'une période sèche prolongée.

Il faut veiller à ce que les défis posés par l'augmentation des sécheresses ne donnent pas de mauvaises idées à certains. Il n'appartient pas aux pouvoirs publics de décharger les acteurs privés, tels que les agriculteurs, de la quasi-totalité du risque entrepreneurial. L'augmentation des pertes de récolte peut être contrée par l'adaptation des variétés plantées ou par des solutions d'assurance privées. L'abreuvement du bétail ne fait pas non plus partie des tâches de l'armée.

Inondation majeure

Six morts et des dommages d'environ trois milliards de francs suisses ont été causés par la crue en août 2005 (Bafu 2017b). Les inondations futures, déclenchées par l'augmentation des fortes précipitations, pourraient être plus fréquentes et emporter davantage de matériaux meubles en raison des processus de dégel du permafrost et du recul des glaciers. Non seulement la fréquence, mais aussi l'intensité et le danger sont susceptibles d'augmenter (Giorgi et al. 2016).

En Suisse, la protection contre les crues est inscrite dans la loi depuis longtemps. Des ouvrages de protection sont déjà en place à de nombreux endroits à risque et sont constamment améliorés. Par exemple, en prenant en compte les cas de surcharge, ce qui permet d'éviter que les structures de protection ne s'effondrent et que les masses d'eau ne montent de manière abrupte et incontrôlée. Des couloirs de décharge et des mesures organisationnelles permettent de réduire encore le risque (Bafu 2018c). La mise à jour périodique des données fondamentales sur les dangers et les risques et la poursuite de la surveillance permanente sont ici importantes pour maintenir le niveau de protection existant.

Autres mesures d'adaptation

La situation concernant les besoins futurs en matière de protection contre les éboulis n'est pas claire. L'Ofev ne constate pas de tendance significative de ces derniers en fonction de la température. Les processus de dégel dans le pergélisol peuvent faire apparaître des discontinuités, des fissures de décompression et de nouvelles voies d'écoulement dans la roche. L'augmentation des fortes précipitations accroît également le risque de glissements de terrain. En raison de l'utilisation plus intensive de l'espace, il faut s'attendre à une augmentation des dommages corporels et matériels (Ofev 2017b). Comme pour la protection contre les inondations, il est important de prendre des précautions avec une surveillance constante et des mesures structurelles. Toutefois, ces mesures varient considérablement d'un endroit à l'autre et doivent être considérées séparément dans chaque cas individuel.

4.4.2 Opportunités

Outre les risques, le changement climatique offre également des opportunités (Ofev 2020l). La préférence pour le statu quo ne doit pas occulter la vue des opportunités qui se présentent. Il ne s'agit pas seulement de la réduction des besoins en chauffage grâce à un climat plus chaud (Bafu 2020l).

Par exemple, le potentiel pour l'**agriculture** suisse est important si elle parvient à s'adapter aux nouvelles conditions. Les prairies, les pâturages et les cultures arables bénéficient globalement d'une augmentation de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère. La production de pâturages bénéficiera également de la hausse des températures. Pour chaque degré d'augmentation de la température annuelle moyenne, la saison de croissance commence six à sept jours plus tôt et se termine aussi longtemps plus tard. En adaptant la production et en introduisant des cultures résistantes à la chaleur [220], il sera même possible de récolter deux fois plus de cultures par an dans certaines régions (Calanca et al. 2005). Les opportunités qui se présentent sont freinées par le niveau élevé des subventions dans l'agriculture suisse. Avec une moyenne de 54 % du revenu brut d'une exploitation agricole constituée de transferts gouvernementaux (OECD 2019), les agriculteurs sont peu incités à modifier ce qu'ils produisent. Ils produisent ce pour quoi ils sont payés (Dümmler et Roten 2018). La gestion des hauts alpages avec du bétail est devenue une activité rentable au Moyen Âge (Holenstein 2014). Avec la sécheresse croissante et l'augmentation des coûts d'infrastructure, l'agriculture alpine n'est soutenue que par des subventions. La valeur économique nette ajoutée est déjà négative dans les cantons alpins (Dümmler et Bonato 2020), et le changement climatique risque d'exacerber cette tendance. Toutefois, en libérant les agriculteurs du corset réglementaire actuel,

220 Cela peut également nécessiter la plantation de variétés génétiquement modifiées. La Suisse dispose toutefois d'un moratoire sur la culture d'organismes génétiquement modifiés (OGM) dans l'agriculture ; ce moratoire s'applique également aux produits issus de nouveaux procédés de génie génétique (méthode CRISPR/Cas).

il leur serait plus facile de passer à une agriculture rentable dans des conditions nouvelles et plus chaudes.

Les glaciers sont d'une importance secondaire pour l'**hydroélectricité**. Si les glaciers disparaissaient complètement du tableau alpin, cela entraînerait une baisse de 2,5 % de la production de l'énergie hydraulique totale. En revanche, 93 % des précipitations en Suisse passent par au moins une centrale hydroélectrique locale (Wermelinger 2018). Ce recul des glaciers ouvre des perspectives : le programme national de recherche énergétique a identifié un total de sept nouveaux sites pour des barrages. Cela pourrait générer 1,1 térawattheure d'électricité par an (NFP Energie 2021). Cela correspond à 2 % de la production actuelle d'électricité en Suisse (VSE 2021). Actuellement, six de ces sites sont situés dans des zones protégées. Grâce à une nouvelle utilisation, les friches glaciaires qui en résultent deviendraient non seulement un monument au changement climatique, mais aussi un symbole de la transformation du système énergétique grâce à de nouvelles centrales hydroélectriques.

En outre, le changement climatique offre d'autres opportunités : l'augmentation des inondations peut être bénéfique du point de vue de la biodiversité - par exemple, si de nouveaux habitats sont créés sur les zones recouvertes par le charriage après une inondation, où diverses espèces pionnières peuvent s'installer (Bafu 2020f).

Les opportunités ne nécessitent pas de nouvelles tâches étatiques

Il est essentiel que les politiciens et les administrations reconnaissent également les opportunités découlant du changement climatique et abordent ce fait publiquement (Bafu 2020f). Les choses se compliquent lorsque le secteur public en déduit automatiquement de nouvelles tâches. Par exemple, le plan d'action de la Confédération confie la promotion du tourisme d'été au Seco : il s'agit de soutenir le «développement des offres et la diversification du tourisme suisse» (Bafu 2020f). Mais la politique industrielle n'a pas sa place ici. La branche exploitera les possibilités offertes par le tourisme d'été mieux et plus rapidement qu'une unité de personnel sous la direction du Seco. En revanche, des défis se posent pour le tourisme d'hiver. Les sports d'hiver ne seront plus possibles tels qu'ils le sont aujourd'hui, en particulier dans les destinations les plus basses de l'Oberland bernois ou de la Suisse centrale. Les zones plus en altitude, comme le Valais et les Grisons, seront moins touchées. Elles pourraient même en bénéficier par rapport à d'autres destinations de l'arc alpin, car elles sont comparativement mieux enneigées (Müller-Jentsch 2017).

Le canton de Zurich a correctement identifié le (manque de) besoin d'une action gouvernementale sur ces opportunités. Dans son plan de mesures d'adaptation au changement climatique, il écrit : «Ces possibilités de changement climatique nous amènent souvent à penser que les différents secteurs eux-mêmes deviendront actifs afin de tirer parti de ces possibilités. L'action des pouvoirs publics est donc moins nécessaire ici.» (Baudirektion Kanton Zürich 2018 : p. 6). Cela devrait être le principe directeur de l'ac-

tion gouvernementale. Tout ce qui est déclenché par le changement climatique ne relève pas de la responsabilité du secteur public.

4.4.3 Conclusion

De nombreux acteurs sont conscients des adaptations nécessaires au changement climatique. Les autorités responsables n'ont pas laissé passer les dernières années sans réagir, mais ont dans certains cas traité les changements de manière intensive - souvent accompagnés d'une forte et, dans certains cas, discutable expansion des organes administratifs. Malgré les défis que le changement climatique pose à la Suisse, il est important de ne pas tomber dans un activisme d'adaptation sans espoir. Une analyse sobre des coûts et des avantages doit être effectuée pour toutes les mesures proposées (voir chapitre 3.2.2).

L'approche de la subsidiarité, qui a été couronnée de succès pour la Suisse, devrait également être appliquée au changement climatique. La Confédération, les cantons et les communes doivent protéger les biens publics qu'ils fournissent contre les effets négatifs du changement climatique. Les opportunités qui se présentent doivent être exploitées par les acteurs privés. Cela nécessite des conditions-cadres plus souples pour que l'économie puisse se développer. Le soutien des agences gouvernementales n'est pas nécessaire. Il n'est pas non plus opportun de défendre le statu quo par tous les moyens. Pour la sylviculture et l'agriculture en particulier, il ne s'agit pas de s›en tenir à ce dernier, mais de s'adapter aux nouvelles circonstances. Il faut accepter cette nouvelle réalité. Grâce à ces principes, la Suisse peut s'adapter avec succès.

5 Conclusion

5.1 Situation initiale – climat et politique climatique

L'humanité a atteint une énorme prospérité depuis la révolution industrielle. Au fil des progrès technologiques, elle a pu résoudre de nombreux problèmes de ressources et d'environnement engendrés par les besoins de consommation croissants d'une population en pleine expansion. Le défi du changement climatique n'a pas encore été relevé. Cela s'explique en partie par le fait qu'il ne s'agit pas d'un problème environnemental local ou régional, comme beaucoup d'autres, mais d'un problème mondial. Les effets des émissions de GES ne pèsent donc pas seulement sur les pays qui en sont à l'origine, mais ont des répercussions dans le monde entier - et ils se produiront surtout dans un avenir que beaucoup d'entre nous ne verront même pas de leur vivant.

Gaz à effet de serre et changement climatique

Par rapport à l'époque préindustrielle, la concentration de CO_2 dans l'atmosphère est passée de 280 à 410 ppm. Ce phénomène a été associé à une augmentation de la température moyenne de la planète de 1,1°C (1,75°C sur les terres, soit beaucoup plus que 0,9°C pour les océans). L'augmentation de 1,5°C définie dans l'Accord de Paris n'est donc pas loin aujourd'hui. Pour ne pas dépasser cette limite, le monde entier devrait parvenir à un bilan net de zéro émission de gaz à effet de serre (GES) au plus tard en 2050. Avec les politiques climatiques actuelles mises en place dans le monde, un réchauffement de 3°C est plus probable. L'objectif de 1,5 degré n'est pas inventé de toutes pièces. Les responsables politiques se sont mis d'accord sur cet objectif parce qu'un réchauffement plus important augmente considérablement la probabilité que d'importants points de basculement du système climatique soient dépassés (voir p. 44 et suivantes). Cependant, il n'est pas vrai qu'aucune conséquence désagréable ne peut être attendue avant 1,5°C et qu'au-delà de 1,5°C, ce sera la fin du monde. Si nous ne parvenons pas à atteindre 1,5°C, il vaut mieux limiter le réchauffement à 2°C plutôt qu'à 2,5°C, et si nous n'y parvenons pas non plus, 2,5°C est préférable à 3°C - car même si l'un ou l'autre point de basculement est franchi : la vitesse de déroulement d'un processus initié (irréversible) dépend à nouveau de l'augmentation de la température. Une augmentation plus faible de la température donne donc à l'humanité plus de temps pour s'adapter à des changements éventuellement irréversibles.

Dans le débat (parfois passionné) sur le climat, un point est souvent ignoré : celui que la Terre, sa flore et sa faune s'accommodent bien de températures plus élevées. Un changement climatique à peine ralenti entraînerait l'effondrement de divers écosys-

tèmes, mais à leur place, de nouveaux écosystèmes se développeraient au cours des siècles - un battement d'aile à l'échelle des temps géologiques. La lutte contre le changement climatique ne consiste donc pas à sauver la Terre d'une hausse des températures, mais à préserver un état climatique bénéfique à long terme pour notre civilisation humaine. Souligner ce point ne relève pas de la pédanterie, mais est au contraire très pertinent. En effet, cela permet de transformer un problème souvent chargé d'une signification morale, voire religieuse (naturelle), en un problème factuel - un problème qui n'est pas atténué par des actes symboliques, mais qui appelle des solutions pragmatiques et efficientes. La «protection du climat» doit donc être comprise comme une protection contre les effets de ce dernier, et non comme une protection du climat.

Le rôle de la Suisse

La Suisse est actuellement responsable d'environ 0,1% des émissions annuelles mondiales de GES ; si l'on ajoute toutes les importations (et que l'on soustrait les exportations), on arrive à un bon 0,2 % (voir figures 9 et 12). Malgré son niveau de prospérité très élevé, la dette de CO_2 de la Suisse est inférieure à celle de la plupart des autres pays occidentaux, grâce à une efficacité énergétique élevée et à la faible intensité de CO_2 de notre demande énergétique (principalement grâce au mix énergétique à faible teneur en CO_2).

Par rapport aux niveaux préindustriels, la température moyenne en Suisse a déjà augmenté de 2,2°C. Cette augmentation est plus importante que l'augmentation moyenne de la température globale sur terre. Cela ne signifie pas pour autant que la Suisse – comme on l'entend souvent – est particulièrement touchée par le changement climatique. En tant que pays sans côte maritime, situé à des latitudes tempérées et dont le climat a eu tendance à être frais et humide jusqu'à présent, il ne fait pas partie des principales zones à risque pour le changement climatique. On peut s'attendre à un climat de plus en plus méditerranéen, avec une sécheresse estivale et une humidité hivernale. Le point de basculement des glaciers suisses a déjà été franchi : 90 % de leur volume va disparaître, mais la question est de savoir à quelle vitesse. Ces changements impliquent des défis, mais pas des défis qui, compte tenu de notre prospérité, ne peuvent être relevés avec un effort raisonnable.

