

2 Garantir une économie verte et dynamique en 2050

Catherine MacLeod

Paula Adamczyk

Le Luxembourg s'est fixé des objectifs climatiques ambitieux pour accélérer sa progression vers la neutralité carbone en 2050. Ces objectifs nécessitent des efforts d'atténuation importants, dans la mesure où la transition écologique est interrompue depuis quelques années. Les réductions d'émissions requises au cours des trois prochaines décennies sont supérieures à celles qui ont eu lieu dans les années 90 sous l'impulsion de la réforme du secteur de l'acier et de la fermeture des centrales à charbon. Dans le même temps, ces objectifs peuvent amener le Luxembourg à récolter les fruits de la transition écologique. Les spécificités de son économie exigent qu'il concentre l'essentiel de ses efforts sur les secteurs des transports et du logement. Pour que la transition se fasse, il faut une modification radicale des comportements des ménages dont l'empreinte carbone élevée est due à l'utilisation de la voiture et au chauffage. Une baisse durable des émissions exige également que le pays s'attaque à la question du tourisme à la pompe, celui des transporteurs de fret comme celui des automobilistes pendulaires. Enfin, des réformes de l'agriculture sont nécessaires pour réduire les pressions sur la biodiversité. Le Luxembourg devra mobiliser un large éventail de moyens d'action pour que sa population soit davantage prête à accepter ces évolutions. Un prix du carbone plus élevé à moyen et à long terme limiterait les ventes de carburant et augmenterait l'efficacité énergétique. Une meilleure politique d'aménagement du territoire réduirait l'étalement urbain et la dépendance à l'égard de la voiture. Des réglementations plus strictes et des incitations plus fortes favoriseraient le recours à des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement.

Le présent chapitre examine les moyens de verdir l'économie du Luxembourg grâce à une stratégie plus efficace et inclusive. Il évalue les défis environnementaux existants (première section) et les principaux risques que pose la transition (deuxième section). Il expose ensuite le cadre d'action nécessaire pour gérer ces risques, ainsi que des recommandations à l'intention des pouvoirs publics sur la façon d'atteindre les ambitions climatiques et de conserver le soutien du public (troisième section).

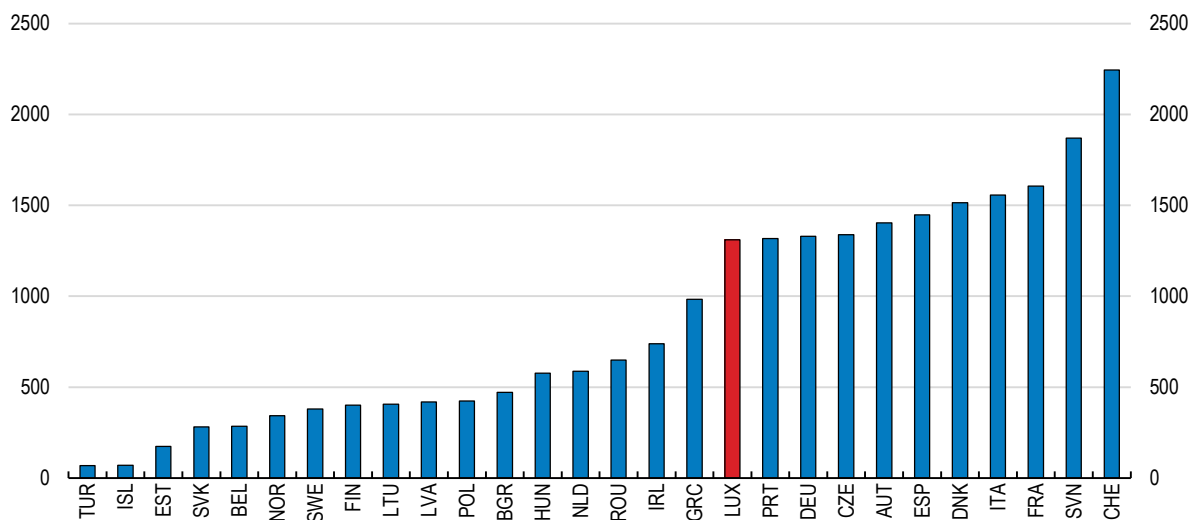
Les bases d'une croissance plus verte sont en place mais l'action doit s'accélérer

Le changement climatique est aujourd'hui l'un des défis à long terme les plus urgents, et de nombreux gouvernements en ont fait la priorité de leur programme politique. Il est nécessaire d'agir car, faute de prendre rapidement des mesures d'atténuation suffisantes, les sécheresses, les inondations et les événements climatiques extrêmes deviendront de plus en plus fréquents (GIEC, 2022^[1]). Conscientes de ces enjeux, les autorités luxembourgeoises se sont fixé des objectifs climatiques ambitieux pour 2030, dans la perspective à long terme d'atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050.


Cette stratégie nécessitera davantage d'efforts de décarbonation de la part de toutes les parties prenantes ainsi que la mise en œuvre et la coordination de politiques efficaces. Agir de façon anticipée peut non seulement éviter l'aggravation des risques mais aussi aider le pays à bénéficier des opportunités économiques de la transition écologique. Le Luxembourg n'est pas particulièrement vulnérable aux catastrophes naturelles mais, selon les données disponibles, il est néanmoins confronté aux coûts élevés qui peuvent être associés aux phénomènes météorologiques liés au climat (Graphique 2.1).

Graphique 2.1. Le préjudice économique lié au climat est relativement important

Préjudice économique lié aux phénomènes météorologiques extrêmes, en EUR par habitant, sur la base des prix de 2020



Source : Agence européenne pour l'environnement, à partir d'estimations de la base CATDAT de RiskLayer.

StatLink  <https://stat.link/iypxu9>

Vue d'ensemble des défis de la transition écologique au Luxembourg

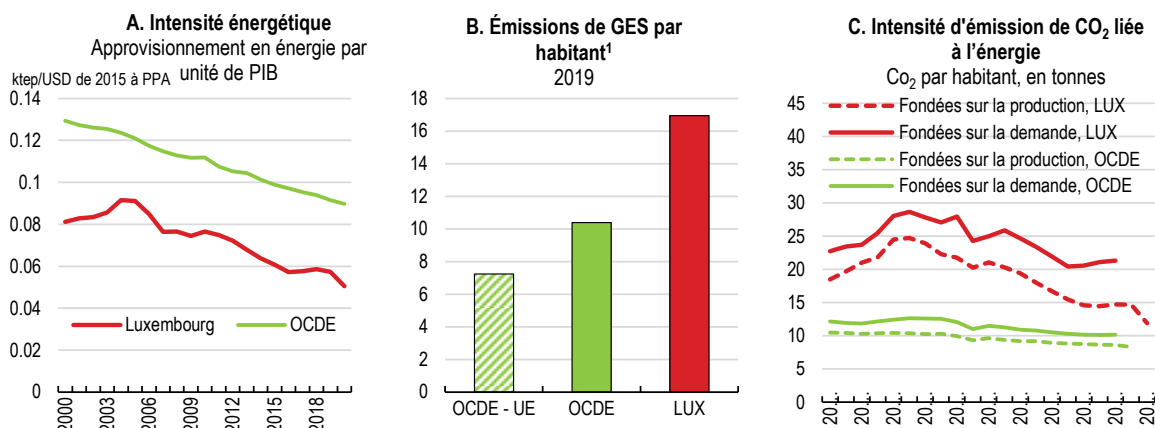
Le Luxembourg a considérablement progressé sur la voie de la transition écologique. En dépit d'une croissance économique vigoureuse, les émissions de gaz à effet de serre (GES) ont été découplées du PIB et l'intensité énergétique reste significativement inférieure à la moyenne de l'OCDE (Graphique 2.2, partie A), du fait de l'intensité carbone relativement basse des secteurs des services financiers et des

services aux entreprises. Soutenues par des investissements substantiels, les sources d'énergie renouvelables ont vu leur part doubler dans les approvisionnements énergétiques au cours de la dernière décennie. Le gouvernement a conclu avec les municipalités un Pacte Climat (Naturpakt) en vertu duquel celles qui mettent en œuvre des mesures environnementales et climatiques obtiennent une certification et bénéficient de financements. Ce Pacte vise à encourager la protection de la nature et la conservation de la biodiversité. Le gouvernement s'est également fixé des objectifs climatiques ambitieux pour accélérer sa transition écologique.

Dans le même temps, il est possible de faire encore mieux, de façon à pérenniser les réductions d'émissions visibles depuis 2020. Les profils de consommation et de production des citoyens luxembourgeois et l'augmentation de la population font partie des facteurs qui pèsent sur l'environnement naturel. La baisse des émissions de gaz à effet de serre qui a suivi les réformes du début des années 90 en faveur de l'abandon progressif du charbon et des fours à arc électrique dans le secteur de l'acier a été compensée par la croissance régulière des émissions du secteur des transports (fret inclus) à partir du milieu des années 90 (AIE, 2020^[2]).

Les résidents du Luxembourg sont les plus gros consommateurs de carbone par habitant de l'OCDE, même si l'on exclut les ventes de carburant aux non-résidents, comme le montrent les mesures des émissions de CO₂ fondées sur la production et la demande (Graphique 2.2, partie B). L'intensité carbone de la demande est beaucoup plus élevée que celle de la production, car le Luxembourg importe la plupart de l'énergie dont il a besoin (Graphique 2.2, partie C). La demande d'énergie est satisfaite à environ 95 % par des importations, principalement de pétrole et de gaz naturel, non comptabilisées dans le calcul de l'indicateur fondé sur la production. L'intensité de CO₂ fondée sur la demande mesure l'intensité des émissions de CO₂ sur la base de la consommation finale, à l'exclusion de l'impact des ventes de carburant, ce qui rend compte des émissions réelles de l'économie (OCDE, 2017^[3]). Elle reflète la quantité de carbone qu'il est nécessaire d'importer pour satisfaire la demande finale des citoyens (Encadré 2.1).

Graphique 2.2. Les émissions par habitant sont élevées malgré une intensité énergétique relativement faible



1. Y compris les émissions liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie (UTCATF). Du fait du principe de territorialité, ces chiffres incluent les ventes de carburant aux non-résidents.

Source : OCDE, Indicateurs de croissance verte.

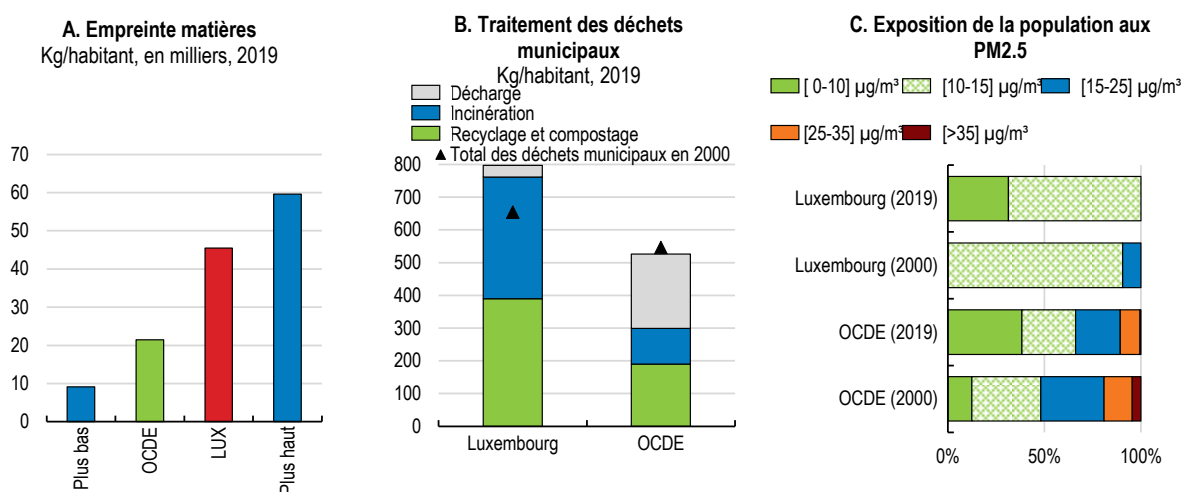
StatLink  <https://stat.link/2bas31>

De plus, les modes de consommation du Luxembourg génèrent d'importantes quantités de déchets par habitant. L'empreinte matières, qui prend en compte les ressources requises pour satisfaire la demande finale d'un pays, est l'une des plus élevées de la zone de l'OCDE (Graphique 2.3, partie A). De ce fait, la quantité de déchets produits par habitant est également très supérieure à la moyenne de l'OCDE (Graphique 2.3, partie B). Ces niveaux élevés de consommation et de déchets sont dus en partie aux très

nombreux travailleurs transfrontaliers qui font tous les jours la navette jusqu'au Luxembourg et qui, pour l'essentiel, gonflent les chiffres mesurés par habitant population (OCDE, 2020^[4]). Il est encourageant de noter que les quantités de déchets municipaux envoyés en décharge ont substantiellement baissé pour ne plus représenter actuellement que 4 % du total des déchets produits, 47 % étant incinérés et 49 % recyclés (Graphique 2.3, partie B). Cette amélioration importante – il y avait 21 % de déchets mis en décharge en 2000 – fait suite à la mise en œuvre de la première édition (2000) et de la deuxième édition (2010) du Plan national de gestion des déchets. Le gouvernement vient aussi de lancer sa Stratégie pour une économie circulaire, qui vise à réduire la production de déchets et à promouvoir la réutilisation et le recyclage.

Au cours des deux dernières décennies, les rejets atmosphériques de petites particules ont diminué, ce qui a contribué à améliorer la qualité de l'air au Luxembourg (Graphique 2.3, partie C). Cependant, la forte dépendance du pays au transport automobile et le grand nombre de navetteurs frontaliers quotidiens ont fait augmenter les niveaux d'exposition à d'autres polluants, en particulier les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone, produits par la combustion des carburants dans les moteurs. Les émissions d'oxydes d'azote sont beaucoup plus élevées au Luxembourg que dans les pays voisins (Graphique 2.4, partie A).

Graphique 2.3. La quantité de déchets produits est supérieure à la moyenne de l'OCDE mais la qualité de l'air s'est améliorée



Source : OCDE, Indicateurs de croissance verte.

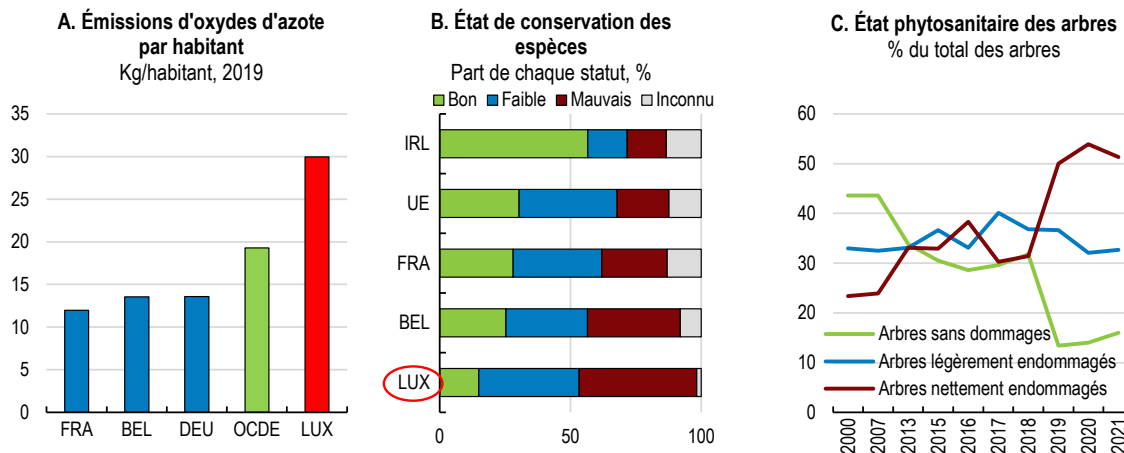
StatLink  <https://stat.link/5rulvh>

Le Luxembourg devrait veiller plus attentivement à la santé de son écosystème dont la qualité se dégrade au fil des ans. Les atteintes à la biodiversité, l'artificialisation des sols, la baisse de la qualité de l'eau, la déforestation et, partant, la disparition des espèces sont des problèmes qu'il faudra traiter (Graphique 2.4, partie B). Le développement rapide de l'environnement bâti, avec ses infrastructures routières denses et en expansion, accentue le problème de l'artificialisation des sols et contraint toujours plus les terres. Les pratiques d'agriculture intensive, avec leurs pâturages et l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides, influent négativement sur la qualité de l'eau et du sol et contribuent dans une large mesure aux pertes de biodiversité.

Qui plus est, les impacts du changement climatique, notamment les épisodes de chaleur et de sécheresse, ont facilité la propagation des nuisibles, à tel point que Luxembourg a perdu plus d'espace forestier que n'importe quel autre pays de l'OCDE. La santé des arbres s'est nettement dégradée ces dernières années. Seuls 16 % d'entre eux n'ont encore subi aucun dommage, tandis que 50 % sont jugés substantiellement endommagés (Graphique 2.4, partie C). L'évolution prévue des conditions météorologiques devrait

aggraver les problèmes, dans la mesure où une température plus chaude encourage la prolifération des nuisibles, par exemple les scolytes, tout en présentant le risque d'influer négativement sur les rendements des cultures. Cela renforcerait l'impact de la transition vers une production bovine à forte intensité d'émissions, entamée en 2010.

Graphique 2.4. L'environnement naturel est sous pression



Source : OCDE, indicateurs de croissance verte ; Agence européenne pour l'environnement ; STATEC.

StatLink  <https://stat.link/opcgny>

Une attention particulière doit être portée aux émissions de gaz à effet de serre

Le Luxembourg a réussi à découpler ses émissions de gaz à effet de serre de la croissance du PIB à partir de 2005, mais les progrès sont devenus plus lents depuis quelques années (Graphique 2.5, partie A). Après une première phase de baisse au début des années 90, les émissions de GES ont à nouveau augmenté, entraînées à la hausse par celles des transports. La diminution graduelle enregistrée depuis les années 2000 n'a pas permis d'empêcher les émissions totales de se maintenir à des niveaux relativement plus élevés que dans les pays les plus performants sur ce plan (Graphique 2.5, partie B).