La Suisse se trouve donc dans la position suivante : d'une part, elle n'est pas trop affectée par le changement climatique et, d'autre part, l'évolution de ses propres émissions de GES n'aura pas d'impact notable sur les effets du changement climatique en Suisse. En tant que l'un des pays les plus riches du monde, il doit néanmoins donner le bon exemple en matière de protection du climat. Mais donner le bon exemple signifie : pas de politique symbolique, pas de moralisme – et surtout pas de mesures trop coûteuses et inefficaces – qui ne seraient alors guère adoptées par d'autres pays. Ce qu'il faut, c'est une politique climatique efficace, axée sur le marché, qui convienne bien à notre pays de longue tradition libérale et qui prouve que la protection du climat et la

croissance économique ne sont pas contradictoires. La Suisse devrait également agir en tant que diplomate en faveur d'accords multilatéraux sur le climat et de solutions supranationales intelligentes. De cette manière, elle peut obtenir davantage dans la lutte contre le changement climatique – dans l'intérêt de tous – que ce qu'elle pourrait faire avec ses propres mesures de réduction, notamment sur ses propres terres.

Fondements théoriques d'une politique climatique fondée sur le marché

L'un des principaux piliers du libéralisme est la responsabilité personnelle, c'est-à-dire le fait d'assumer les conséquences de ses propres actions. La conséquence des émissions de GES est le changement climatique. Le coût de cette situation n'incombe pas à l'individu qui en est à l'origine, mais au monde entier – et surtout aux générations futures. À cet égard, la protection du climat est une vertu libérale. L'objectif d'une politique climatique libérale est l'internalisation des coûts que les acteurs occasionnent par leurs émissions de GES. La vérité des coûts ainsi obtenue incite à un comportement de consommation socialement optimisé qui tient compte de ses effets sur les générations futures.

Dans la pratique, cependant, il n'est pas possible de calculer de manière fiable le coût social d'une tonne d'éq.CO_2 émise. Non seulement les modèles climatiques présentent des zones d'incertitude considérables, mais les évolutions technologiques sont également presque impossibles à prévoir. Peut-être que des technologies de rupture seront inventées dans un avenir proche pour stopper le changement climatique à moindre coût, peut-être pas. Enfin, le calcul du coût marginal actuel des émissions de GES dépend aussi fortement du choix du taux d'actualisation utilisé pour ramener les coûts futurs au présent. Pour ces raisons, le problème est abordé sous un angle différent en réalité : selon le GIEC, une «interférence anthropique dangereuse avec le système climatique» peut encore être évitée avec une forte probabilité à un réchauffement global de 1,5°C, raison pour laquelle il a été stipulé dans l'accord sur le climat de viser cet objectif (et de rester au moins «bien en dessous de 2°C»). Pour cela, les émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites de moitié rapidement et ramenées à zéro au niveau mondial d'ici 2050. Le zéro net signifie que l'on n'émet pas plus de GES que ce que l'on retire de l'atmosphère par des mesures techniques ou des programmes de reboisement.

La réduction requise des émissions peut être obtenue par une grande variété de mécanismes. Cependant, les mécanismes de prix sont fondamentalement supérieurs aux instruments dirigistes tels que les réglementations ou même les interdictions : ils sont neutres sur le plan technologique, incitent à l'innovation et, surtout, permettent de réduire de manière flexible les émissions de GES là où il est le moins coûteux de les prévenir. En théorie, cela garantit que la réduction maximale des émissions est atteinte avec un effort donné. Dans la pratique, le mécanisme de prix permet au moins d'évi-

ter que beaucoup d'argent soit gaspillé pour des mesures qui ne contribuent pas de manière significative à la réduction des émissions de GES.

En principe, les émissions de GES peuvent être tarifées à l'aide de deux instruments : une taxe sur les GES ou des quotas d'émission négociables («cap and trade»). Ce dernier conduit directement à la voie de réduction souhaitée, tandis que le premier fait un détour par le prix. Les deux approches – fixation réglementaire du prix ou de la quantité maximale autorisée – présentent des avantages et des inconvénients. Toutefois, avec une conception appropriée, les propriétés effectives des deux instruments convergent – la réduction d'un désavantage (par exemple, la trajectoire incertaine de réduction visée) s'accompagne généralement de la mise en danger d'un avantage correspondant (par exemple, la certitude des prix).

L'efficacité globale pour éviter les émissions de GES augmente avec le nombre de pays participant à un mécanisme de tarification commun. En effet, elle permet de compenser les coûts marginaux de réduction (voir figure 18) non seulement entre les acteurs d'un même pays, mais aussi entre des pays entiers. Dans une perspective globale, les mesures de réduction des GES sont donc également prises là où elles ont le plus d'impact. Une redistribution par habitant uniforme au niveau mondial des recettes générées donnerait aux pays émergents et en développement, qui émettent jusqu'à présent beaucoup moins de GES que de nombreux pays industrialisés, un argument de poids pour participer à une taxe multilatérale sur le CO_2 ou à un système d'échange de quotas d'émission. Cela s'explique par le fait que, tout compte fait, ils en tireraient un avantage financier, puisque les rentrées d'argent provenant des retransferts par habitant dépasseraient les sorties d'argent liées à la tarification des GES. Étant donné qu'une telle redistribution mondiale est un optimum théorique dont les chances de réalisation pratique sont plutôt faibles, d'autres moyens doivent être envisagés pour inciter le plus grand nombre de pays possible à coopérer (voir explications au chapitre 5.2).

La participation la plus large possible d'un grand nombre de pays aux mesures de politique climatique est également cruciale, car une baisse isolée de la demande de combustibles fossiles due à des mesures de politique climatique strictes dans certains pays occidentaux non producteurs de pétrole n'aurait aucun effet au niveau mondial : tant que l'offre des pays producteurs de pétrole ne diminue pas, la baisse de la demande des pays «verts» ne ferait que faire baisser le prix du marché des combustibles fossiles, de sorte que les pays «non verts» demanderaient l'offre qui n'est plus utilisée. Ce n'est que lorsque le prix du marché des combustibles fossiles approchera de zéro à long terme que le climat sera réellement aidé : en effet, les pays qui ont produit du pétrole jusqu'à présent laisseront de plus en plus leurs ressources dans le sol – ou du moins cesseront leurs efforts pour en trouver de nouvelles – et seront contraints de se tourner vers d'autres sources de revenus.

5.2 Une politique climatique libérale pour la Suisse

Quelle stratégie est la plus judicieuse pour la Suisse, compte tenu du défi mondial que représente le changement climatique et de sa faible part dans les émissions totales de GES? À quoi ressemble une politique climatique libérale pour la Suisse? Une réponse possible consiste à définir deux objectifs: Tout d'abord, la Suisse doit soutenir les efforts de la communauté mondiale pour stopper le changement climatique par des mesures dans le pays et à l'étranger. Deuxièmement, la Suisse doit prendre des mesures sur son territoire pour s'adapter au mieux à la hausse des températures.

Quatre champs d'action peuvent être dérivés du premier objectif: la coopération au niveau multilatéral, la coordination avec l'Union européenne, la conclusion d'accords

Figure 30

Deux objectifs et six champs d'action d'une politique climatique libérale pour la Suisse

Objectifs	*Domaines d'action*	*Description*
La Suisse soutient les efforts de la communauté mondiale pour stopper le changement climatique par des mesures sur son territoire et à l'étranger.	1. Coopération multilatérale	Motiver et montrer l'exemple pour impliquer le plus grand nombre possible d'émetteurs _ Accord de Paris _ Agenda 2030 de l'ONU
	2. Coordination européenne	Coopération pour saisir les opportunités économiques et éviter la discrimination commerciale _ Pacte vert pour l'Europe _ Système d'échange de quotas d'émission de l'UE _ Club climatique et mécanisme d'ajustement aux frontières
	3. Accords bilatéraux	Accroître l'efficacité des mesures climatiques _ rémunération à l'étranger _ coopération technique
	4. Réglementation nationale	Orientation des mesures climatiques sur des critères _ Efficacité _ Efficience _ Vérité des coûts _ Neutralité technologique
La Suisse prend des mesures sur son territoire pour s'adapter au mieux à la hausse des températures.	5. Affronter les risques	Mesures principalement au niveau local, précautions dans le domaine des infrastructures, des forêts, de l'approvisionnement en eau et contre la chaleur, la sécheresse et les inondations.
	6. Saisir les opportunités	Saisir les opportunités qui se présentent, par exemple dans l'agriculture ou dans l'hydroélectricité, et ne pas entraver les nouvelles offres en imposant des charges étatiques.

Source: propre représentation

bilatéraux et, enfin, l'alignement de la politique climatique nationale sur quatre critères.

Le deuxième objectif donne lieu à deux domaines d'action : affronter les risques du changement climatique et l'exploitation de ses opportunités (voir figure 30). Les six champs d'action sont décrits plus en détail ci-dessous.

Premier champ d'action : la coopération multilatérale

La manière la plus efficace et la plus efficiente de protéger le climat mondial serait qu'un «gouvernement mondial», doté d'un pouvoir d'exécution, adopte des mesures fondées sur le marché et impliquant tous les pays et toutes les activités économiques de manière égale. Comme il est peu probable que cela ne soit jamais le cas, l'accent est mis sur les institutions multinationales existantes, en premier lieu l'ONU. L'instrument le plus important est l'Accord de Paris, qui a formulé un objectif de 1,5 ou «bien en dessous de 2 degrés» (voir chapitre 3.1.2). Malgré cette annonce ambitieuse, pratiquement aucun pays ne reste à l'écart ; déjà 191 nations ont ratifié le texte du traité, seules quatre sont encore en suspens. C'est le résultat d'un compromis. Contrairement au protocole de Kyoto, l'objectif de Paris était d'impliquer le plus grand nombre de pays possible, même si cela devait se faire au détriment d'un droit international contraignant.

Ainsi, les États signataires déterminent de manière indépendante les mesures et les objectifs climatiques qu'ils souhaitent atteindre et les communiquent à l'ONU. Une conclusion provisoire est que la somme des Contributions déterminées au niveau national (CDN) communiquées jusqu'à présent n'est pas suffisante pour atteindre les objectifs climatiques de l'Accord de Paris. En outre, il est douteux que les réductions annoncées dans les CDN soient effectivement appliquées à la lettre par tous les pays. Paris ne prévoit aucun mécanisme de sanction pour les pays qui n'atteignent pas leurs objectifs climatiques. Il est donc plus facile de devenir partie à un traité que de faire suivre la ratification d'une action.

Une autre approche multilatérale est l'Agenda 2030 de l'ONU, qui a identifié 17 objectifs de développement durable, dont la protection du climat (voir chapitre 3.1.1). Ce dernier fait donc partie d'un concept de durabilité qui prend en compte non seulement les aspects écologiques mais aussi sociaux et économiques. Il s'agit, par exemple, de mettre fin à la pauvreté et à la faim, d'assurer l'accès à l'éducation et à l'eau potable, de garantir un travail décent et la croissance économique, ainsi qu'une consommation et une production responsables. Ils sont sur un pied d'égalité avec la protection du climat ; il n'y a pas de hiérarchisation explicite des différents objectifs de durabilité. Cela signifie que les autres objectifs ne doivent pas automatiquement être subordonnés à la protection du climat. La «stratégie tous azimuts», souvent préconisée, qui consiste à tout faire pour stopper le changement climatique sans tenir compte des coûts et des dommages collatéraux, ne rend donc pas service au développement durable de l'humanité. Une telle vision de la protection du climat risque de détériorer d'autres indi-

cateurs de durabilité. Par exemple, la réduction de l'activité économique due à la pandémie – qui a également entraîné une réduction des émissions de GES – a entraîné des coûts sociaux élevés dans le monde entier, et le risque de pauvreté a augmenté pour de nombreuses catégories de la population (voir chapitre 2.3).

La Suisse doit continuer à apporter activement des idées aux approches multilatérales de réduction des émissions de GES. Ce n'est que si le plus grand nombre possible d'émetteurs mettent en œuvre des mesures de réduction que l'effet sur le climat mondial deviendra mesurable. Dans le même temps, la Suisse doit donner le bon exemple. Car cela peut être motivant pour d'autres pays si la Suisse démontre que la réduction des énergies fossiles est compatible avec une augmentation de la prospérité. A cette fin, les mesures climatiques mises en œuvre par la Suisse doivent, entre autres, satisfaire à quatre critères économiques - ils sont énoncés dans le quatrième champ d'action.

Deuxième champ d'action: la coordination européenne

Outre le niveau multilatéral, la Suisse devrait également renforcer la coordination avec les pays de l'UE. En raison de la forte interdépendance économique, il est important d'accorder une attention accrue aux développements au sein de l'UE. L'accent est mis sur la forme future du cœur de la politique climatique de l'UE, à savoir le Pacte vert européen (voir chapitre 3.1.3). Au niveau de l'UE, le système d'échange de quotas d'émission (SEQE), en place depuis 2005, est l'instrument le plus important pour réduire les GES (voir chapitre 3.1.4). Il est complété par des réglementations nationales découlant d'objectifs nationaux contraignants.

Pour la Suisse en tant que pays tiers, cette situation présente à la fois des opportunités et des risques. Tout d'abord, il existe des possibilités économiques de vendre de plus en plus de technologies environnementales et de services de conseil dans l'UE. Deuxièmement, l'objectif déclaré de la Commission européenne est d'introduire un mécanisme d'ajustement aux frontières (voir chapitre 4.2.4). Les détails de ce projet devraient être annoncés avant la fin de l'année 2021. Pour la Suisse, qui réalise près de 50 % de son commerce extérieur avec l'UE, cette évolution est d'une importance éminente. En effet, il est probable que l'UE décide que les pays tiers - comme dans le modèle de club climatique de Nordhaus (voir chapitre 4.2.1) – devront payer des pénalités douanières s'ils n'ont pas mis en œuvre des mesures climatiques au moins équivalentes. En raison des objectifs climatiques presque identiques pour 2030, de l'objectif net zéro congruent pour 2050 et de l'intégration du système d'EQE suisse dans le SEQE-UE depuis 2020, la base de l'équivalence est donnée. Toutefois, il ne faut pas oublier qu'une réglementation équivalente en termes de contenu et d'effet ne suffit pas à éviter des pénalités douanières. La reconnaissance politique de l'équivalence est également nécessaire. La Suisse a déjà fait des expériences douloureuses à cet égard avec la bourse et, plus drastiquement sur le plan économique, avec les produits de la technologie médicale. Une

coordination étroite des mesures nationales avec les développements dans l'UE est indiquée.

Troisième champ d'action : les accords bilatéraux

Grâce aux accords de compensation conclus avec le Pérou et le Ghana, la Suisse joue un rôle de pionnière au niveau international en matière de protection transfrontalière du climat (voir chapitre 4.3.2). L'Accord de Paris permet explicitement aux pays participants de réduire leurs émissions à l'étranger et de les compenser par rapport à leurs propres objectifs climatiques. Les accords suisses pourraient donc servir de modèle, notamment pour les pays non-européens, quant à la manière dont un tel accord pourrait être structuré. En effet, non seulement les conditions dans lesquelles les résultats de la réduction des GES peuvent être crédités sont définies, mais les droits de l'Homme sont également pris en compte, par exemple. Ces accords bilatéraux s'appuient donc sur l'Agenda 2030 dans la mesure où ils ne se réfèrent pas seulement au concept de durabilité en termes de protection du climat.

Les accords servent également de plateforme pour l'échange technique d'expériences sur les instruments à utiliser et la manière de les utiliser, afin de promouvoir de manière optimale le développement durable. Grâce aux accords bilatéraux, la Suisse augmente l'efficacité de sa propre politique climatique : les GES sont réduits là où les coûts sont les plus bas. Plus les pays négocieront de tels accords entre eux, plus ils auront de chances de se rapprocher de la vision d'une approche multilatérale de la protection du climat – de bas en haut plutôt que de haut en bas.

Quatrième champ d'action : les mesures nationales

Afin d'atteindre le niveau zéro d'ici 2050, la politique climatique suisse doit se concentrer sur les mesures qui conduisent à une réduction durable à long terme, qui sont au bon endroit et qui sont abordables. Quatre critères permettent d'évaluer une mesure en cours de discussion et d'éviter les politiques symboliques :

01_ **Efficacité :** dans quelle mesure une proposition entraîne-t-elle une réduction des émissions de GES (voir p. 143) ? Ce qui compte, c'est la réduction des émissions en pourcentage des émissions totales.

02_ **Efficience :** combien de tonnes de GES peut-on économiser par franc investi (voir p. 144) ? L'efficience est bien sûr liée à l'efficacité : si la réduction des GES est quasi nulle (efficacité), le critère d'efficience risque d'être difficile à respecter – sauf si la mesure est très bon marché. L'urgence de la protection du climat ne justifie pas d'investir des ressources financières dans des mesures mal conçues. C'est précisément parce que les réductions de GES sont urgentes qu'il est important que chaque franc investi y apporte la plus grande contribution possible. La pertinence de ce critère repose également sur l'idée que toute mesure génère des coûts d'opportunité : chaque franc investi dans la protection du climat ne peut être consacré à d'autres

préoccupations, par exemple à l'éducation. L'efficience consiste donc à minimiser les coûts d'opportunité en utilisant les fonds disponibles là où ils peuvent déployer le plus d'effets.

03_ La **vérité des coûts** ou l'application du principe du pollueur-payeur : ce critère est l'élément central d'une politique climatique libérale (voir p. 145). Le pollueur à l'origine d'une émission de GES doit supporter non seulement ses propres coûts (qui sont nuls) mais aussi les coûts sociétaux liés à l'impact climatique de son émission. Une difficulté pratique consiste à quantifier le «véritable» coût sociétal - mais il s'agit à proprement parler d'un problème mineur. L'important est d'admettre que les émissions de GES ont d'abord un coût. La Banque mondiale a identifié une fourchette de prix mondiale comprise entre 50 et 100 dollars par tonne d'éq.CO_2 pour 2030 afin de respecter la trajectoire d'atténuation de l'objectif climatique de Paris «inférieur à deux degrés» (voir encadré 17).

04_ **Neutralité technologique :** la politique doit uniquement préciser l'objectif de réduction à atteindre par la mesure (voir p. 146). Le choix de la technologie pour atteindre l'objectif doit être laissé entre les mains des acteurs concernés. Cela crée une concurrence ouverte entre les différentes approches. En fin de compte, ceux qui fonctionnent le mieux et le plus efficacement l'emporteront. L'avantage de cette procédure de découverte est qu'elle ne nécessite pas qu'une autorité centrale anticipe à l'avance les technologies qui pourraient prévaloir. Le danger d'une erreur d'appréciation politique est écarté par des mesures neutres sur le plan technologique.

Les quatre critères susmentionnés permettent d'évaluer une mesure d'un point de vue libéral et, par conséquent, de comparer différentes stratégies (voir chapitre 3.2.5). Si les résultats d'une telle évaluation sont insuffisants, il faut aussi avoir le courage de proposer des mesures totalement nouvelles.

La politique climatique de la Suisse jusqu'en 2050 n'a pas encore été formulée, même si des premiers pas importants ont été faits avec la loi sur le CO_2 et la stratégie énergétique. La poursuite d'une politique climatique qui – comme nous l'avons mentionné au début – mène à une réduction durable à long terme, qui commence au bon endroit et qui reste abordable, dépend essentiellement de l'évolution de la Suisse. Ce n'est qu'avec une telle politique climatique réussie que la Suisse pourra également servir de modèle. Les mesures nationales peuvent ainsi être efficacement «démultipliées» par d'autres pays qui les copient.

Cinquième champ d'action : affronter les risques

Les risques ou les effets de la hausse des températures (voir chapitre 4.4.1) doivent être contrés principalement par des mesures prises au niveau local par des acteurs privés. En effet, les défis à relever dans les régions montagneuses, par exemple, diffèrent des besoins des villes. L'échange d'expériences entre les cantons et les municipalités peut contri-

buer à la mise en œuvre de mesures efficaces et efficientes. Il s'agit notamment de précautions dans les domaines des infrastructures, des forêts, de l'approvisionnement en eau et contre la chaleur, la sécheresse et les inondations.

Sixième champ d'action : saisir les opportunités

La préférence pour le statu quo ne doit pas occulter les opportunités qui se présentent (voir chapitre 4.4.2). Par exemple, la période de végétation sera plus longue, de nouvelles cultures pourront être pratiquées et plusieurs récoltes par an deviendront possibles. Les changements climatiques nécessitent également une adaptation de la politique agricole suisse, car le système de paiements directs n'incite guère les agriculteurs à modifier leur production. Ils produisent ce pour quoi ils sont payés, et cet argent provient en grande partie des véhicules de subventions rigides de la Confédération et des cantons.

En outre, le recul des glaciers offre la possibilité de développer la production d'électricité à partir de l'énergie hydraulique. Sept sites potentiels ont été identifiés, mais six d'entre eux sont situés dans des zones protégées. Il est donc nécessaire de réduire les réglementations gouvernementales afin que les symboles du changement climatique – les glaciers – deviennent les accélérateurs de la transition énergétique.

5.3 Dix considérations finales

Le point de départ de la politique climatique libérale exposée dans ce livre a été, tout d'abord, la reconnaissance du fait que le changement climatique observé est d'origine humaine. Deuxièmement, la conviction que les instruments de l'économie de marché offrent des solutions pour lutter efficacement contre le changement climatique sans devoir changer radicalement la façon dont nous avons vécu jusqu'à présent. Sur cette base, les dix considérations suivantes conduisent à la politique climatique libérale proposée pour la Suisse :

01_ Le changement climatique est un problème mondial qui affecte la création de valeur économique dans presque tous les domaines. Cela le rend fondamentalement différent de la plupart des autres problèmes environnementaux, qui ont un impact local (par exemple, la pollution aux particules). Même si les coûts globaux de la lutte contre le changement climatique sont inférieurs aux coûts globaux consécutifs à l'inaction, les bénéfices locaux des mesures climatiques locales sont à peine ressentis.

02_ Les émissions de gaz à effet de serre (GES) de la Suisse sont négligeables à l'échelle internationale ; prises isolément, elles ont un faible impact sur le climat mondial. Néanmoins, la Suisse devrait réduire ses émissions de GES conformément aux efforts multilatéraux ou plurilatéraux. Elle pourrait servir de modèle en démontrant que les réductions d'émissions obtenues grâce à des instruments fondés sur le marché ne compromettent pas les objectifs de durabilité sociale ou économique. Si les imitateurs peuvent être ainsi convaincus, l'effet de levier de la politique climatique suisse serait plus important que le simple effet domestique.

03_ Les émissions de GES de la Suisse ne s'arrêtent pas à ses frontières nationales. Le panier de biens que nous consommons contient une forte proportion de GES émis à l'étranger. La réduction des GES ne doit donc pas juste se limiter à la Suisse, mais inclure d'autres pays. Les spécifications relatives à une part minimale de réduction à atteindre au niveau national n'ont guère de sens et sont inefficaces.

04_ Une taxe incitative mondiale d'un montant identique dans le monde entier sur une tonne de GES, avec redistribution à la population mondiale, ou un système mondial d'échange de quotas d'émission seraient les approches les plus efficaces sur le plan économique. Les GES seraient évités au niveau international, là où les coûts sont les plus bas. La situation est différente si un pays fait cavalier seul et se concentre sur des mesures purement nationales. Dans le cas d'une création de valeur à faible intensité de GES - comme en Suisse - les coûts de réduction par tonne de GES seraient plusieurs fois supérieurs à ceux d'une solution coordonnée au niveau mondial.

05_ Il est peu probable qu'un système mondial de réduction des GES basé sur le marché soit réalisable, même dans le cadre de l'Accord de Paris. Mais la Suisse pourrait

être mise sous pression en raison des politiques climatiques de ses principaux partenaires commerciaux. Il est donc préférable d'adopter une approche comportant des mesures au niveau national et international. Ainsi, la Suisse pourrait non seulement faire partie d'un système d'échange de quotas d'émission (EQE) avec d'autres pays – comme c'est le cas aujourd'hui – mais aussi être membre d'un club climatique.

06_ Dans le cas des compensations étrangères, il ne doit pas y avoir de double comptage, le pays de consommation et le pays de production devant déclarer des économies identiques. Des règles transparentes, internationales – ou au moins bilatérales – sont nécessaires pour compenser les objectifs climatiques du pays financeur. Comme la Suisse l'a déjà fait avec le Pérou et le Ghana.

07_ Les recettes provenant de la charge des émissions de GES devraient être redistribuées à la population ou épargnées dans un fonds destiné à compenser les émissions négatives après 2050 et à financer les futures mesures d'adaptation au changement climatique. Cette dernière solution permettrait également d'accroître l'équité intergénérationnelle.

08_ La politique climatique ne doit pas être mélangée à d'autres objectifs politiques. Un exemple en est la politique des transports, qui devrait se concentrer sur l'utilisation efficace des capacités sans poursuivre également des objectifs de politique climatique. En particulier, il faut résister à la tentation de détourner la politique climatique au profit d'intérêts de politique industrielle. L'amalgame realpolitik des intérêts industriels et écologiques nuit à l'efficacité et à l'efficience des mesures de politique climatique.

09_ Le progrès technologique sera au cœur de la décarbonisation de la vie économique. Les interdictions ou prohibitions technologiques des États sont diamétralement opposées à cette évolution. Le cadre étatique comprend la fixation de l'objectif, mais pas la détermination de la technologie permettant d'atteindre cet objectif.

10_ Une politique climatique libérale ne ferme pas les yeux sur le fait que le changement climatique peut au mieux être fortement ralenti, mais ne peut être empêché malgré les efforts internationaux. En plus de la politique climatique, la Suisse devrait également prendre des mesures sur son territoire pour s'adapter au mieux à la hausse des températures. À cette fin, il faut non pas plus, mais moins d'exigences de la part de l'État pour que les acteurs privés puissent mieux contrer les risques et exploiter les opportunités.

L'interprétation politique des données climatiques et des mesures qui en découlent ne doit pas être laissée aux partisans des mesures radicales, de la redistribution et de la politique industrielle. Des voix libérales fortes sont nécessaires pour atteindre les objectifs internationaux et nationaux qui ont été fixés, sans que des politiques symboliques soient jouées en cours de route. Cela passe par l'éducation, car une politique

climatique efficace tire également sa force de la légitimité et de l'acceptation par la population.

La Suisse fait partie des pionniers de la protection du climat, mais elle peut et doit continuer à améliorer sa politique climatique. Les six domaines d'action identifiés en constituent la base.

Ils créent également les conditions préalables à la réussite de la neutralité climatique sans mettre en péril les autres objectifs de développement durable de notre pays. Mettons-nous au travail !

Abréviations

AC	Application conjointe (Joint Implementation)
AELE	Association européenne de libre-échange (European Free Trade Association)
Afolu	Agriculture, Foresterie et utilisation des terres (Agriculture, Forestry and Other Land Use)
CDN	Contributions déterminées au niveau national (Nationally Determined Contributions)
CME	Coût marginal d'évitement
Corsia	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
CSC	Captage et stockage du dioxyde de carbone (Carbon Capture and Storage)
EDC	Elimination du dioxyde de carbone (Carbon Dioxide Removal)
EEE	Espace économique européen
EEX	European Energy Exchange
éq.CO_2	Equivalent CO_2
EQE	Echange de quotas d'émission
EUA	European Union Allowance (quotas d'émission)
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Intergovernmental Panel on Climate Change)
GND	Green New Deal
IDH	Indice de développement humain
MDP	Mécanisme pour un développement propre (Clean Development Mechanism)
ModEnHa	Modèle d'encouragement harmonisé des cantons
MoPEC	Modèle de prescriptions énergétiques des cantons
NET	Negative Emission Technologies
ODD	Objectifs de Développement Durable (Sustainable Development Goals)
Ofen	Office fédéral de l'énergie
Ofev	Office fédéral de l'environnement
PIB	Produit intérieur brut
ppm	Partie par million (parts per million)
RCP	Profils représentatifs d'évolution de concentration (Representative Concentration Pathway)
RSM	Réserve de stabilité de marché (Market Stability Reserve)
SEQE-UE	Système d'échange de quotas d'émission de l'UE
URCE	Unités de réduction certifiée des émissions (Certified Emission Reductions, CER)
UTCATF	Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie (Land Use, Land Use Change and Forestry)
WLTP	Procédure d'essai mondiale harmonisée pour les véhicules (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure)

Bibliographie

Achten, Sandra; Leßmann, Christian und Steinkraus, Arne (2018): Die Umwelt-Kuznets-Kurve und internationaler Handel. In: ifo Dresden berichtet, 25, S. 29–31. ifo Institut.