Encadré 2.1. Mesures internationales de l’empreinte carbone

La mesure territoriale des émissions de gaz à effet de serre est couramment utilisée pour les calculs relatifs aux objectifs de réduction des émissions des pays. Elle prend en compte les ventes de carburant aux non-résidents, ce qui a pour effet d’accroître les émissions du Luxembourg par rapport aux émissions des pays où les exportations de carburant sont moins élevées en proportion des ventes aux résidents. La mesure territoriale comptabilise l’électricité qui est produite – et non pas utilisée – sur le territoire. Le Luxembourg étant un pays importateur net d’énergie, cette convention réduit ses émissions en comparaison de celles des pays qui produisent de l’électricité pour leur propre consommation, et en particulier ceux qui exportent de l’électricité. Les mesures territoriales n’établissent aucune distinction entre résidents et non-résidents.

L’OCDE calcule des mesures des émissions de CO₂ fondées sur la production et la demande imputables aux seuls résidents, desquelles est exclu l’impact des travailleurs transfrontaliers et des ventes de carburant. La mesure fondée sur la production prend également en compte toute l’énergie produite dans le pays, qu’elle soit utilisée dans le pays ou exportée. La mesure fondée sur la demande inclut également les émissions associées à l’énergie importée – une source d’électricité importante au Luxembourg. Cet indicateur offre une image plus précise de l’intensité d’émission associée à la façon dont les résidents luxembourgeois vivent et travaillent, mais sa mesure est plus complexe. De plus, elle est calculée pour l’ensemble de l’économie uniquement, et non pas secteur par secteur. Les mesures fondées sur la production et la demande ne couvrent que les émissions de CO₂, et non la totalité des émissions de gaz à effet de serre.

Pour faciliter les comparaisons internationales, les émissions sont souvent ramenées à un ratio par habitant ou par unité de valeur ajoutée produite. Dans le cas du Luxembourg, la pratique consistant à ramener la mesure territoriale des émissions à la population pourrait introduire un biais par excès, dans la mesure où les déplacements pendulaires transfrontaliers majorent le nombre de personnes présentes sur le territoire d’environ 30 %, mais sans avoir d’incidence sur la taille de la population totale du pays. En utilisant les mesures des émissions par habitant de l’OCDE fondées sur la demande et la production, on évite d’avoir deux échantillons de population différents dans le numérateur et le dénominateur, puisque dans les deux cas, il s’agit de la population résidente uniquement. La mise à l’échelle des mesures territoriales par unité de PIB est susceptible d’entraîner une sous-estimation de l’intensité carbone de la production compte tenu de l’importance des activités économiques caractérisées par une présence physique limitée au Luxembourg. Dans le cas du Luxembourg, l’utilisation du RNB en lieu et place du PIB serait un moyen d’obtenir une image plus réaliste des émissions par unité de valeur ajoutée produite.

À la lumière de ces réserves diverses, il apparaît essentiel de se référer à un ensemble de mesures pour procéder à l’évaluation comparative des résultats et des politiques.

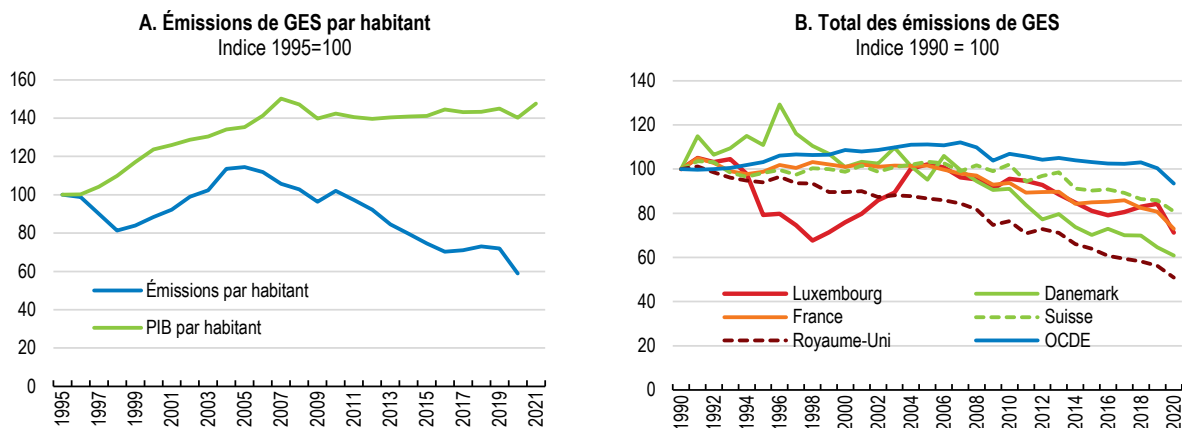
Source : (OCDE, 2017^[3]) ; (Yamano et Guilhoto, 2020^[5]).

Pour se tenir à ses engagements internationaux en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, le Luxembourg devra accomplir des progrès substantiels sur le plan de la réduction des émissions territoriales dues aux transports, notamment celles imputables aux ventes de carburant transfrontalières, ainsi que des émissions du secteur résidentiel (Graphique 2.6). La part des transports dans le total des émissions (57.4 %) est plus de deux fois plus élevée que dans les autres pays de l’OCDE. Le secteur des transports explique la part prépondérante des hydrocarbures dans les besoins énergétiques totaux, le pétrole représentant 65 % de la consommation brute totale d’énergie du pays (AIE, 2020^[2]). De par leur ampleur, les ventes de carburant aux non-résidents, y compris pour le transport de fret, a joué un rôle important dans l’augmentation des émissions de gaz à effet de serre observée depuis 2015 – ainsi que dans le déclin qu’ont connu ces émissions en 2020, sur fond de pandémie de COVID-19. Compte tenu de

sa situation géographique et du fait que les prix des carburants y sont moins élevés que dans les pays voisins, le Luxembourg est une plateforme de transit international. Les camions de transport de marchandises, les résidents transfrontaliers et les autres touristes à la pompe sont responsables des deux tiers environ de la consommation de carburant liée aux transports (AIE, 2020^[2]).

Pour parvenir à une réduction durable des émissions du secteur résidentiel, qui compte pour 15.5 % des émissions totales, il faudra diminuer la consommation d'énergie liée au chauffage et accroître le rendement énergétique des bâtiments, ainsi que délaissier les modes de chauffage à intensité carbone élevée. Sur l'ensemble des systèmes de chauffage domestique, 53.2 % fonctionnaient au gaz naturel et 36 % au fioul domestique (Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, 2020^[6]). Les émissions liées au chauffage résidentiel ont progressivement augmenté au fil du temps. En dépit de la taille relativement restreinte du secteur industriel, la part du secteur manufacturier dans les émissions est à peu près conforme à la moyenne de l'OCDE. Les industries de l'acier et du verre pèsent fortement dans les besoins d'énergie de ce secteur.

Graphique 2.5. La baisse des émissions ralentit depuis 2015, ce qui fragilise le découplage avec la croissance



Note : Les émissions liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie (UTCATF) sont incluses. Le PIB par habitant est mesuré sur la base des parités de pouvoir d'achat (PPA).

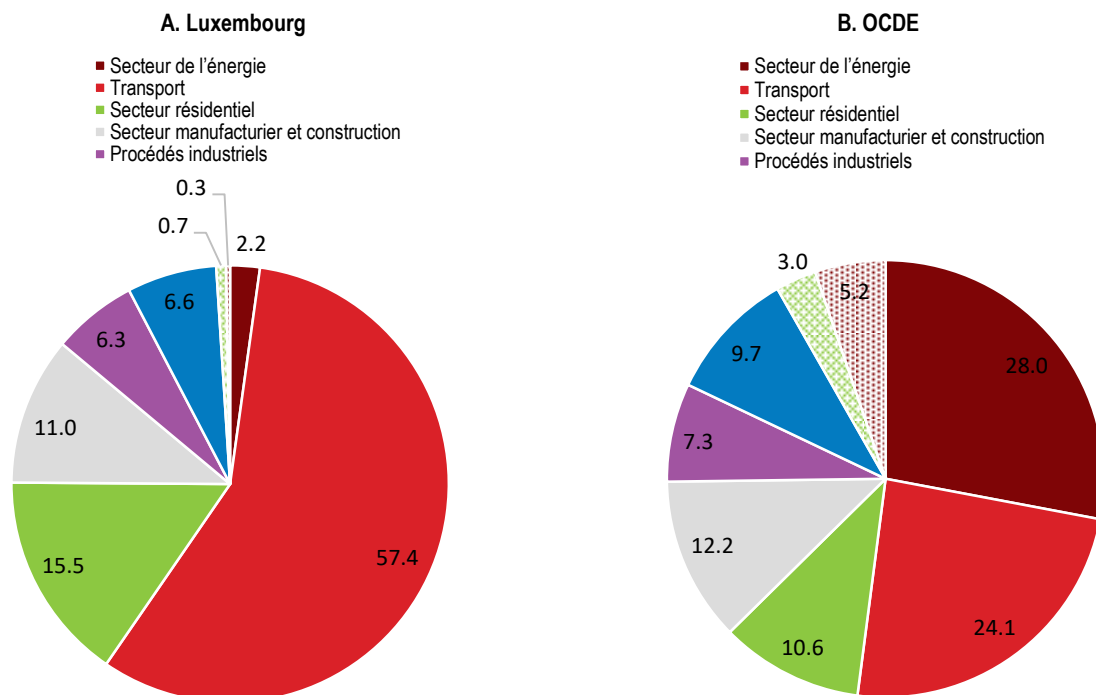
Source : OCDE, base de données sur les émissions de gaz à effet de serre ; OCDE, base de données sur les comptes nationaux.

StatLink  <https://stat.link/mhwlc4>

L'intensité carbone de l'économie vient du fait que les sources de l'énergie consommée sont avant tout fossiles. Le pétrole représente 65 % de la consommation brute d'énergie : il est utilisé principalement dans le secteur des transports mais aussi pour le chauffage dans les secteurs résidentiel et commercial (AIE, 2020^[2]). Le gaz naturel totalise 15 % de la consommation brute d'énergie. Il constitue une source d'énergie importante pour les ménages et les entreprises : en 2017, il a couvert respectivement 46 % et 41 % de leurs besoins énergétiques.

Graphique 2.6. Le secteur des transports est à l'origine de la plus grosse partie des émissions de GES du Luxembourg

Émissions de gaz à effet de serre par source, pourcentage, 2019



Note : Les émissions sont calculées sur une base territoriale. Elles incluent les ventes de carburant à des non-résidents et excluent l'électricité consommée mais non produite sur le territoire. L'énergie non produite sur le territoire est également exclue. Comme le Luxembourg importe 95 % de son énergie, son secteur énergétique est à l'origine de seulement 2.2 % des émissions, à comparer à la moyenne de 28 % de l'OCDE. Du fait de cette facilité de calcul, c'est la norme convenue dans le cadre des engagements internationaux concernant les émissions de gaz à effet de serre.

Source : OCDE, base de données sur les émissions de gaz à effet de serre, par source.

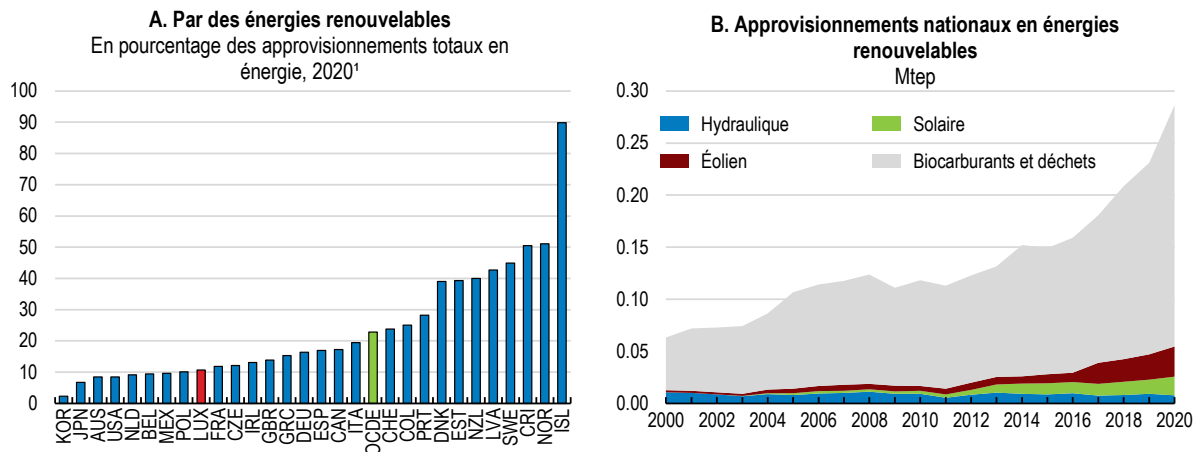
StatLink  <https://stat.link/o48fel>

En réduisant sa dépendance à l'égard des combustibles fossiles, le Luxembourg bénéficierait non seulement d'avantages environnementaux, mais aussi d'un système énergétique plus résilient, en particulier dans le contexte actuel de la guerre d'agression menée par la Russie contre l'Ukraine. Un embargo sur le charbon est en place dans l'UE depuis août 2022 et sera étendu au pétrole transporté par voie maritime d'ici à la fin de 2022. Les importations de pétrole en provenance de Russie sont négligeables. En 2020, 25 % environ des importations de gaz naturel venaient de Russie, mais elles ont diminué depuis en raison de la réduction des approvisionnements destinés à l'Europe (Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, 2022^[7]). La majeure partie du gaz naturel importé vient de Norvège et du Royaume-Uni et passe par les infrastructures méthanières de la Belgique, avant d'être acheminée jusqu'au Luxembourg par gazoduc. Il ne devrait pas y avoir de pénurie de gaz à court terme, la demande intérieure s'étant récemment orientée à la baisse. Les principales capacités de stockage de gaz se trouvent en Allemagne, et un accord multilatéral a été conclu avec les pays voisins. Même s'il importe relativement moins d'énergie en provenance directe de la Russie que d'autres pays de l'UE, le Luxembourg est indirectement affecté par le conflit et doit faire avec les conséquences des prix plus élevés de l'énergie. En accélérant la transition vers des ressources non fossiles, il pourrait à la fois réduire l'intensité carbone de son économie et renforcer sa sécurité énergétique intérieure.

La production renouvelable du Luxembourg a augmenté, mais reste relativement faible, puisque sa part dans le mix énergétique est inférieure de moitié, environ, à la moyenne de l'OCDE (Graphique 2.7,

partie A). Le gros de cette augmentation est dû aux biocombustibles plutôt qu'au photovoltaïque ou à l'éolien (Graphique 2.7, partie B), même si la puissance installée solaire par habitant est relativement plus élevée que dans d'autres pays membres de l'UE. L'offre d'énergies renouvelables est soutenue, d'une part, par des tarifs d'injection et des primes d'achat applicables à l'électricité produite à partir de sources renouvelables et, d'autre part, par des subventions à l'investissement dans le déploiement des énergies renouvelables.

Graphique 2.7. L'offre d'énergies renouvelables est encore l'une des plus faibles de la zone de l'OCDE



1. Les données relatives au Costa Rica se rapportent à 2019.

Source : OCDE, indicateurs de croissance verte ; Agence internationale de l'énergie (AIE), « World Energy Balances ».

StatLink  <https://stat.link/kj1h3i>

Pour augmenter sa production nationale renouvelable dans le contexte des exigences de l'UE, le Luxembourg a acheté des transferts statistiques d'énergie produite à partir de sources renouvelables, en accord avec les règlements de l'UE. Ce mécanisme permet aux pays disposant d'un surplus d'énergies renouvelables par rapport aux objectifs fixés (notamment, l'Estonie et la Lituanie) de le revendre à des pays n'ayant pas atteint ces objectifs, comme le Luxembourg. Les transferts sont statistiques puisqu'ils ne nécessitent pas le transport réel de l'électricité entre les pays, mais l'argent doit être utilisé pour financer de nouvelles mesures de développement des énergies renouvelables ou d'efficacité énergétique. En 2020, les transferts statistiques ont permis d'ajouter 1.6 point de pourcentage à la part des renouvelables. Il est envisagé de porter ce chiffre à 5.4 points de pourcentage d'ici à 2030, à mesure que les mesures de coopération s'élargissent pour inclure de nouveaux instruments tels que le mécanisme européen de financement des énergies renouvelables.

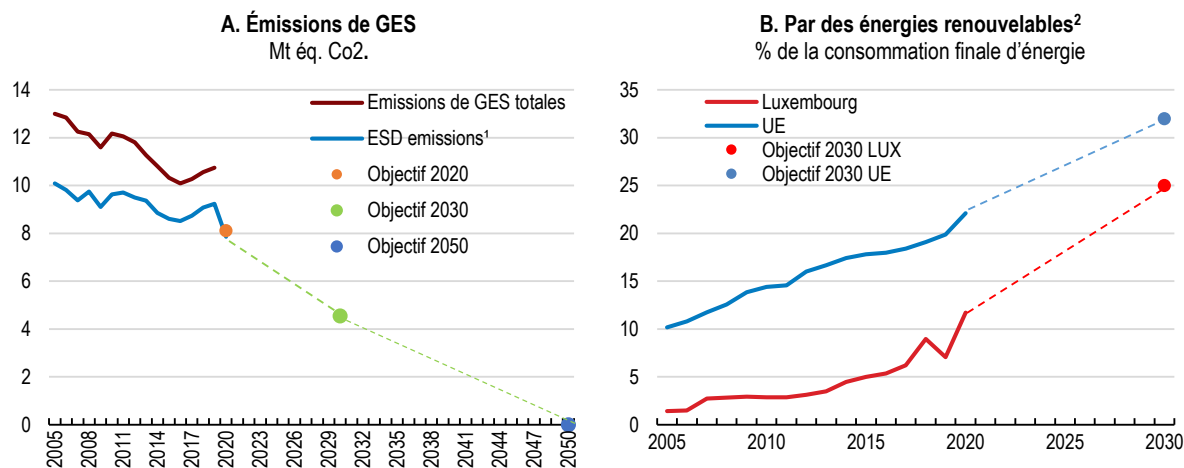
Une stratégie ambitieuse de transition verte a été déployée pour accélérer le changement

Conscientes des enjeux et des risques climatiques, les autorités ont établi des objectifs ambitieux. Le gouvernement a publié deux documents pour orienter sa stratégie verte : la Stratégie nationale à long terme définit une vision pour réussir la transition verte et engage le Luxembourg à atteindre la neutralité climatique d'ici à 2050. Le Plan national intégré en matière d'énergie et de climat pour la période 2021-30 (PNEC) définit les objectifs du Luxembourg pour 2030 aux niveaux sectoriels et national. Guidé par les domaines de priorité définis par l'UE dans son paquet « Ajustement à l'objectif 55 » (Encadré 2.2), ce plan national fixe les engagements suivants pour le Luxembourg :

- réduire les émissions de gaz à effet de serre de 55 % en 2030 par rapport à leurs niveaux de 2005 (exigence de l'UE : 40 %) (Graphique 2.8, partie A) ;

- porter la part des énergies renouvelables à 25 % de la consommation finale brute d'énergie à l'horizon 2030 (Graphique 2.8, partie B) ;
- améliorer l'efficacité énergétique de 44 % d'ici à 2030 (par rapport au scénario du statu quo, sur la base du modèle de référence de l'UE PRIMES 2007).