Alt, Franz (2019): Wo die Klimaforscher irrten. Klimareporter, 07.10.2019. *www.klimareporter.de/klimapolitik/wo-die-klimaforscher-irrten*. Consulté le : 26.02.2021.

ARD (2021): Klimaschutz: China führt Emissionshandel ein. Tagesschau.de *www.tagesschau.de/wirtschaft/weltwirtschaft/emissionshandel-china-101.html*. Consulté le : 02.03.2021.

Auto Motor und Sport (2021): CO_2-Strafzahlungen für Flottenverbrauch: VW-Konzern zahlt trotz E-Auto-Offensive Millionen. Von: Harloff, Gerd und Stegmaier, Thomas. 25.01.2021. *www.auto-motor-und-sport.de/verkehr/co2-limits-95-gramm-flottenverbrauch-strafe-eu-vw-daimler/*. Consulté le : 05.03.2021.

Babs, Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2020): Bericht zur nationalen Risikoanalyse. Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020. *www.babs.admin.ch/content/babs-internet/fr/aufgabenbabs/gefaehrdrisiken/natgefaehrdanalyse/_jcr_content/contentPar/tabs/items/fachunterlagen/tabPar/downloadlist/downloadItems/36_1461911540063.download/KNSRisikobericht2020-de.pdf.* Consulté le : 12.01.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2017a): Schweizer Abwasserreinigung – Eine Erfolgsgeschichte. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wasser/wasser--dossiers/internationaler-tag-des-wassers-2017.html*. Consulté le : 16.10.2020.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2017b): Klimabedingte Risiken und Chancen. *www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/uw-umwelt-wissen/klimabedingte-risiken-und-chancen.pdf.download.pdf/UV-1706-D_SyntheseBericht_KlimarisikenChancen.pdf*. Consulté le : 23.02.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2018a): Internationale Klimapolitik: Kyoto-Protokoll. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klimawandel-stoppen-und-folgen-meistern/klima--internationales/internationale-klimapolitik--kyoto-protokoll.html.* Consulté le : 01.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2018b): Das Übereinkommen von Paris. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klimawandel-stoppen-und-folgen-meistern/klima--internationales/das-uebereinkommen-von-paris.html*. Consulté le : 01.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2018c): Naturgefahren: Technische Massnahmen. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-naturgefahren/naturgefahren--fachinformationen/schutzmassnahmen/naturgefahren--technische-massnahmen.html*. Consulté le : 05.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2019a): Text der Klimakonvention. *www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/text_der_klimakonvention.pdf.download.pdf/text_der_klimakonvention.pdf*. Consulté le : 16.04.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2019b): Faktenblatt: Verknüpfung der Emissionshandelssysteme Schweiz-EU. *www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/59502.pdf*. Consulté le : 19.01.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2019c): Gebäudesanierung – Wirtschaftlichkeit der CO_2-Abgabe: Schlussbericht. *www.energie-cluster.ch/admin/data/files/file/file/2472/faktenblatt_studie_gebaeudesanierung.pdf?lm=1557387693.* Consulté le : 01.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2019d): Faktenblatt: Klimafonds. *www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/faktenblatt_10_klimafonds.pdf.download.pdf/Faktenblatt%2010%20-%20Klimafonds.pdf*. Consulté le : 05.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2019b): Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. *https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/uz-umwelt-zustand/hitze_und_trockenheit_im_sommer_2018.pdf.download.pdf/UZ-1909-D_Hitzesommer2018.pdf*. Consulté le : 16.04.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2019e): Waldfläche in der Schweiz. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wald-und-holz/wald-und-holz--fachinformationen/waldzustand-und-waldfunktionen/waldflaeche-in-der-schweiz.html*. Consulté le : 11.02.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020a): Vom Menschen freigesetzte Triebhausgase. *www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/vom_menschen_verursachtetreibhausgase.pdf.download.pdf/Treibhausgase_2020_DE.pdf*. Consulté le : 16.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020b): Emissionshandelssystem für Betreiber von Anlagen. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/emissionshandelssystem-ehs.html#:~:text=Das%20Emissionshandelssystem%20(EHS)%20ist%20ein,(EU%2DEHS)%20auf*. Consulté le : 16.04.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020c): Klima: Das Wichtigste in Kürze. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--das-wichtigste-in-kuerze.html*. Consulté le : 05.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020d): Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO_2-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013–2020). *www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/CO2_Statistik.pdf.download.pdf/CO2_Publikation_de_2021-04.pdf*. Consulté le : 05.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020e): CO_2-Statistik: Emissionsübersicht. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--daten--indikatoren-und-karten/daten--treibhausgasemissionen-der-schweiz/co2-statistik--emissionen-aus-brenn--und-treibstoffen.html*. Consulté le : 13.01.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020f): Rückverteilung der CO_2-Abgabe: von der Einführung bis heute. *www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/Rueckverteilung-der-CO2-Abgabe-von-der-Einfuehrung-bis-heute.pdf.download.pdf/Historique_redistribution_d.pdf*. Consulté le : 05.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020g): Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/verminderungsmassnahmen/kompensation/treibstoffe.html*. Consulté le : 03.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020h): CO_2-Statistik: Emissionen aus Brenn- und Treibstoffen. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--daten--indikatoren-und-karten/daten--treibhausgasemissionen-der-schweiz/co2-statistik--emissionen-aus-brenn--und-treibstoffen.html*. Consulté le : 07.04.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020i): Schweiz und Peru unterzeichnen ein Abkommen für den Klimaschutz. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/mitteilungen.msg-id-80791.html*. Consulté le : 03.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020j): Kooperationsabkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Republik Ghana zur Umsetzung des Klimaübereinkommens von Paris. *www.fedlex.admin.ch/eli/oc/2020/1068/de*. Consulté le : 22.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020k): Treibhausgasinventar der Schweiz. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--daten--indikatoren-und-karten/daten--treibhausgasemissionen-der-schweiz/treibhausgasinventar.html*. Consulté le : 04.02.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020l): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Aktionsplan 2020–2025. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/anpassung-klimawandel-schweiz-aktionsplan-2020-2025.html*. Consulté le : 16.04.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2021a): Indikator Wasser: Phosphorgehalt in Seen. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wasser/wasser--daten--indikatoren-und-karten/wasser--indikatoren/indikator-wasser.html*. Consulté le : 01.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt (2021b): Gastländer für Projekte im Ausland. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klimawandel-stoppen-und-folgen-meistern/schweizer-klimapolitik/kompensation-von-co2-emissionen/auslaendische-klimaschutzprojekte-und-emissionsminderungszertifi/gastlaender-fuer-projekte-im-ausland.html*. Consulté le : 03.03.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt und BFE, Bundesamt für Energie (2018): Wirkung der Klima- und Energiepolitik im Gebäudebereich in den Kantonen. *www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/*

Wirkung-der-Klima-und-Energiepolitik-in-den-Kantonen2016-Sektor-Gebaude.pdf.download.pdf/2018-09-24_Schlussbericht.pdf. Consulté le : 11.02.2021.

Bafu, Bundesamt für Umwelt und EFK, Eidgenössische Finanzkontrolle (2017): Evaluation der Lenkungswirkung des Emissionshandelssystems. *www.efk.admin.ch/images/stories/efk_dokumente/publikationen/evaluationen/Evaluationen%20(51)/16393BE.pdf*. Consulté le : 06.11.2020.

Baldwin, Andrew H.; Jensen, Kai und Schönfeldt, Marisa (2014): Warming increases plant biomass and reduces diversity across continents, latitudes, and species migration scenarios in experimental wetland communities. In: Global Change Biology, 20(3), S. 835–850.

Barter, Dustin (2019): Committed or Complacent A Failing Response to the 2019 Horn of Africa Drought Crisis. Oxfam Policy Papers. Oxfam International. *https://reliefweb.int/report/somalia/committed-or-complacent-failing-response-2019-horn-africa-drought-crisis-july-2019*.

Baudirektion Kanton Zürich, Strahlung (2018): Klimawandel im Kanton Zürich – Massnahmenplan Anpassung an den Klimawandel. Baudirektion Kanton Zürich. *www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/klima/massnahmenplaene/massnahmenplan_anpassung.pdf*. Consulté le : 25.02.2021.

Bütler, Daniel (2021): Der Abwart als Klimafaktor. In: Der Beobachter, 1/2021, S. 40–41.

BFE, Bundesamt für Energie (2020a): Kantone und Gemeinden. *www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/kantone-und-gemeinden.html*. Consulté le : 01.02.2021.

BFE, Bundesamt für Energie (2020b): CO_2-Emissionsvorschriften. *www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/effizienz/mobilitaet/co2-emissionsvorschriften-fuer-neue-personen-und-lieferwagen/personenwagen-pw/faq.html*. Consulté le : 21.01.2021.

BFE, Bundesamt für Energie (2020c): Auswirkungen der CO_2-Emissionsvorschriften für neue Personenwagen 2012–2018.

BFS, Bundesamt für Statistik (2020a): Luftemissionskonten der Haushalte und der Wirtschaft, nach Wirtschaftssektoren. *www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/14427307/master*. Consulté le : 26.02.2021.

BFS, Bundesamt für Statistik (2020b): Branchenstruktur. *www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/wohlfahrtsmessung/gueter/oekonomische-gueter/branchenstruktur.html*. Consulté le : 05.03.2021.

BFS, Bundesamt für Statistik (2020c): Luftemissionskonten der Haushalte und der Wirtschaft. *www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-0204000000_104/-/px-x-0204000000_104.px/*. Consulté le : 26.02.2021.

Biden Harris (2020): Plan for Climate Change and Environmental Justice. Joe Biden for President: Official Campaign Website. *https://joebiden.com/climate-plan/*. Consulté le : 02.03.2021.

Bieler, Cuno; Sutter, Daniel; Lieb, Christoph; Sommer, Heini und Amacher, Matthias (2018): Externe Effekte des Verkehrs 2015. Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs 2010 bis 2015. *www.infras.ch/media/filer_public/a6/24/a624c88d-581c-4554-a102-dcefef85b1bd/externe_effekte_verkehr_aktualisierung_2015_schlussbericht.pdf*.

Bloomberg (2021): The EU Carbon Market Perks Up After Years in the Doldrums. Von: Krukowska, Ewa. 22.01.2021.

BLW, Bundesamt für Landwirtschaft (2020): Agrarbericht 2020 – Absatzförderung. *www.agrarbericht.ch/de/politik/produktion-und-absatz/absatzfoerderung*. Consulté le : 01.03.2021.

BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare SicherheitBundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2017): Die Klimakonferenz in Paris. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. *www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/pariser-abkommen/*. Consulté le : 01.03.2021.

BP (2020): bp Statistical Review of World Energy 2020. *www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf*. Consulté le : 26.02.2021.

BR Wissen (2019): Klimakiller Kuh: Der Öko-Pups schneidet etwas besser ab. 25.03.2019.

Burck, Jan; Hagen, Ursula; Höhne, Niklas; Nascimento, Leonardo und Bais, Christoph (2020): Climate Change Performance Index 2021. CCPI. *https://ccpi.org/download/the-climate-change-performance-index-2021/*. Consulté le : 06.04.2021.

Brüesch, Peter (2016): Die Atmosphären der Erde, der Planeten unseres Sonnensystems und der Exoplaneten. ETH Zürich. *www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/155400/eth-48522-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y.* Consulté le : 14.01.2021

Bund, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (2018): Flyer «Klimakiller Flugverkehr». BUND – BUND für Naturschutz und Umwelt in Deutschland. *www.bund-berlin.de/fileadmin/berlin/bilder/mobilitaet/luftverkehr/Flyer_Klimakiller_Flugverkehr.pdf.* Consulté le : 26.02.2021.

Bundesrat (2016): Wirksamkeit der Finanzhilfen zur Verminderung der CO_2-Emissionen bei Gebäuden gemäss Artikel 34 CO_2-Gesetz: Bericht des Bundesrates an die Bundesversammlung. *www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/wirksamkeit_der_finanzhilfenzurverminderungderco2-emissionenbeig.pdf.*

Bundesrat (2020a): Von welcher Bedeutung könnten negative CO_2-Emissionen für die künftigen klimapolitischen Massnahmen der Schweiz sein? *www.parlament.ch/centers/eparl/curia/2018/20184211/Bericht%20BR%20D.pdf.* Consulté le : 08.03.2021.

Bundesrat (2020b): Strategie Nachhaltige Entwicklung 2030. *www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/63586.pdf.* Consulté le : 01.03.2021.

Bundesrat (2021): Klimaschutz: Bundesrat verabschiedet die langfristige Klimastrategie der Schweiz. *www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/medienmitteilungen/anzeige-nsb-unter-medienmitteilungen.msg-id-82140.html*. Consulté le : 01.03.2021.

Bundesversammlung (2020): Die Beschlüsse der Räte im revidierten CO_2-Gesetz. *www.parlament.ch/de/services/news/Seiten/2020/20200923133315322319415815904 1_bsd136.aspx*. Consulté le : 29.03.2021.

Burkhard, Reto und Medilanski, Edi (2020): Klimakompensation im Ausland: Die Pionierrolle der Schweiz. In: Die Volkswirtschaft, 2020/7, S. 8–9. *https://dievolkswirtschaft.ch/de/2020/07/burkard-medilanski-8-9-2020/*. Consulté le : 27.11.2020.

Calanca, Pierluigi; Fuhrer, Jürg; Jasper, Karsten; Torriani, Daniele; Keller, Franziska und Dueri, Sibylle (2005): Klimawandel und landwirtschaftliche Produktion. In: Agrarforschung Schweiz, 12(9), S. 392–397.

Carbon Brief (2019): Corsia: The UN's plan to 'offset' growth in aviation emissions. Von: Timperley, JocelynCarbon Brief 04.02.2019.

Carbon Market Watch (2015): Annual Report 2015. *https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2016/10/Nature-Code-Annual-Report-2015.pdf.* Consulté le : 02.03.2021.