Graphique 2.8. Les objectifs fixés pour 2030 et 2050 invitent à accélérer le rythme de changement



1. ESD = Décision relative au partage de l'effort. Ces émissions sont couvertes par la Décision de l'UE relative au partage de l'effort et ne relèvent pas du système d'échange de quotas d'émission de l'UE.

2. L'objectif de 11 % de renouvelables dans la consommation finale d'énergie que le Luxembourg s'était fixé pour 2020 a aussi été soutenu par des transferts statistiques de la Lituanie et de l'Estonie, ainsi que par une baisse considérable de la consommation de combustibles fossiles.

Source : Eurostat, émissions liées à la Décision relative au partage de l'effort ; Eurostat, comptes relatifs aux émissions atmosphériques ; Eurostat, statistiques sur les énergies renouvelables.

StatLink  <https://stat.link/ftzsb>

Encadré 2.2. Le paquet « Ajustement à l'objectif 55 » de l'UE

Le paquet « Ajustement à l'objectif 55 » de l'UE est un ensemble de propositions visant à modifier la législation de l'UE pour l'aligner sur les objectifs fixés à l'horizon 2030. Son nom fait référence à l'objectif de l'UE visant à réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre d'au moins 55 % d'ici à 2030. Il porte sur les cibles du système d'échange de quotas d'émissions de l'UE, les réductions d'émissions attendues dans chaque pays dans les secteurs qui ne sont pas couverts par le système d'échange de quotas d'émissions, ainsi que les propositions de porter à 40 % la part des renouvelables dans l'UE et d'atteindre des pourcentages d'amélioration de l'efficacité énergétique de 32,5 % à 36 % pour la consommation finale d'énergie et de 39 % pour la consommation d'énergie primaire.

Dans le cadre du Règlement sur le partage de l'effort, chaque État membre a un objectif spécifique de réduction d'émissions d'ici à 2030, applicable aux secteurs non couverts par le système d'échange de quotas d'émissions. Dans le cas du Luxembourg, cet objectif est de 40 % de réduction par rapport aux niveaux de 2005. Dans d'autres domaines d'action, aucune cible spécifique n'est requise : les pays définissent leurs objectifs dans leur Plan national énergie-climat, élaboré en fonction des objectifs fixés à l'échelle de la région et évalué par la Commission.

Source : Commission européenne.

Le gouvernement a présenté des objectifs d'efficacité énergétique sectoriels plus exigeants pour atteindre la réduction globale de 44 % de la consommation finale d'énergie. Les réductions les plus importantes sont attendues dans les secteurs des bâtiments résidentiels (-40 %), du transport routier (-38 %) et des services (-24 %) (Graphique 2.9, partie A). S'agissant des entreprises, le rythme de changement devrait

être relativement régulier, avec un secteur manufacturier qui s'ajustera relativement plus lentement que d'autres secteurs d'ici à 2030.

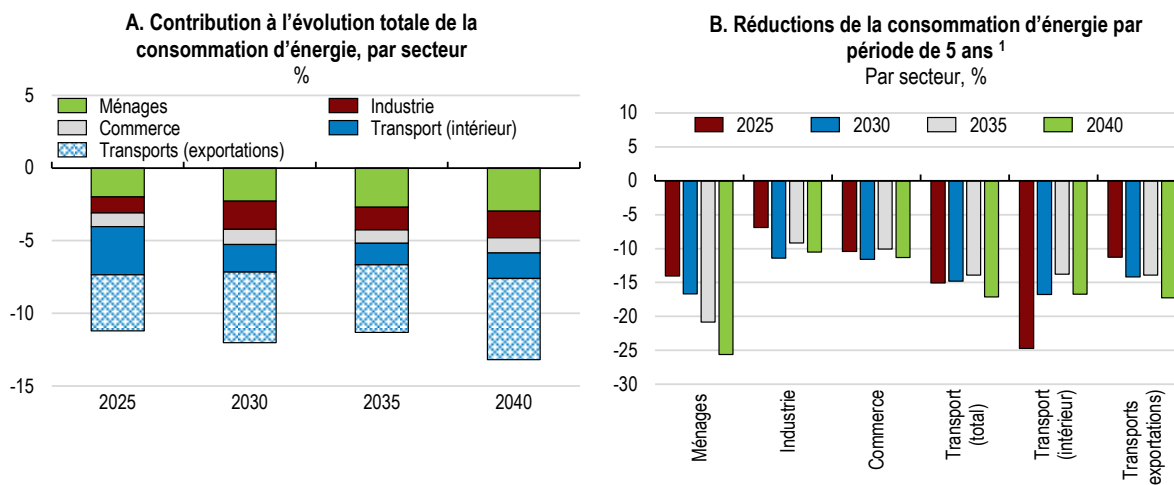
Au contraire, les objectifs impliquent des modifications radicales des choix de transport des ménages à court terme. Les ménages représentent environ la moitié de la consommation nationale totale de carburants, dont on attend qu'elle baisse d'un quart entre 2025 et 2030 (Graphique 2.9, partie B). La stratégie des pouvoirs publics est d'augmenter l'utilisation des transports publics et des véhicules électriques, l'ambition étant de porter à 49 % la part de l'électromobilité dans le parc automobile d'ici à 2030.

À l'heure actuelle, les véhicules électriques et hybrides ne représentent que 4.5 % du stock total de véhicules. Atteindre l'objectif fixé pour 2030 suppose, si le taux de remplacement se maintient aux niveaux actuels, que les véhicules électriques représentent 60 % de l'ensemble des véhicules achetés d'ici à 2025, et 100 % d'ici à 2030. En 2021, les ventes ont correspondu à près de 20.5 % des nouvelles immatriculations. Des subventions généreuses sont prévues pour l'achat de véhicules électriques. Les citoyens peuvent recevoir 8 000 EUR pour une voiture dont la consommation ne dépasse pas 180 Wh/km et 3 000 EUR si la voiture ne remplit pas ce critère. Pour accélérer encore cette évolution, les avantages liés aux voitures de fonction s'appliqueront uniquement aux véhicules électriques à compter de 2025.

Le pays élargit actuellement son réseau de charge public en installant des bornes de charge rapide le long des routes principales et, parallèlement, des incitations sont disponibles pour l'installation de bornes de charge privées. À compter du deuxième semestre de 2022, la Facilité pour la reprise et la résilience financera une mesure d'aide pour que les parties prenantes privées puissent installer des bornes de charge accessibles au public ou limitées à l'usage privé. Le Luxembourg compte actuellement 14 véhicules électriques par borne de charge accessible au public, ce qui est l'un des taux les plus faibles de l'Union européenne mais, lorsque le parc automobile électrique s'étoffera, le nombre de bornes de charge devra lui aussi augmenter considérablement. En supposant que les objectifs de vente de véhicules électriques soient réalisés, atteindre un taux moyen de 20 véhicules électriques par borne de charge accessible au public nécessiterait l'installation de plus de 10 000 bornes de charge supplémentaires d'ici à 2030.

Les gains d'efficacité énergétique du secteur résidentiel devraient croître substantiellement entre 2025 et 2040 (Graphique 2.9, partie B). Cette mise en exergue des gains futurs traduit en partie l'importance des rénovations pour la réalisation des objectifs. Le Luxembourg a mis en place des normes de neutralité énergétique pour les nouveaux bâtiments, qui aideront à améliorer l'efficacité des logements en matière d'émissions. De plus, un grand nombre d'habitations, principalement des maisons individuelles, devront être rénovées : atteindre les objectifs à l'horizon 2030 exige de faire passer très rapidement le taux de rénovation du parc immobilier de son niveau actuel de 1.1 % à 3 %, soit l'objectif fixé dans le PNEC.

Graphique 2.9. Élargir les objectifs aux ménages et aux entreprises



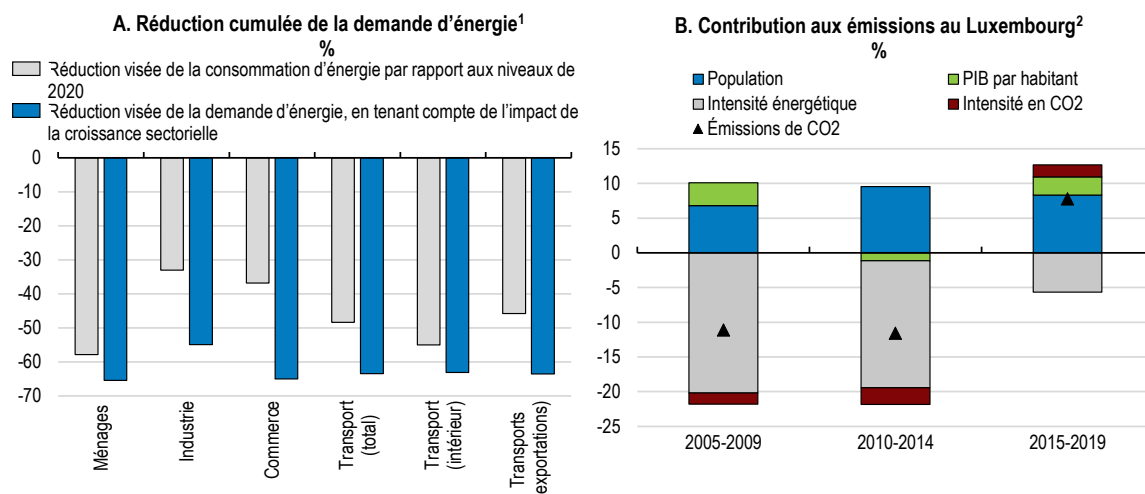
Note : Chaque barre représente la réduction moyenne annuelle de la consommation d'énergie au cours de la période de cinq ans considérée dans un secteur donné.

Source : PNEC du Luxembourg ; calculs de l'OCDE.

StatLink <https://stat.link/r25zuo>

La poursuite de ces objectifs élargis a lieu dans un contexte de croissance démographique et économique, ce qui veut dire que chaque secteur devra réaliser des économies encore plus importantes (Graphique 2.10, partie A). C'est parce que le Luxembourg n'a pas réussi à maintenir ses gains d'efficacité énergétique alors que sa croissance était en hausse que ses émissions ont augmenté entre 2015 et 2019 (Graphique 2.10, partie B).

Graphique 2.10. La croissance augmente à la fois les ressources disponibles pour la transition et les baisses d'émissions requises



1. La consommation des ménages augmente avec la croissance démographique (1.0 % d'après les prévisions STATEC), tandis que le secteur manufacturier et le secteur du commerce se situent à leur niveau moyen sur longue période de respectivement 2 % et 3 %. Cette hypothèse est globalement cohérente avec une croissance de 2.75 %. La croissance du secteur national des transports devrait suivre celle de la population, et les exportations de combustibles sont à 2 % pour le fret en Europe occidentale, selon les hypothèses du FMI (2021).

2. TES = approvisionnements totaux en énergie. Les émissions sont désagrégées entre la contribution de la croissance démographique, la croissance du PIB par habitant, l'intensité énergétique (énergie par unité de PIB) et l'intensité d'émissions de l'énergie (émissions par unité d'énergie), autrement dit émissions totales = population x (PIB / population) x (consommation totale d'énergie / PIB) x (émissions totales / consommation totale d'énergie). Le PIB est exprimé en PPA. La somme des composantes (positives et négatives) est approximativement égale à la variation des émissions de CO₂.

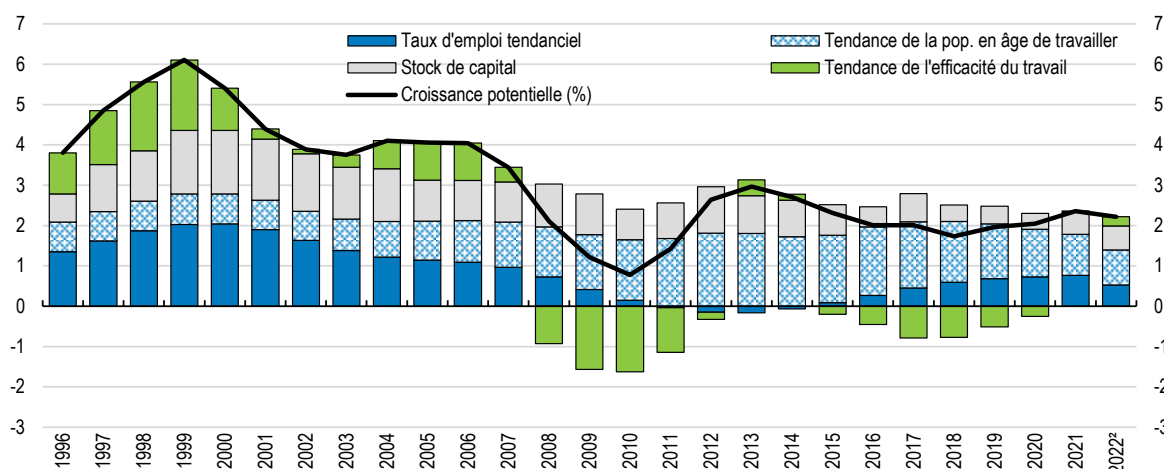
Source : calculs de l'OCDE d'après le PNEC du Luxembourg, AIE, OCDE.

StatLink <https://stat.link/i2jvvg>

En faisant le choix d'autres modes de croissance, le Luxembourg peut accroître ses chances d'y parvenir en faisant ainsi moins de compromis entre ses objectifs de croissance et ses objectifs environnementaux. Dans le passé, la croissance a largement reposé sur la part représentée par l'expansion de la main-d'œuvre plutôt que sur la croissance de l'investissement (Graphique 2.11), une proportion importante de cette main-d'œuvre venant des pays voisins. Le chapitre 1 fait ressortir les réformes visant à accroître la part, jusque-là relativement faible, de l'investissement et la productivité dans la croissance. Favoriser en parallèle une accélération de la croissance de la productivité et une gestion durable des ressources permettra de réduire au minimum les déchets et les tensions exercées sur les ressources, et de garantir que les entreprises luxembourgeoises sont bien placées pour tirer parti de nouveaux marchés. En s'attaquant aux facteurs structurels à l'origine d'une forte dépendance automobile et d'une faible densité des logements, le Luxembourg peut aller encore plus vite sur la voie de la réduction des émissions.


Graphique 2.11. La croissance s'est beaucoup appuyée sur la main-d'œuvre

Contributions en point de % à la croissance potentielle



Note : Les données pour 2022 sont des projections.

Source : Base de données des Perspectives économiques de l'OCDE^{n° 111} et mises à jour.

StatLink  <https://stat.link/d2rv89>

Par ailleurs, l'augmentation de la part des seniors dans l'emploi pourrait contribuer à atténuer les tensions de ressources dans l'économie, tout répondant au besoin d'expansion de la main-d'œuvre. Le Luxembourg pourrait compter 45 000 travailleurs de plus d'ici 2060 si le taux d'activité des seniors y rejoint la moyenne projetée pour l'Union européenne. Il pourrait ainsi également faire face en grande partie aux expansions de la main-d'œuvre projetées dans différents scénarios (Tableau 2.1).

Tableau 2.1. L'allongement de la vie active pourrait réduire les demandes d'emploi

Scénarios de croissance	Hypothèse d'expansion de la main-d'œuvre de 2030 à 2060 ¹	Part de la hausse projetée de l'emploi qu'une augmentation de la population âgée active pourrait satisfaire ²	
		En rejoignant les taux d'activité projetés des seniors dans l'UE ³	En rejoignant les taux d'activité majorés des seniors dans l'UE ⁴
3 % de croissance	223	21 %	32 %
1.5 % de croissance	167	28 %	42 %

Note : 1. Sur la base des projections présentées au tableau 4 dans in (Haas et Peltier, 2017^[8]), dans l'hypothèse d'un pourcentage de 50 % de travailleurs transfrontaliers en 2030. 2. La population âgée active désigne les travailleurs de 54 à 74 ans. Hausse de la population âgée activée calculée à partir de la croissance estimée de la population et des taux d'activité du Luxembourg figurant dans le rapport sur le vieillissement (*Ageing Report*) (Commission européenne, 2021^[9]). L'ampleur de la hausse de la population active est calculée par rapport à l'ampleur projetée de la population âgée active. 3. La hausse du taux d'activité est fondée sur le scénario central retenu pour la moyenne de l'UE sur la durée. 4. La hausse du taux d'activité est fondée sur la moyenne de l'UE majorée de 10 points de pourcentage, conformément au scénario présenté par la Commission européenne.

Source : Calculs de l'OCDE ; (Haas et Peltier, 2017^[8]) et (Commission européenne, 2021^[9]).

La transition verte peut notablement améliorer le bien-être de la population mais elle ne sera pas dénuée de risques. Gérer les récentes hausses marquées des prix du carbone et accélérer en même temps la décarbonation bien au-delà du rythme actuel pourraient présenter des risques pour la croissance économique, les emplois et le coût de la vie des ménages.