Cat, Climate Action Tracker (2020): Temperatures. *https://climateactiontracker.org/global/temperatures/*. Consulté le : 25.02.2021.

CDP, Carbon Disclosure Project (2020): CDP and UCL report climate change costs to reach US$31 trillion a year if emissions not urgently reduced – CDP. *www.cdp.net/en/articles/climate/cdp-and-ucl-report-climate-change-costs*. Consulté le : 26.02.2021.

Clark, Gregory (2003): The Great Escape: The Industrial Revolution in Theory and in History. University of California. *http://faculty.econ.ucdavis.edu/faculty/gclark/papers/IR2003.pdf.* Consulté le : 14.04.2021.

Clark, Gregory (2009): A Farewell to Alms: A Brief Economic History of the World. Princeton: Princeton University Press.

Coase, R. H. (1960): The Problem of Social Cost. In: Journal of Law and Economics, 56(4), S. 837–877.

Cook, John; Nuccitelli, Dana; Green, Sarah A.; Richardson, Mark; Winkler, Bärbel; Painting, Rob et al. (2013): Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. In: Environmental Research Letters, 8(2), 024024.

Copenhagen Census (2015a): Post-2015 Census: Smart development goals. *www.copenhagenconsensus.com/sites/default/files/expert_outcome_one_pages_combined.pdf.* Consulté le : 07.04.2021.

Copenhagen Census (2015b): The Economist. Special Online Supplement. *www.copenhagenconsensus.com/post-2015-consensus/economist*. Consulté le : 07.04.2021.

Copenhagen Census (2015c): Energy. *www.copenhagenconsensus.com/post-2015-consensus/energy*. Consulté le : 07.04.2021.

Correire della Sera (2020): Climatizzatori e condizionatori propagano il coronavirus? – Corriere.it. Von: Turin, Silvia. 13.04.2020.

Coumou, Dim.; Di Capua, Giorgia.; Vavrus, Steve.; Wang, Lei und Wang, Simon (2018): The influence of Arctic amplification on mid-latitude summer circulation. In: Nature Communications, 9(1), 2959.

Das Gebäudeprogramm (2019): Gebäudeprogramm Jahresbericht 2019. *www.dasgebaeudeprogramm.ch/media/filer_public/7d/4f/7d4f1b99-f88c-4eb1-80c4-a2d10700e4ec/bfe_gebaudeprogrammjahresbericht_de_200903.pdf*. Consulté le : 21.01.2021.

DEHSt, Deutsche Emissionshandelsstelle (2015): Emissionshandel in Zahlen. *www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Broschuere_EH-in-Zahlen.pdf?__blob=publicationFile&v=1*.

DEHSt, Deutsche Emissionshandelsstelle (2021): Europäische Klimaschutzziele. *www.dehst.de/DE/Europaeischer-Emissionshandel/EU-Emissionshandel-verstehen/Weiterentwicklung/Europaeische-Klimaschutzziele/europaeische-klimaschutzziele_node.html*. Consulté le : 07.04.2021.

Deutschle, Tom (2021): Flächenverluste – wie viel geht verloren? Faszination Regenwald. *www.faszination-regenwald.de/info-center/zerstoerung/flaechenverluste/*. Consulté le : 06.04.2021.

Die Welt (2011): Das Kyoto-Protokoll bröckelt. 14.12.2011.

Dirección de Cambio Climático (2019): San Jose Principles for High Ambition and Integrity in International Carbon Markets. Dirección de Cambio Climático. *https://cambioclimatico.go.cr/press-release-leading-countries-set-benchmark-for-carbon-markets-with-san-jose-principles*. Consulté le : 03.03.2021.

Dullien, Sebastian; Gechert, Sebastian; Herzog-Stein, Alexander; Rietzler, Katja; Stein, Ulrike; Tober, Silke et al. (2020): Wirtschaftspolitische Herausforderungen 2020: Im Zeichen des Klimawandels. IMK Report, Nr. 155. Hans-Böckler-Stiftung, Institut für Makroökonomie und Konjunkturforschung (IMK)

Dümmler, Patrick (2021): Ein Pyrrhus-Sieg für den Bauernstand. Avenir Suisse, 26.03.2021. *www.avenir-suisse.ch/ein-pyrrhus-sieg-fuer-den-bauernstand/*. Consulté le : 07.04.2021.

Dümmler, Patrick und Anthamatten, Jennifer (2019): Was wäre, wenn die WTO auseinanderbricht? In: Grünenfelder und Müller (Hrsg.): Was wäre, wenn... 13 mögliche Entwicklungen und ihre Konsequenzen für die Schweiz. Avenir Suisse.

Dümmler, Patrick und Bonato, Mario (2020): Kantonale Agrarpolitik auf dem Prüfstand. Avenir Suisse. *www.avenir-suisse.ch/publication/kantonale-agrarpolitik-auf-dem-pruefstand/*. Consulté le : 05.03.2021.

Dümmler, Patrick; Grünenfelder, Peter und Lago, Pascal (2020): Sackgasse Re-Nationalisierung. Avenir Suisse. *www.avenir-suisse.ch/publication/sackgasse-re-nationalisierung/*. Consulté le : 03.03.2021.

Dümmler, Patrick und Roten, Noémie (2018): Eine Agrarpolitik mit Zukunft. Avenir Suisse. www.avenir-suisse.ch/publication/fuer-eine-agrarpolitik-mit-zukunft. Consulté le : 05.03.2021.

Dümmler, Patrick und Rutz, Samuel (2019): Was wäre, wenn die Schweizer Klimapolitik nur im Inland umgesetzt wird? In: Grünenfelder und Müller (Hrsg.): Was wäre, wenn... 13 mögliche Entwicklungen und ihre Konsequenzen für die Schweiz. Avenir Suisse.

DW, Deutsche Welle (2019): COP25: Umstrittener Emissionshandel im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit. Von: Osborne, Louise. 02.12.2019.

Ecoplan (2017): Wirkungsabschätzung zur CO_2-Abgabe: Aktualisierung bis 2015. *www.ecoplan.ch/download/co2wi2_sb_de.pdf*. Consulté le : 14.01.2021.

EDA, Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten (2021): Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. *www.eda.admin.ch/agenda2030/de/home.html#1*. Consulté le : 01.03.2021.

EDA, Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten und UVEK, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (2018): Die Umsetzung der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung durch die Schweiz. Länderbericht 2018. *www.eda.admin.ch/dam/agenda2030/de/documents/laenderbericht-der-schweiz-2018_DE.pdf*. Consulté le : 01.03.2021.

EEA, Europäische Umweltagentur (2014): Projected changes in annual, summer and winter temperature. *www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-annual-summer-1*. Consulté le : 26.02.2021.

EEA, Europäische Umweltagentur (2020): The EU Emissions Trading System in 2020: trends and projections. *www.eea.europa.eu/themes/climate/the-eu-emissions-trading-system/the-eu-emissions-trading-system*. Consulté le : 02.03.2021.

Eichner, Thomas und Pethig, Rüdiger (2015): Is trade liberalization conducive to the formation of climate coalitions? In: International Tax and Public Finance, 22(6), S. 932–955.

Elliot, Lorraine (2020): Environmentalism: History of the Environmental Movement. Encyclopedia Britannica. *www.britannica.com/topic/environmentalism*. Consulté le : 30.09.2020.

Emissionshandelsregister (2021): Abgegebene Einheiten. *www.emissionsregistry.admin.ch/crweb/public/reporting/tx-surrendering/list.action*. Consulté le : 07.04.2021.

Energie Experten (2021): Emissionshandel: Kritik und Reparatur eines kaputten Systems. Von: Drzimalla, Paul 07.01.2021.

EPA, United States Environmental Protection Agency (2017): Acid Rain Program. Overviews and Factsheets. *www.epa.gov/acidrain/acid-rain-program*. Consulté le : 02.03.2021.

ESKP (2020): Fragen und Antworten zum Permafrost. *www.eskp.de/grundlagen/klimawandel/fragen-und-antworten-zum-permafrost-935726/*. Consulté le : 06.04.2021.

ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (2021): Drought Heat – Land-Climate Interactions: Constraints for Droughts and Heatwaves in a Changing Climate. *http://drought-heat.ethz.ch/atlas/* Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2014): 2014/746/EU: Beschluss der Kommission vom 27. Oktober 2014 zur Festlegung eines Verzeichnisses der Sektoren und Teilsektoren, von denen angenommen wird, dass sie im Zeitraum 2015–2019 einem erheblichen Risiko einer Verlagerung von CO_2-Emissionen ausgesetzt sind, gemäß der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32014D0746*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2019): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Der europäische Grüne Deal. *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX%3A52019DC0640*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2020a): Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999 (Europäisches Klimagesetz). *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1588581905912&uri=CELEX%3A52020PC0080*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2020b): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Eine EU-weite Bewertung der nationalen Energie- und Klimapläne. *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1588581905912&uri=CELEX%3A52020PC0080*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2020c): Finanzierung des ökologischen Wandels: Der Investitionsplan für ein zukunftsfähiges Europa und der Mechanismus für einen gerechten Übergang. *https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_20_17*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2020d): Emissionshandelssystem (EU–EHS). *https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_de*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2020e): Verwendung internationaler Gutschriften. *https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/credits_en*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2020f): Überarbeitung für Phase 4 (2021–2030). *https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/revision_en*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2020g): Bericht der Europäischen Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. Bericht über das Funktionieren des CO_2-Marktes der EU. *https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2020/DE/COM-2020-740-F1-DE-MAIN-PART-1.PDF*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2020h): Europäischer Grüner Deal (CO_2-Grenzausgleichssystem). Ihre Meinung zählt. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12228-Carbon-Border-Adjustment-Mechanism. Consulté le : 04.03.2021.

Europäische Kommission (2021a): Lastenteilung: Emissionsziele der Mitgliedstaaten. Klimapolitik – European Commission. https://ec.europa.eu/clima/policies/effort_de. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2021b): Verordnung über Landnutzung und Forstwirtschaft für 2021–2030. *https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_de*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2021c): Der Mechanismus für einen gerechten Übergang: Niemand darf zurückgelassen werden. *https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/just-transition-mechanism_de*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2021d): Zusammenarbeit mit Nicht-EU-Ländern und -Regionen. *https://ec.europa.eu/clima/policies/international/cooperation_de*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2021e): Internationaler CO_2-Markt. *https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/markets_de*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2021f): Emissionsobergrenzen und -zertifikate. *https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/cap_de*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2021g): Carbon leakage. *https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/allowances/leakage_de*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäische Kommission (2021h): Kostenlose Zuteilung. *https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/allowances_de*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäischer Rat und Rat der EU (2020): Nationale Energie- und Klimapläne. *www.consilium.europa.eu/de/infographics/national-energy-and-climate-plans*. Consulté le : 02.03.2021.

Europäisches Parlament und Rat (2018): Verordnung (EU) 2018/ des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013. *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.156.01.0026.01.DEU*. Consulté le : 12.04.2021.

Falkner, Robert (2016): A Minilateral Solution for Global Climate Change? On Bargaining Efficiency, Club Benefits, and International Legitimacy. In: Perspectives on Politics, 14(1), S. 87–101.

FAZ, Frankfurter Allgemeine Zeitung (2008): Institut hält 300 Dollar für möglich: Mehr Ölförderung – doch der Preis steigt weiter. 23.06.2008.

FAZ, Frankfurter Allgemeine Zeitung (2020): Das sind die Treiber des Klimawandels. Von: Zaboji, Niklas. 30.11.2020.

FAZ, Frankfurter Allgemeine Zeitung (2021): Warnungen vor der Apokalypse: Die Klimakrise außer Kontrolle. Von: Frey, Andreas. 04.01.2021.

Fink, Alexander; Kurz, Fabian und Mengden, Alexander (2019): Dysfunktionalität des grünen Sozialismus: Das Umweltdesaster in der DDR. LI-Briefing. Liberales Institut. *www.libinst.ch/publikationen/LI-Briefing-Fink-Kurz-Mengden-Umweltschutz-DDR.pdf*.

Florin, Marie-Valentine; Rouse, Paul; Hubert, Anna-Maria; Honegger, Matthias und Reynolds, Jesse (2020): International governance issues on climate engineering. Information for policymakers. EPFL International Risk Governance Center (IRGC). *www.epfl.ch/research/domains/irgc/climate-engineering/*. Consulté le : 01.04.2021.

Forbes (2019): This Is Why Global Warming Is Responsible For Freezing Temperatures Across The U.S. Von: Siegel, Ethan. 30.01.2019.

Fridays for Future (2021): Forderungen. *https://fridaysforfuture.de/forderungen/faq/*. Consulté le : 01.03.2021.

FT, Financial Times (2020): Oil shock threatens to take wind out of sails for renewables shift. Von: Hook, Leslie 02.04.2020.

Gapminder (2018): Data: Income Mountains – Version 2. *https://docs.google.com/spreadsheets/d/1939CzZ5HHoLreb0YyopaWfNjJ9mnN27IhywI6-TuwZs/edit?usp=embed_facebook*. Consulté le : 26.02.2021.

Gapminder (2020a): GM-GDP per capita – Dataset – Version 26. *https://docs.google.com/spreadsheets/d/10vHiHnBQre07TwX75vTc_H1lf-w5-hbe5mZH4ro6QNE/edit?usp=embed_facebook.%20* Consulté le : 26.02.2021.

Gapminder (2020b): GM-Child Mortality – Dataset – Version 11. Google Docs. *https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Av7eps_zEK73-AdbFYEmtTrwFKlfruBYXdrnXAOFVpM/edit?usp=embed_facebook*. Consulté le : 26.02.2021.

Germanwatch (2021): Climate Change Performance Index 2021. *https://ccpi.org/download/the-climate-change-performance-index-2021/*. Consulté le : 16.01.2021.

GFS Zürich (2020): Klimaveränderung sensibilisiert für Umweltschutz. *https://gfs-zh.ch/klimaveraenderung-sensibilisiert-fuer-umweltschutz/*. Consulté le : 13.01.2021.