Ces risques sont évalués dans la section suivante, ainsi que les risques physiques possibles du changement climatique. Sur cette base, la dernière section formule des recommandations concernant la façon d'améliorer au mieux la capacité de la panoplie d'instruments existante à favoriser la réalisation des objectifs, notamment dans les secteurs où les enjeux écologiques sont les plus grands (transports, logements et agriculture).

La transition nécessite une gestion attentive et une forte résilience

Le changement climatique a des effets de toutes sortes. Le risque de retards persistants dans les engagements et la mise en œuvre de l'action publique imposent aux décideurs publics d'évaluer en permanence un certain nombre de risques qui pourraient toucher les moyens de subsistance et l'économie :

- les risques physiques liés au changement climatique, y compris le coût de catastrophes plus nombreuses se produisant à une fréquence accrue et encore imprévisible ;
- les risques de transition auxquels font face les entreprises et les ménages, qui doivent supporter des coûts plus élevés à court terme pour se départir de leurs comportements actuels à forte intensité de carbone ;
- les risques associés que le changement climatique fait peser sur le secteur financier, exposé au fait que ses clients doivent s'adapter à une augmentation des catastrophes physiques et assumer les coûts de la transition (NGFS, 2020^[10]) ; (NGFS, 2021^[11]).

La façon dont ces risques se manifestent aura des répercussions importantes sur la conception des politiques et le degré de soutien que celles-ci reçoivent de la population. Une transition résiliente implique que les ménages, les collectivités et les nations soient en mesure de résister aux aléas issus de la transition, de les absorber, de les surmonter et de s'y adapter (GIEC, 2018^[12]) ; (Dornelles et al., 2020^[13]). Il est indispensable de suivre et d'évaluer en permanence ces risques et leurs interactions pour s'assurer que la transition verte continue d'être soutenue et se révèle un succès dans le contexte de la crise énergétique actuelle qui frappe l'économie et à long terme.

Les changements physiques liés au climat peuvent présenter des risques pour les infrastructures publiques et privées

Au Luxembourg, les risques physiques liés au changement climatique devraient être relativement modérés en moyenne. Il est prévu que l'évolution des conditions météorologiques y soit assez limitée par rapport à d'autres pays. Les températures devraient y augmenter pour passer d'une moyenne de 8.1 °C entre 1961 et 1990 à 9.2 °C entre 2021 et 2050. Cette hausse sera principalement la conséquence d'hivers plus doux. Les précipitations annuelles devraient se maintenir au même niveau, mais les étés devraient être plus secs et les hivers plus humides.

En dépit de tous ces effets relativement modérés, les périodes de sécheresse et de baisse des niveaux d'eau seront plus probables, puisqu'il y a moins de chutes de neige et que les réservoirs tampons sont moins remplis quand les hivers sont plus chauds, tandis qu'inondations et tempêtes plus violentes accentueront les problèmes d'érosion des sols (Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, 2018^[14]). Il pourrait aussi y avoir davantage de risques de sécheresse grave pour les terres cultivées (Maes et al., 2022^[15]). Même ces effets relativement modérés du changement climatique pourraient avoir un impact démesuré sur un écosystème déjà fragile (Tableau 2.2). De 2017 à 2021, le Luxembourg a été exposé cinq jours de plus par an que de 1981 à 2010 à des conditions de fort stress thermique ou pire (Maes et al., 2022^[15]).

Tableau 2.2. Principaux risques liés aux manifestations physiques du changement climatique

Impacts physiques	Impacts écologiques essentiels
Températures plus élevées	Besoins accrus de refroidissement en été
	Chaleur accrue dans les îlots de chaleur
	Augmentation des pathogènes et des maladies
	Augmentation des nuisibles et de la déforestation
	Risques sanitaires accrus
Incidence accrue des inondations	Pression accrue sur le réseau d'assainissement
Augmentation des épisodes de sécheresse et des baisses importantes des niveaux d'eau	Augmentation des pénuries d'eau
Impacts combinés	Augmentation de la pression superficielle et de l'érosion des sols

Source : OCDE, d'après une sélection de mesures mises en avant par le (Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, 2018^[14]).

La fréquence accrue des phénomènes météorologiques, notamment les inondations, risque d'accroître les sinistres associés. Selon les prévisions, la probabilité d'inondation extrême (événement centennal) dans le pays sera multipliée par près de 2.5 entre 2021 et 2050 par rapport à la période 1970-2005 (Alfieri et al., 2015^[16]) ; (Karagiannis et al., 2019^[17]). Cela placera le Luxembourg au niveau de la moyenne européenne en matière de risque d'inondation extrême. Même si la probabilité de survenue d'un tel événement reste faible, le préjudice économique associé peut être considérablement plus élevé, en proportion, que lors de variations habituelles des conditions météorologiques, car les structures de protection peuvent être submergées et les dommages plus importants (Karagiannis et al., 2019^[17]). À ce jour, les sinistres dus aux événements météorologiques demeurent plutôt limités – Munich Re les a évaluées à 797 millions USD pour la période comprise entre 1980 et 2018, les tempêtes en ayant été la cause la plus fréquente – soit environ la moitié de la moyenne européenne en pourcentage du PIB (AEAPP, 2021^[18]).

La plupart des modèles climatiques supposent une progression graduelle ou linéaire des risques et des coûts associés au changement climatique. Or, un ensemble croissant d'éléments factuels montrent que le franchissement de certains seuils de température pourrait provoquer des effets non linéaires et nous amener à des points de basculement au-delà desquels le climat ne peut pas se rétablir si des mesures correctives ne sont pas prises suffisamment tôt (Klose et al., 2020^[19]) ; (Ritchie et al., 2021^[20]), (Sims et Finnoff, 2016^[21]) ; (Fan et al., 2021^[22]). La probabilité de survenue d'événements extrêmes pourrait ainsi

augmenter encore davantage si la coordination mondiale des politiques climatiques venait à échouer, ce qui engendrerait des coûts économiques non linéaires (GIEC, 2022^[1]).

Les risques liés à la transition devraient être gérables pour les entreprises et les ménages

La décarbonation de l'économie, de par sa nature et sa vitesse, aura des conséquences économiques, financières et politiques. Relever les investissements devrait aider à améliorer l'efficacité énergétique et réduire les coûts d'exploitation. La transition engendrera néanmoins des coûts, qu'il s'agisse non seulement du financement de projets en amont mais aussi de la mise hors service anticipée de certains actifs et de l'obsolescence d'autres actifs, par exemple lorsque les entreprises se tourneront vers des combustibles de substitution. À mesure que des entreprises et des secteurs céderont la place à d'autres, les sources de croissance de l'emploi se déplaceront, tout comme les compétences attendues de la main-d'œuvre.

La répartition des coûts et des avantages de la transition variera selon les ménages et les entreprises, en fonction de leur capacité à absorber ces chocs et de la disponibilité et du coût des nouvelles technologies. La vitesse du changement sera une variable essentielle de la durabilité et du soutien continu à la transition verte. Le rythme et l'ampleur des récentes flambées des prix de l'énergie dues à la guerre en Ukraine pourraient éventuellement amplifier les risques liés à la transition et sont donc des facteurs à suivre de près.

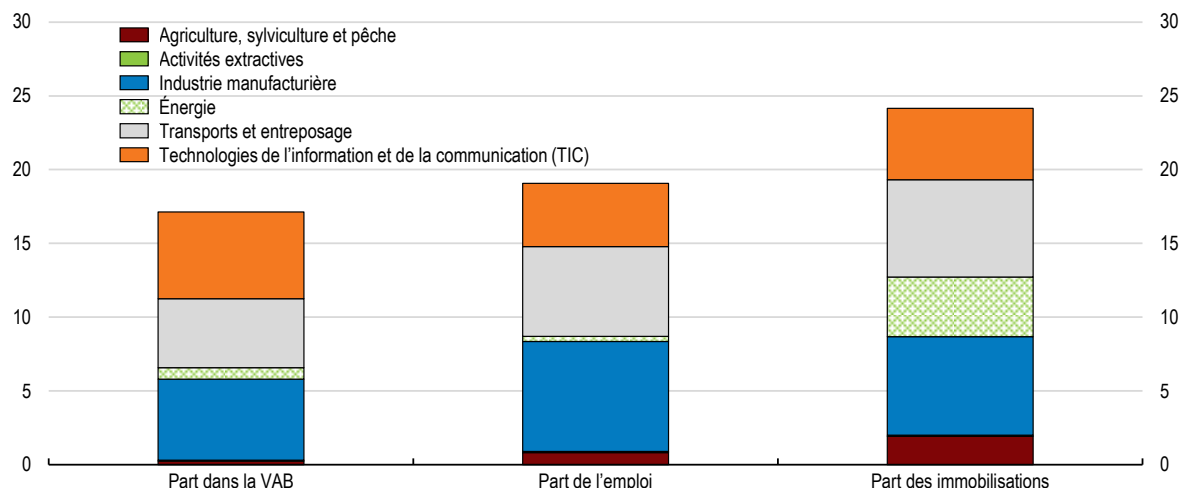
Les risques liés à la transition qui visent les entreprises sont concentrés dans les transports et le secteur manufacturier

Les risques liés à la transition donnent une idée de l'ampleur et des coûts possibles des perturbations auxquels le pays doit faire face pour verdir son économie. Leur nature peut dépendre des transformations technologiques et de la façon dont évolue la confiance des consommateurs, ainsi que des choix des pouvoirs publics et de la résilience et la productivité des entreprises (BRI, 2021^[23]) ; (GIEC, 2020^[24]).