Gholz, Eugene (2014): Rare Earth Elements and National Security. Energy Report. Energy Report. Council on Foreign Relations. *www.cfr.org/sites/default/files/pdf/2014/10/Energy%20Report_Gholz.pdf*. Consulté le : 07.10.2020.

Gibson, Gena; Kollamthodi, Sujith; Kirsch, Felix; Windisch, Elisabeth; Brannigan, Charlotte; White, Ben et al. (2015): Evaluation of Regulation 443/2009 and 510/2011 on the reduction of CO_2 emissions from light-duty vehicles: final report. Luxemburg: Publications Office of the EU. *https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/7d6365fe-286c-4a6a-840c-877d79143022*. Consulté le : 23.02.2021.

Giorgi, Filippo; Torma, Csaba; Coppola, Erika; Ban, Nikolina; Schär, Christoph und Somot, Samuel (2016): Enhanced summer convective rainfall at Alpine high elevations in response to climate warming | Nature Geoscience. In: Nature Geoscience, (9), S. 584–589.

Goulder, Lawrence H. und Hafstead, Marc A. C. (2013): Tax Reform and Environmental Policy: Options for Recycling Revenue from a Tax on Carbon Dioxide. SSRN Scholarly Paper, Nr. ID 2338210. Social Science Research Network (SSRN).

Green Party US (2021): Green New Deal. *www.gp.org/gnd*. Consulté le : 02.03.2021.

Hansen, J.; Johnson, D.; Lacis, A.; Lebedeff, S.; Lee, P.; Rind, D. et al. (1981): Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. In: Science, 213(4511), S. 957–966.

Hardin, Garrett (1968): The Tragedy of the Commons. In: Science, 162(3859), S. 1243–1248.

Hebbink, Gerbert; Berkvens, Laurien; Bun, Maurice; Kerkhoff, Henk van; Koistinen, Juho; Schotten, Guido et al. (2018): The price of transition: an analysis of the economic implications of carbon taxing. No. 1608. DNB Occasional Studies. Netherlands Central Bank, Research Department. *https://ideas.repec.org/p/dnb/dnbocs/1608.html*. Consulté le : 02.03.2021.

Hepburn, Cameron (2017): Make carbon pricing a priority. In: Nature Climate Change, 7(6), S. 389–390.

HEV, Hauseigentümerverband Zürich (2018): Das Dschungelbuch des Baurechts: Baubewilligung oder nicht? In: Der Zürcher Hauseigentümer, Nr. 80/2018. *www.hev-zuerich.ch/zuerich/assets/uploads/2018/08/2018-08-DZHE.pdf*. Consulté le : 23.02.2021.

High-Level Commission on Carbon Prices (2017): Report of the High-Level Commission on Carbon Prices. World Bank. *www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-highlevel-commission-on-carbon-prices*. Consulté le : 01.03.2021.

Hoekstra, Auke (2020): Die Herstellung von Benzin und Diesel verursacht mehr CO_2-Emissionen als wir dachten. Innovation Origins. *https://innovationorigins.com/de/die-herstellung-von-benzin-und-diesel-verursacht-mehr-co2-emissionen-als-wir-dachten/*. Consulté le : 01.03.2021.

Holenstein, André (2014): Mitten in Europa. Zürich: Hier und Jetzt.

Holleman, Arnold Fr. und Wiberg, Nils (2017): Anorganische Chemie 1 – Grundlagen und Hauptgruppenelemente. 103. Auflage, Band 1. Berlin: Walter de Gruyter.

HZ, Handelszeitung (2015): Erdöl: Im Zeichen des Niedergangs. Von: Rheker, Dirk. 01.11.2015.

ICAO, International Civil Aviation Organization (2021): 2. What is CORSIA and how does it work? *www.icao.int/environmental-protection/Pages/A39_CORSIA_FAQ2.aspx*. Consulté le : 02.03.2021.

IEA, International Energy Agency (2020a): World Energy Outlook 2020 – Analysis. IEA, International Energy Agency. *www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020*. Consulté le : 06.04.2021.

IEA, International Energy Agency (2020b): Energy Efficiency 2020. IEA, International Energy Agency. *www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020/covid-19-and-energy-efficiency*. Consulté le : 06.04.2021.

IEA, International Energy Agency (2021a): Energy subsidies. IEA. *www.iea.org/topics/energy-subsidies*. Consulté le : 01.03.2021.

IEA, International Energy Agency (2021b): IEA fossil fuel subsidies database. *https://iea.blob.core.windows.net/assets/6ad1127d-821a-4c98-b58d-d53108fe70c8/IEA-Fossil-Fuel-Subsidies-2010-2019.xlsx*. Consulté le : 01.03.2021.

Ieeta, International Emissions Trading Association (2019): The Economic Potential of Article 6 of the Paris Agreement and Implementation Challenges. *www.ieta.org/resources/International_WG/Article6/CLPC_A6%20report_no%20crops.pdf*. Consulté le : 02.03.2021.

IMF, International Monetary Fund (2020): World Economic Outlook Database, October 2020. IMF. *www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2020/October/download-entire-database*. Consulté le : 08.03.2021.

Infras (2020): Strategien zur Vermeidung von «overselling» bei internationalen Übertragung von Emissionseinheiten. *www.infras.ch/de/projekte/paris-agreement-artikel-6-strategien-zur-vermeidung-von-overselling-bei-internationalen-ubertragung-von-emissionseinheiten/*. Consulté le : 02.03.2021.

Infras; TEP, Technology Economics Policy und Prognos (2019): Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2018 nach Verwendungszwecken. *https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9853*. Consulté le : 12.04.2021.

Investopedia (2020): The Green New Deal Explained. Von: Dsouza, Deborah. 08.10.2020. *www.investopedia.com/the-green-new-deal-explained-4588463*. Consulté le : 13.04.2021.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2013): Climate Change 2013, The Physical Science Basis. *www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf*. Consulté le : 08.03.2021.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. *www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf*. Consulté le : 08.03.2021.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2018): 1,5°C Globale Erwärmung. IPCC-Sonderbericht. *www.ipcc.ch/sr15/*. Consulté le : 23.12.2020.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2019a): Klimawandel und Landsysteme. IPCC-Sonderbericht. *www.ipcc.ch/srccl/*. Consulté le : 22.01.2021.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2019b): Ozeane und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima. IPCC-Sonderbericht. *www.ipcc.ch/srocc/*. Consulté le : 25.02.2021.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2021): Reports. *www.ipcc.ch/reports/*. Consulté le : 25.02.2021.

Jaag, Christian und Schnyder, Nina (2019): Bedeutung des Klimawandels für die Infrastrukturen in der Schweiz. Swiss Economics. *www.swiss-economics.ch/files/content/dokumente/publikationen/2019_JaagSchnyder_KlimawandelUndInfrastrukturen_UVEK_DE.pdf*. Consulté le : 11.04.2021.

Jorgenson, Dale W.; Goettle, Richard J.; Ho, Mun S. und Wilcoxen, Peter J. (2018): The welfare consequences of taxing carbon. In: Climate Change Economics, 09(01), S. 1–7.

Jorgenson, Dale W. und Wilcoxen, Peter (1993): Reducing US carbon emissions: an econometric general equilibrium assessment. In: Resource and Energy Economics, 15(1), S. 7–25.

Kasang, Dieter (2020): Der natürliche Treibhauseffekt. *www.klimanavigator.eu/dossier/artikel/011967/index.php*. Consulté le : 25.02.2021.

Keohane, N.; Petsonk, A. und Hanafi, A. (2017): Toward a club of carbon markets. In: Climatic Change, 144(1), S. 81–95.

Kessler, Olivier (2019): Steht die Freiheit im Widerspruch zum Umweltschutz? LI-Paper. Liberales Institut. *www.libinst.ch/publikationen/LI-Paper-Kessler-Umweltschutz.pdf*.

Kiehl, J T und Trenberth, Kevin E (1997): Earth's Annual Global Mean Energy Budget. In: Bulletin of the American Meteorological Society, 78(2), S. 12.

Kizzier, Kelley; Levin, Kelly und Rambharos, Mandy (2019): What You Need to Know About Article 6 of the Paris Agreement. World Resources Institute Blog. *www.wri.org/blog/2019/12/article-6-paris-agreement-what-you-need-to-know*. Consulté le : 02.03.2021.

Klimafakten (2014): Behauptung: «Der CO_2-Anstieg ist nicht Ursache, sondern Folge des Klimawandels». klimafakten.de. *www.klimafakten.de/behauptungen/behauptung-der-co2-anstieg-ist-nicht-ursache-sondern-folge-des-klimawandels*. Consulté le : 26.02.2021.

Lee, Jong-Wha und Lee, Hanol (2016): Human capital in the long run. In: Journal of Development Economics, 122, S. 147–169.

Lenton, Timothy M.; Rockström, Johan; Gaffney, Owen; Rahmstorf, Stefan; Richardson, Katherine; Steffen, Will et al. (2019): Climate tipping points — too risky to bet against. In: Nature, 575(7784), S. 592–595.

Lessmann, Kai; Marschinski, Robert und Edenhofer, Ottmar (2009): The effects of tariffs on coalition formation in a dynamic global warming game. In: Economic Modelling, 26(3), S. 641–649.

Levin, Kelly (2018): Half a Degree and a World Apart: The Difference in Climate Impacts Between 1.5°C and 2°C of Warming. World Resources Institute. *www.wri.org/blog/2018/10/half-degree-and-world-apart-difference-climate-impacts-between-15-c-and-2-c-warming*. Consulté le : 30.01.2021.

LFI, Landesforstinventar und WSL, Eidgenössische Forschungsstelle für Wald, Schnee und Landschaft (2011): Das Landesforstinventar. *www.lfi.ch/publikationen/publ/posterserie_LFI3_A4.pdf*. Consulté le : 05.03.2021.

Lin, Delu; Xia, Jianyang und Wan, Shiqiang (2010): Climate warming and biomass accumulation of terrestrial plants: a meta-analysis. In: New Phytologist, 188(1), S. 187–198.

Lobbywatch (2021): Umwelt. *https://lobbywatch.ch/de/daten/branche/4/Umwelt*. Consulté le : 03.03.2021.

Manabe, Syukuro und Wetherald, Richard T. (1967): Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity. In: Journal of the Atmospheric Sciences, 24(3), S. 241–259.

Mann, Michael E.; Rahmstorf, Stefan; Kornhuber, Kai; Steinman, Byron A.; Miller, Sonya K. und Coumou, Dim (2017): Influence of Anthropogenic Climate Change on Planetary Wave Resonance and Extreme Weather Events. In: Scientific Reports, 7(1), 45242.

Maringer, Janet; Ascoli, Davide; Gehring, Eric; Wohlgemuth, Thomas; Schwarz, Massimiliano und Conedera, Marco (2020): Feuerökologie montaner Buchenwälder. *www.wsl.ch/de/publikationen/feueroekologie-montaner-buchenwaelder-waldleistungen-und-waldbauliche-massnahmen-nach-waldbrand.html*. Consulté le : 15.04.2021.

McKinsey Global Institute (2020): Climate risk and response: Physical hazards and socioeconomic impacts. *www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/climate-risk-and-response-physical-hazards-and-socioeconomic-impacts*. Consulté le : 25.02.2021.

Meteo Schweiz (2020a): Temperatur- und Niederschlagsentwicklung. *www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz/temperatur-und-niederschlagsentwicklung.html*. Consulté le : 26.02.2021.

Meteo Schweiz (2020b): Homogene Messreihen ab 1864 – MeteoSchweiz. *www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/homogene-messreihen-ab-1864.html?region=Tabelle*. Consulté le : 26.02.2021.

Meteo Schweiz (2021): Monats- und Jahresrückblick. *www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klima-der-schweiz/monats-und-jahresrueckblick.htm*l. Consulté le : 26.02.2021.

Michaelowa, Axel; Shishlov, Igor und Brescia, Dario (2019): Evolution of international carbon markets: lessons for the Paris Agreement. In: WIREs Climate Change, 10(6), S. 1–24.

Mokyr, Joel (2019): Vom Baum der Erkenntnisse. In: Schweizer Monat, 1068. *https://schweizermonat.ch/vom-baum-der-erkenntnisse/*. Consulté le : 17.02.2021.

Moris, Jose Vazquez; Conedera, Marco; Nisi, Luca und Pezzatti, Gianni Boris (2020): Blitzschlagbrände und Sommertrockenheit: Gibt es einen Zusammenhang? In: Schweizerische Zeitschrift fur Forstwesen, 171(5), S. 281–287.

Müller-Jentsch, Daniel (2017): Strukturwandel im Schweizer Berggebiet. Avenir Suisse. *www.avenir-suisse.ch/publication/strukturwandel-im-berggebiet/*. Consulté le : 05.03.2021.

myclimate, Stiftung (2021): Kompensieren. *https://co2.myclimate.org/de/offset_further_emissions*. Consulté le : 03.03.2021.

Nasa, National Aeronautics and Space Administration (2021a): GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP v4). *https://data.giss.nasa.gov/gistemp/*. Consulté le : 08.03.2021.

Nasa, National Aeronautics and Space Administration (2021b): Data GISS: GISS Surface Temperature Analysis (v4): Analysis Graphs and Plots. *https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/%23*. Consulté le : 07.01.2021.

NCCS, National Centre for Climate Services (2018): CH2018-Broschüre. *www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien/broschuere-bestellen.html*. Consulté le : 17.01.2021.

Neu, Urs (2021): So wirkt sich der Flugverkehr auf das Klima aus. *https://scnat.ch/de/id/reEvq*. Consulté le : 08.03.2021.

NFP Energie (2021): Stauseen, wo früher Gletscher waren? | Nationales Forschungsprogramm Energie. *https://nfp-energie.ch/de/projects/962/*. Consulté le : 22.02.2021.

NOAA (2020): How will climate change change El Niño and La Niña? *https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2685/New-research-volume-explores-future-of-ENSO-under-influence-of-climate-change*. Consulté le : 30.03.2021.

Nobre, Carlos A.; Sampaio, Gilvan; Borma, Laura S.; Castilla-Rubio, Juan Carlos; Silva, José S. und Cardoso, Manoel (2016): Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, 113(39), S. 10759–10768.

Nordhaus, William (2015a): Climate Clubs: Overcoming Free-riding in International Climate Policy. In: American Economic Review, 105(4), S. 1339–1370.

Nordhaus, William (2019): Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics. In: American Economic Review, 109(6), S. 1991–2014.

NPR (2019): Transcript: Greta Thunberg's Speech At The U.N. Climate Action Summit. *www.npr.org/2019/09/23/763452863/transcript-greta-thunbergs-speech-at-the-u-n-climate-action-summit*. Consulté le : 25.02.2021.

Nufer, Roger (2017): Gebäudeprogramm mit Anpassungen im neuen Jahr. Energiaplus: Magazin des Bundesamts für Energie BFE. *https://energeiaplus.com/2017/01/05/gebaeudeprogramm-mit-anpassungen-im-neuen-jahr/*. Consulté le : 20.01.2021.

Nuklearforum Schweiz (2021): Nuclearplanet. *www.nuklearforum.ch/de/nuclearplanetfr*. Consulté le : 03.03.2021.

NZZ, Neue Zürcher Zeitung (2001): Blei im Benzin und Blei im Blut. Von: Sauer, Hans Dieter 28.11.2001.

NZZ, Neue Zürcher Zeitung (2014a): Vom Tod gezeichnet. Von: Sieber, Frank 27.10.2014.

NZZ, Neue Zürcher Zeitung (2014b): Australien schafft CO_2-Steuer ab. 17.07.2014.

NZZ, Neue Zürcher Zeitung (2014c): Hitze: Wie Altersheime und Spitäler in Zürich reagieren. Von: Schenkel, Lena. 24.07.2014.

NZZ, Neue Zürcher Zeitung (2019a): «Klimanotstand» – kann Nachhaltigkeit unethisch werden? Von: Seele, Peter. 20.11.2019.

NZZ, Neue Zürcher Zeitung (2019b): Die Zürcher Stadtverwaltung wächst nächstes Jahr um satte 520 Vollzeitstellen an. Selbst die GLP spricht von «Masslosigkeit». Von: Fritzsche, Daniel. 06.12.2019.

NZZ, Neue Zürcher Zeitung (2020a): 1000 Milliarden Euro für ein ökologisches Hallelujah. Von: Schmutz, Christoph G.2020.

NZZ, Neue Zürcher Zeitung (2020b): Der CO_2-Emissionshandel als «rechtsfreier» Raum. Von: Gnehm, Oliver 24.08.2020.

NZZ, Neue Zürcher Zeitung (2020): CO_2-Gesetz: ein Sonderkässli für das Klima. Von: Schäfer, Fabian 10.06.2020.

NZZ, Neue Zürcher Zeitung (2021): Mit Steckerhybridautos rechnen die Hersteller ihre Umweltbilanz schön – und verkaufen ihre Kunden für dumm. Von: Schmidt, Herbie 08.03.2021.

OECD, Organisation for Economic Cooperation and Development (2014): How Was Life? Global Well-Being since 1820. *https://read.oecd-ilibrary.org/economics/how-was-life_9789264214262-en*. Consulté le : 29.09.2020.

OECD, Organisation for Economic Cooperation and Development (2015): Material Resources, Productivity and the Environment. In: OECD Green Growth Studies. Paris: OECD Publishing.

OECD, Organisation for Economic Cooperation and Development (2018a): Effective Carbon Rates 2018. Paris: OECD Publishing. *https://read.oecd-ilibrary.org/taxation/effective-carbon-rates-2018_9789264305304-en*. Consulté le : 02.03.2021.

OECD, Organisation for Economic Cooperation and Development (2018b): Few countries are pricing carbon high enough to meet climate targets. *www.oecd.org/ctp/tax-policy/few-countries-are-pricing-carbon-high-enough-to-meet-climate-targets.html*. Consulté le : 02.03.2021.

OECD, Organisation for Economic Cooperation and Development (2019): Agricultural support. *https://data.oecd.org/agr-policy/agricultural-support.html*. Consulté le : 26.02.2021.

Ostrom, Elinor (2015): Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge: Cambridge University Press.

Otto, Dr Friederike und Brackel, Benjamin von (2019): Wütendes Wetter: Auf der Suche nach den Schuldigen für Hitzewellen, Hochwasser und Stürme. Berlin: Ullstein.

Owid, Our World in Data (2017a): Air pollution: does it get worse before it gets better? *https://ourworldindata.org/air-pollution-does-it-get-worse-before-it-gets-better*. Consulté le : 01.03.2021.

Owid, Our World in Data (2017b): What the history of London's air pollution can tell us about the future of today's growing megacities. In: Our World in Data. *https://ourworldindata.org/london-air-pollution*. Consulté le : 01.03.2021.

Owid, Our World in Data (2019a): Life Expectancy. *https://ourworldindata.org/life-expectancy*. Consulté le : 18.09.2020.

Owid, Our World in Data (2019): Meat and Dairy Production. Our World in Data. *https://ourworldindata.org/meat-production*. Consulté le : 26.02.2021.

Owid, Our World in Data (2020): CO_2 and Greenhouse Gas Emissions. Our World in Data. *https://ourworldindata.org/grapher/co2-concentration-long-term*. Consulté le : 25.02.2021.

Owid, Our World in Data (2021a): CO_2 emissions. *https://ourworldindata.org/co2-emissions*. Consulté le : 25.02.2021.

Owid, Our World in Data (2021b): Emissions by sector. Our World in Data. *https://ourworldindata.org/emissions-by-sector*. Consulté le : 25.02.2021.

Owid, Our World in Data (2021c): Data on CO_2 and Greenhouse Gas Emissions. *https://github.com/owid/co2-data*. Consulté le : 26.02.2021.

Palmer, Grace (2020): Greenland Ice Sheet Reached Tipping Point 20 Years Ago, New Study Finds. State of the Planet, 02.09.2020. *https://blogs.ei.columbia.edu/2020/09/02/greenland-tipping-point-20-years-ago/*. Consulté le : 30.03.2021.

Parry, Ian (2019): The Case for Carbon Taxation. In: IMF Finance & Development, 59(4), S. 16–19.

Partnership for Market Readiness und International Carbon Action Partnership (2016): Emissions Trading in Practice: A Handbook on Design and Implementation. Washington, DC: World Bank.

Pasten, Roberto und Figueroa, Eugenio (2012): The Environmental Kuznets Curve: A Survey of the Theoretical Literature. In: International Review of Environmental and Resource Economics, 6(3), S. 195–224.

Pearce, David (2002): Wachstum kann gut für die Umwelt sein. In: Die Volkswirtschaft, 75(1), S. 25–31.

Peter, Martin; Lückge, Helen; Killer, Maura und Maibach, Markus (2016): Auswirkungen eines EHS-Linking für den Bereich Luftfahrt – Aktualisierung für die Schweiz (S. 88). Bern: BAFU, Bundesamt für Umwelt. *www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/externe-studien-berichte/auswirkungen_einesehs-linkingfuerdenbereichluftfahrtaktualisieru.pdf.download.pdf/auswirkungen_einesehs-linkingfuerdenbereichluftfahrtaktualisieru.pdf*. Consulté le : 25.02.2021.

Pinner, Dickon; Rogers, Matt und Samandari, Hamid (2020): Addressing climate change post-coronavirus. McKinsey Quarterly, 2020(2). *www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/addressing-climate-change-in-a-post-pandemic-world*. Consulté le : 06.04.2021.

Pluess, Andrea R.; Augustin, Sabine; Brang, Peter; Schweiz und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (2016): Wald im Klimawandel: Grundlagen für Adaptationsstrategien. *www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A10483/datastream/PDF/Pluess-2016-Wald_im_Klimawandel._Grundlagen_f%C3%BCr_Adaptationsstrategien-%28published_version%29.pdf*. Consulté le : 15.04.2021.

Pooley, Gale L. und Tupy, Marian L. (2018): The Simon Abundance Index: A New Way to Measure Availability of Resources. Policy Analysis No. No. 857. *www.cato.org/policy-analysis/simon-abundance-index-new-way-measure-availability-resources*. Consulté le : 18.03.2021.

Powell, James Lawrence (2016): The Consensus on Anthropogenic Global Warming Matters. In: Bulletin of Science, Technology & Society, 36(3), S. 157–163.

Proclim (2016): Brennpunkt Klima Schweiz. Akademien der Wissenschaften Schweiz. *https://proclim.scnat.ch/de/id/TDeVr*. Consulté le : 30.03.2021.

Quandl (2021): ECX EUA Futures, Continuous Contract #1 (C1) (Front Month). *www.quandl.com*. Consulté le : 02.03.2021.

Ragettli, Martina S. und Röösli, Martin (2019): Hitzeaktionspläne zur Prävention von hitzebedingten Todesfällen – Erfahrungen aus der Schweiz. In: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 62(5), S. 605–611.

Rahmstorf (2016): Rekordwärme auf der Erde trotz kalter Sonne. KlimaLounge, 08.09.2016. *https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/rekordwaerme-auf-der-erde-trotz-kalter-sonne/*. Consulté le : 26.02.2021.

Rahmstorf, Stefan (2020): New studies confirm weakening of the Gulf Stream circulation (AMOC). Science Communication Network. *www.realclimate.org/index.php/archives/2020/09/new-studies-confirm-weakening-of-the-gulf-stream-circulation-amoc/*. Consulté le : 30.03.2021.

Rigling, Andreas und Stähli, Manfred (2020): Erkenntnisse aus der Trockenheit 2018 für die zukünftige Waldentwicklung. In: Schweizerische Zeitschrift fur Forstwesen, 171(5), S. 242–248.

Rühli, Lukas (2020): Corona kostet die Welt 24,4 Billionen Franken. Avenir Suisse, 22.10.2020. *www.avenir-suisse.ch/corona-kostet-die-welt-244-billionen-franken/*. Consulté le : 06.04.2021.

Sachverständigenrat (2019): Sondergutachten 2019: Aufbruch zu einer neuen Klimapolitik. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. *www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/sondergutachten-2019.html*. Consulté le : 02.03.2021.

Schmitt, Alex (2017): Kurz zum Klima: Der EU-Emissionshandel – bekannte Probleme, neue Lösungen? In: ifo Schnelldienst, 70(9), S. 48–50.

Schweizer Parlament (2020): 20.3931 | Zukünftige Ausrichtung der Agrarpolitik. *www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20203931*. Consulté le : 07.04.2021.

SDA (2020): Nationalrat schlägt beim CO_2-Gesetz erste Pflöcke ein. *www.parlament.ch/de/services/news/Seiten/2020/20200609142919596194158159041_bsd136.aspx*. Consulté le : 03.03.2021.

Shafik, Nemat und Bandyopadhyay, Sushenjit (1992): Economic Growth and Environmental Quality: Time-Series and Cross-Country Evidence. Policy Research Working Papers No. 904. The World Bank. *http://documents1.worldbank.org/curated/en/833431468739515725/pdf/multi-page.pdf*. Consulté le : 15.09.2020.

Sinn, Hans-Werner (2008): Das grüne Paradoxon. Plädoyer für eine illusionsfreie Klimapolitik. Berlin: Econ Verlag.

Sinn, Hans-Werner (2020): Das Klimaproblem und die deutsche Energiewende. Ludwig von Mises Institut Deutschland. *www.misesde.org/2020/12/professor-dr-hans-werner-sinn-das-klimaproblem-und-die-deutsche-energiewende/*. Consulté le : 01.03.2021.

Solability (2020): The Global Sustainable Competitiveness Index. SOLABILITY. *solability.com/the-global-sustainable-competitiveness-index/the-index*. Consulté le : 01.03.2021.

Solarify (2021): China startet Emissionshandel. *www.solarify.eu/2021/01/11/440-0-china-startet-emissionshandel/*. Consulté le : 02.03.2021.

Spiegel (2015): Forscher kritisieren dubiose Klimaschutz-Zertifikate. Von: Seid, Christoph.2015.

SRF, Schweizer Radio und Fernsehen (2020): CO_2-Abgabe auf Flugtickets – Grossteil der Bevölkerung könnte finanziell profitieren. Schweizer Radio und Fernsehen (SRF). *www.srf.ch/news/schweiz/co2-abgabe-auf-flugtickets-grossteil-der-bevoelkerung-koennte-finanziell-profitieren*. Consulté le : 03.03.2021.

SRF, Schweizer Radio und Fernsehen (2021): Stadtregierung Lausanne – Benzin-Autos aus der Stadt zu verbannen, reicht den Grünen nicht. Von: Notter, Felicie. 13.02.2021. *www.srf.ch/news/schweiz/stadtregierung-lausanne-benzin-autos-aus-der-stadt-zu-verbannen-reicht-den-gruenen-nicht*. Consulté le : 16.04.2021.

Stadt Zürich (2021): Klimaanpassung. *www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/umwelt_energie/klimaanpassung.html*. Consulté le : 05.02.2021.

Stanislaus, Mathy (2018): Banning Straws and Bags Won't Solve our Plastic Problem. World Resources Institute Insights Blog, 16.08.2018. *www.wri.org/blog/2018/08/banning-straws-and-bags-wont-solve-our-plastic-problem*. Consulté le : 01.03.2021.

State of California (2021): Cap-and-Trade Program. *ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/cap-and-trade-program*. Consulté le : 02.03.2021.

Statista (2019): Infografik: Das sind die größten Klimasünder Europas. Statista Infografiken. *https://de.statista.com/infografik/20253/unternehmen-in-der-eu-mit-den-hoechsten-co2-emissionen/*. Consulté le : 26.02.2021.

Statista (2021): Ausstoss von CO_2-Emissionen nach Kraftwerk. Statista. *https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38910/umfrage/hoehe-der-co2-emissionen-nach-kraftwerk/*. Consulté le : 02.03.2021.

Stavins, Robert N. (2019): Carbon Taxes vs. Cap and Trade: Theory and Practice. Harvard Project on Climate Agreements. Discussion Paper Nr. 19–9. *https://seors.unfccc.int/applications/seors/attachments/get_attachment?code=TJQGYTI096K3J33ANM1HDWYEU51VRXNC*. Consulté le : 15.12.2021.

Stern (2021): China führt Emissionshandel ein. *www.stern.de/news/china-fuehrt-emissionshandel-ein-30358878.html*. Consulté le : 02.03.2021.

Stiftung KliK (2019): Jahresbericht 2019 der Stiftung Klimaschutz und CO_2-Kompensation KliK. *www.jahresbericht.klik.ch/resources/JB19-D-Stiftung-KliK_200605-3-11.pdf*. Consulté le : 11.02.2021.

Swisspower (2020): Aus der Session: CO_2-Gesetz verabschiedet. *https://swisspower.ch/themen-und-standpunkte/aus-der-session/*. Consulté le : 05.03.2021.

Tages-Anzeiger (2018): Armee muss Bauern Wasser bringen. Von: Wertheimer, Pia 29.07.2018.

Tages-Anzeiger (2020a): «Ich kann doch niemandem vorschreiben, kein Fleisch zu essen.» Interview mit Christian Jörg. Von: Stäuble, Mario 03.01.2020.

Tages-Anzeiger (2020b): Richard Sennett zu Corona – «Neoliberale Staaten sind unfähig, auf die Krise zu reagieren». Von: Blum, Pascal 04.04.2020.

Tagesspiegel (2019): Klimakiller Beton. Von: Nestler, Ralf 20.09.2019.

Technologiefonds (2020): Jahresrückblick 2019. *www.technologiefonds.ch/fileadmin/user_upload/files/zur_Veroeffentlichung_Jahresbericht_2019.pdf*. Consulté le : 30.11.2020.

The Economist (2019): The EU's Green Deal is full of ambition but needs more detail. 14.12.2019.

The Economist (2021): Can China's new carbon market take off? The Economist. *www.economist.com/finance-and-economics/2021/02/27/can-chinas-new-carbon-market-take-off*. Consulté le : 07.04.2021.

Transparency International (2020): Corruption Perceptions Index 2019. *https://images.transparencycdn.org/images/2019_CPI_Report_EN.pdf*. Consulté le : 03.03.2021.

Tupy, Marian (2019): Die Grenzen der Knappheit. In: Schweizer Monat, 1068. *https://schweizermonat.ch/die-grenzen-der-knappheit/*. Consulté le : 21.09.2020.

UIS, Unesco Institute for Statistics (2020): Sustainable Development Goals 1 and 4: 4.6.2 Youth/Adult Literacy Rate. *http://data.uis.unesco.org/*. Consulté le : 29.09.2020.

Umweltbundesamt (2018): Hohe Kosten durch unterlassenen Umweltschutz. Text, Umweltbundesamt. *www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/hohe-kosten-durch-unterlassenen-umweltschutz*. Consulté le : 01.03.2021.

Umweltbundesamt (2020a): Emissionen der Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft. Umweltbundesamt. *www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-der-landnutzung-aenderung*. Consulté le : 25.02.2021.

Umweltbundesamt (2020b): Analysen zum direkten und indirekten Carbon-Leakage-Risiko europäischer Industrieunternehmen. *www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_10_20_climate_change_32_2020_analysen_carbon-leakage-risiko.pdf*. Consulté le : 01.03.2021.

UNDP, United Nations Development Programme (2020a): Human Development Data (1990 – 2018). *http://hdr.undp.org/en/data*. Consulté le : 18.09.2020.

UNDP, United Nations Development Programme (2020b): Human Development Index (HDI). *http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi*. Consulté le : 23.09.2020.

Unep, United Nations Environment Programme (2020): Emissions Gap Report 2020. Nairobi. *www.unep.org/emissions-gap-report-2020*. Consulté le : 23.12.2020.

UNFCCC (2021): Nationally determined contributions under the Paris Agreement. Synthesis report by the secretariat. *https://unfccc.int/documents/268571*. Consulté le : 01.03.2021.

Uno Generalsekretariat (2019): Secretary-General's remarks at closing of Climate Action. *www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2019-09-23/secretary-generals-remarks-closing-of-climate-action-summit-delivered*. Consulté le : 19.02.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (1992): United Nations Framework Convention on Climate Change. *https://unfccc.int/sites/default/files/convention_text_with_annexes_english_for_posting.pdf*. Consulté le : 01.03.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2014a): We the Peoples – Celebrating 7 million voices. Uno, Vereinigte Nationen. *https://myworld2015.files.wordpress.com/2014/12/wethepeoples-7million.pdf*. Consulté le : 06.04.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2014b): Have your say in the United Nations Global Vote. My World 2015. *http://vote.myworld2015.org/*. Consulté le : 06.04.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2017): Switzerland's intended nationally determined contribiution (INDC) and clarifiying information. *www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Switzerland%20First/15%2002%2027_INDC%20Contribution%20of%20Switzerland.pdf*. Consulté le : 01.03.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2019a): World Population Prospects. *https://population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/Line/903*. Consulté le : 26.02.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2019b): Global Substainable Development Report 2019: The Future is Now – Science for Achieving Sustainable Development. *https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/24797GSDR_report_2019.pdf*. Consulté le : 01.03.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2020): Switzerland's information necessary for clarity, transparency and understanding in accordance with decision 1/CP.21 of its updated and enhanced nationally determined contribution (NDC) under the Paris Agreement (2021–2030). *www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocu-*

ments/Switzerland%20First/Switzerland_Full%20NDC%20Communication%202021-2030%20incl%20ICTU.pdf. Consulté le : 01.03.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2021a): Sustainable Development Goals: Have your Say. My World 2030. *myworld2030.org/*. Consulté le : 07.04.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2021b): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Department of Economic and Social Affairs. *https://sdgs.un.org/2030agenda*. Consulté le : 01.03.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2021c): All NDCs. *www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx*. Consulté le : 01.03.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2021d): The Kyoto Protocol. *https://unfccc.int/process-and-meetings#:2cf7f3b8-5c04-4d8a-95e2-f91ee4e4e85d*. Consulté le : 01.03.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2021e): Goal 13: Take urgent action to combat climate change and its impacts. United Nations Sustainable Development. *http://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change/*. Consulté le : 01.03.2021.

Uno, Vereinigte Nationen (2021f): Secretary-General welcomes US return to Paris Agreement on Climate Change. UN News. *https://news.un.org/en/story/2021/01/1082602*. Consulté le : 01.03.2021.

UNTC, United Nation Treaty Collection (2021): Pariser Abkommen. *https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en*. Consulté le : 25.02.2021.

Urek-S, Umweltkommission des Ständerates (2019): Inlandziel im CO_2-Gesetz. *www.parlament.ch/press-releases/Pages/mm-urek-s-2019-02-12.aspx*. Consulté le : 03.03.2021.

US Congress (2019): H.Res.109: Recognizing the duty of the Federal Government to create a Green New Deal. *www.congress.gov/bill/116th-congress/house-resolution/109/text*. Consulté le : 02.03.2021.

USGS, U.S. Geological Survey (2021): Volcanic gases can be harmful to health, vegetation and infrastructure. *www.usgs.gov/natural-hazards/volcano-hazards/volcanic-gases*. Consulté le : 26.02.2021.

USZ, Universitätsspital Zürich (2014): USZ-Richtlinen für die Raumklimatisierung. *www.usz.ch/Documents/baurichtlinien/2018/RL_USZ_Klimatisierung_20140407.pdf*.

Uvek, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (2021): Energiestrategie 2050. *www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/energie/energiestrategie-2050.html*. Consulté le : 09.04.2021.

Vahrenholt, Fritz und Lüning, Sebastian (2012): Die kalte Sonne: Warum die Klimakatastrophe nicht stattfindet (2. Edition.). Hamburg: Hoffmann und campe Verlag GmbH.

Von der Leyen, Ursula (2021): #betd21 Dr. Ursula von der Leyen – Keynote. Berlin Energy Transition Dialogue. 2020. *www.youtube.com/watch?v=PpzPLj0DvOw&list=PLrJT1Nf7EHwHYWlrATWJ40sXikTEMB5Jq&index=6*. Consulté le : 07.04.2021.

VSE, Verband Schweizerischer Elekrizitätsunternehmen (2021): Stromverbrauch. *www.strom.ch/de/energiewissen/stromverbrauch*. Consulté le : 04.03.2021.

Watson (2020): Womit Tesla wirklich sein Geld verdient. Von: Abrahamczyk, Markus.2020.

Wermelinger, Stefanie (2018): Schweizer Wasserkraft ist nicht bedroht vom Gletscherschwund. Naturschutz.ch. *https://naturschutz.ch/news/gesellschaft/schweizer-wasserkraft-ist-nicht-bedroht-vom-gletscherschwund/127118*. Consulté le : 22.02.2021.

Wiki Klimawandel (2021): RCP-Szenarien. *https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien*.

Wikipedia (2021a): Vajont-Staumauer. In: Wikipedia. *https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Vajont-Staumauer&oldid=207470915*. Consulté le : 26.02.2021.

Wikipedia (2021b): Hackerzwischenfall am Klimaforschungszentrum der University of East Anglia. *https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Hackerzwischenfall_am_Klimaforschungszentrum_der_University_of_East_Anglia&oldid=208264006*. Consulté le : 26.02.2021.

Withers, Nikki (2021): How much does human breathing contribute to climate change? BBC Science Focus Magazine. *www.sciencefocus.com/planet-earth/how-much-does-human-breathing-contribute-to-climate-change/*. Consulté le : 25.02.2021.

World Bank (2020a): World Development Indicators | DataBank. *https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#*. Consulté le : 25.09.2020.

World Bank (2020b): State and Trends of Carbon Pricing 2020. *https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33809/9781464815867.pdf?sequence=4&isAllowed=y*. Consulté le : 14.04.2021.

World Bank (2020c): Tariff rate, applied, simple mean, all products. *https://data.worldbank.org/indicator/TM.TAX.MRCH.SM.AR.ZS*. Consulté le : 19.02.2021.

World Bank (2021): Carbon Pricing Dashboard. *https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data*. Consulté le : 02.03.2021.

World Energy Council (2020): World Energy Trilemma Index. *www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Trilemma_Index_2020_-_REPORT.pdf*. Consulté le : 02.03.2021.

World Energy Council und Weltenergierat Deutschland (2018): Energie in der Europäischen Union. *www.weltenergierat.de/wp-content/uploads/2018/05/81040_DNK_Energie2018_Kap3.1.pdf*. Consulté le : 02.03.2021.

World Nuclear Association (2021): Plans for New Nuclear Reactors Worldwide - World Nuclear Association. *www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide.aspx*. Consulté le : 09.04.2021.

WOZ, Die Wochenzeitung (2020): Klimaabkommen: Offroader hier, Holzkocher dort. Von: Keller, Christoph 16.12.2020.

WSL, Eidgenössische Forschungsstelle für Wald, Schnee und Landschaft (2021): Gefahr durch Feuer: Waldbrand. www.wsl.ch/de/naturgefahren/waldbrand.html.

WTO, World Trade Organisation (2020): WTO Analytical Index. Guide to WTO Law and Practice. *www.wto.org/english/res_e/publications_e/analytical_index_e.htm*. Consulté le : 15.02.2021.

Xu, Yangyang; Ramanathan, Veerabhadran und Victor, David G. (2018): Global warming will happen faster than we think. In: Nature, *564*(7734), S. 30–32.

Zappa, Giuseppe (2019): Regional Climate Impacts of Future Changes in the Mid–Latitude Atmospheric Circulation: A Storyline View. In: Current Climate Change Reports, *5*(4), S. 358–371.

ZDF (2020): Klimaschutz: Warum das Kyoto-Protokoll kaum geholfen hat. *www.zdf.de/uri/34953ae7-cb1a-4ccc-b8b4-2336f2e0f8ae*. Consulté le : 02.03.2021.

Liste des lois et accords

BBl 2020 7847 (2020): Bundesgesetz über die Verminderung von Treibhausgasemissionen (CO_2-Gesetz).

SR 641.71 (2000): Bundesgesetz vom 8. Oktober 1999 über die Reduktion der CO_2-Emissionen (CO_2-Gesetz).

SR 641.71 (2013): Bundesgesetz vom 23. Dezember 2011 über die Reduktion der CO_2-Emissionen (CO_2-Gesetz).

SR 0.814.012: – Übereinkommen von Paris vom 12. Dezember 2015 (Klimaübereinkommen). *www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/619/de*. Consulté le : 02.03.2021.

RS 0.814.012: – Accord de Paris du 12 décembre 2015 (Accord sur le climat). *www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/619/fr*. Consulté le : 02.03.2021

Patrick Dümmler *est Senior Fellow et responsable de recherche «Suisse ouverte». Il s'occupe des thèmes de politique climatique, énergétique et agricole ainsi que du commerce extérieur. Il est titulaire d'un Master en économie de l'Université de Zurich, a effectué un doctorat à l'EPFZ et a publié de nombreux ouvrages, notamment sur la politique économique en Suisse. Après plus de dix ans dans le conseil en stratégie et à la direction d'une organisation de branche, il a rejoint Avenir Suisse en novembre 2015.*

Lukas Rühli *travaille en tant que Senior Fellow et responsable de recherche «Smart Government» auprès d'Avenir Suisse et est en charge des thèmes liés aux institutions politiques de la Suisse, aux institutions sociales et à la visualisation des données. Il est titulaire d'un master en économie à l'Université de Zurich, et y a également étudié la géographie. Il était Visiting Fellow au Cato Institute début 2017.*

Teresa Hug Alonso *a rejoint Avenir Suisse en tant que Researcher en mars 2020. Auparavant, elle était active au sein de la section économique et commerciale de la délégation de l'Union européenne en Suisse et pour le Liechtenstein. Elle est détentrice d'un Bachelor en économie et droit de la SOAS University of London, ainsi que d'un Master en droit international et économie de l'Université de Berne. En parallèle de ses études, elle travaillait régulièrement pour Credit Suisse.*

Mario Bonato *a rejoint Avenir Suisse en tant que Researcher en septembre 2018. Auparavant, il a travaillé comme assistant d'équipe chez Avenir Suisse et comme secrétaire chez Egloff & Partner. Après avoir obtenu sa bachelor en sciences économiques à l'Université de Saint-Gall, il étudie actuellement l'histoire à l'Université de Zurich.*