La proportion d'entreprises directement exposées à des risques élevés liés à la transition du fait du changement climatique devrait être limitée. Le fait que le secteur des services soit, depuis les années 80, une source de croissance prioritaire a protégé l'économie en réduisant la part des activités à forte intensité de carbone – donc les chocs qu'elles peuvent provoquer. Les secteurs évalués au moyen du test de résistance au risque climatique de la BCE comme étant exposés à des risques élevés liés à la transition (Alogoskoufis et al., 2021^[25]) atteignent 17 % du PIB au Luxembourg. À titre de comparaison, ils représentent 31 % du PIB de la zone euro. Néanmoins, ils représentent juste un peu moins de 20 % de l'emploi total et 25 % des actifs fixes totaux au Luxembourg (Graphique 2.12).

Graphique 2.12. La structure de son économie protège le Luxembourg des risques les plus importants liés à la transition verte, mais pas de tous

Importance des secteurs confrontés à des risques liés à la transition moyens à élevés, en %



Source : Calculs de l'OCDE d'après la base de données des comptes nationaux de l'OCDE ; et (Alogoskoufis et al., 2021^[25]).

StatLink  <https://stat.link/vgkjkf>

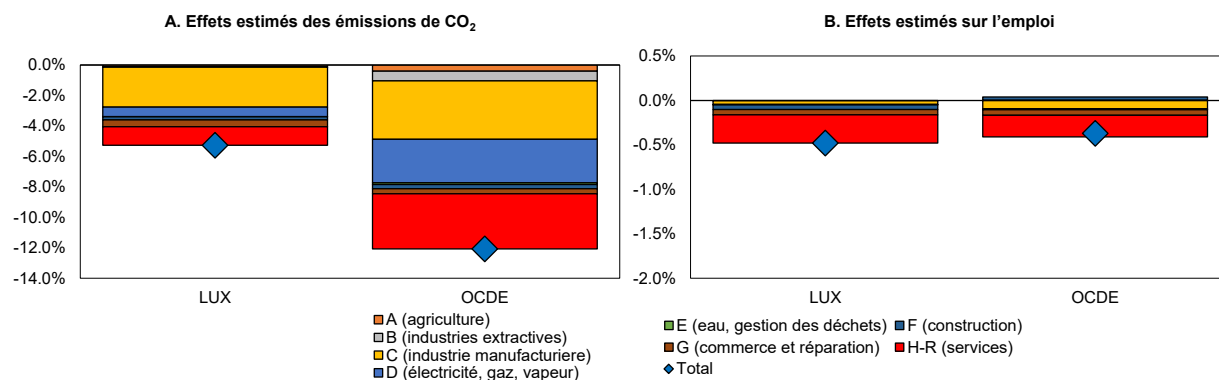
S'agissant des entreprises, elles pourront supporter des coûts plus élevés dont le niveau dépendra de l'importance du carbone dans leur cycle de production, de la demande de produits décarbonés et de leur capacité à répercuter les hausses de prix sur les consommateurs (Encadré 2.3). L'équilibre de l'ensemble des risques dépend de la manière dont la transition affecte les entreprises déjà en activité, mais aussi de la capacité du système économique à favoriser la création de nouvelles entreprises. Un environnement réglementaire propice permettra à de nouvelles entreprises très productives et utilisant peu de ressources de voir le jour et de se développer. Elles emploieront les travailleurs et les ressources qu'aura libérés la sortie du marché de leurs concurrents à forte intensité de ressources et déficitaires. Le chapitre 1 a mis en avant les réformes qui permettraient de favoriser cette dynamique.

Les estimations de l'OCDE donnent à penser que des mesures de politique environnementale plus contraignantes auront probablement un impact limité sur le PIB et l'emploi au Luxembourg. L'indicateur de l'OCDE sur la rigueur des politiques environnementales (RPE), élaboré par (Botta et Kožluk, 2014^[26]), a récemment été révisé et mis à jour jusqu'à 2020. Il couvre 40 pays et 13 instruments d'action, et s'intéresse principalement aux politiques relatives au changement climatique et à la pollution atmosphérique (Kruse et al., 2022^[27]). (Frohm et al.^[28]) utilise ce riche ensemble de données et un panel de 30 pays de l'OCDE et 54 secteurs d'activité sur la période 2000-14 pour prévoir l'impact potentiel d'une rigueur environnementale accrue. Les résultats préliminaires donnent à penser qu'une augmentation de la rigueur des politiques environnementales est associée à une réduction significative des émissions de CO₂ au bout de 10 ans, avec des effets agrégés négligeables sur l'emploi ou l'activité (Frohm et al.^[28]). Même si ces effets agrégés et les effets sectoriels sont nécessairement fonction des conditions d'élaboration des politiques climatiques, ces résultats sont largement en accord avec les conclusions internationales relatives aux risques de fuite de carbone (Encadré 2.3).

En agrégeant les effets sectoriels prévus au Luxembourg, on constate qu'une augmentation d'un point de l'indice de rigueur des politiques environnementales est associée à une baisse statistiquement significative de 5 % des émissions de CO₂ au bout de 10 ans (Graphique 2.13, partie A). Cet effet est inférieur à celui de la moyenne de l'OCDE : en effet, la part de l'électricité produite sur le territoire est moindre au Luxembourg que dans le groupe agrégé des pays de l'OCDE, d'où une moindre proportion de combustibles fossiles dans la consommation totale d'énergie.

D'après les estimations, la plupart des secteurs réduiraient leurs émissions de CO₂ avec, largement en tête, le secteur manufacturier, en particulier celui des produits non métalliques comme le verre. Les sous-secteurs du transport et de l'entreposage enregistreraient au bout de 10 ans certaines des plus importantes baisses cumulées des émissions de CO₂, qui pourraient atteindre 20 %. En retour, ils seraient la première cause du recul de l'emploi même si, au niveau agrégé, celui-ci se contracterait de seulement 0.5 % au total au cours de la décennie (Graphique 2.13, partie B). Le fait que l'effet agrégé soit limité n'empêche pas que les politiques publiques doivent soutenir la reconversion des travailleurs concernés et leur réintégration dans des entreprises et secteurs moins émetteurs.


Graphique 2.13. Augmenter la rigueur des politiques environnementales peut réduire les émissions de CO₂



Note : Les effets sont calculés à partir d'estimations ponctuelles d'une régression sur données de panel à effets fixes du logarithme des émissions de CO₂ sur l'indicateur RPE21 actuel et ses valeurs décalées jusqu'à 10 ans, les interactions de l'indicateur RPE21 avec les parts nationales sectorielles des combustibles fossiles dans la consommation totale d'énergie, et d'autres variables de contrôle. Ces variables de contrôle sont : (exprimées sous forme logarithmique) la production brute réelle sectorielle et le PIB réel national (valeurs actuelles et valeurs décalées), la productivité du travail par heure travaillée, le stock de capital et la rémunération réelle du travail ; ainsi qu'une tendance temporelle linéaire par pays et par secteur et les effets fixes pays-secteur et année. On décompose l'effet pays agrégé en effets sectoriels en utilisant le poids de chaque secteur dans les émissions de CO₂/l'emploi total dans le pays correspondant pendant la dernière année pour laquelle on dispose de données (2014). La classification des secteurs d'activité suit la CITI Rév. 4. Les combustibles fossiles sont le charbon, le coke et le pétrole brut, le mazout, l'essence, le gazole, le gaz naturel, d'autres gaz et d'autres types d'essence.

Ces résultats sont préliminaires et pourraient encore changer, avant la publication finale, si des commentaires doivent être intégrés. Ils ont une valeur indicative et sont fondés sur les performances passées. Les impacts ultimes sur les émissions, l'activité et l'emploi dans chaque secteur dépendront fortement des conditions d'élaboration des politiques.

Source : (Frohm et al.^[28]).

StatLink  <https://stat.link/2l7cxs>

Encadré 2.3. Fuites de carbone et risques liés à la transition : données factuelles internationales

Des fuites de carbone surviennent lorsque les politiques de décarbonation d'un pays influent sur les émissions d'autres pays. Dès lors que les producteurs et les consommateurs se tournent vers des solutions moins chères, synonymes d'émissions importées, les baisses d'émissions enregistrées localement sont neutralisées par une hausse des niveaux mondiaux. Cela se répercute négativement sur les producteurs intérieurs, qui perdent des parts de marché. Point plus positif, les technologies en provenance des économies qui appliquent des politiques de décarbonation peuvent réduire les émissions dans les pays dépourvus de telles réglementations. Mais si un pays est suffisamment grand pour avoir un impact sur les marchés mondiaux, il peut agir sur la demande d'énergie en réduisant les prix et en poussant à la consommation.

On dispose de relativement peu d'éléments probants sur la neutralisation des baisses locales par les émissions importées, avec un nombre limité d'entreprises ayant perdu des parts de marché à cause des prix du carbone. Des études empiriques de données internationales ont systématiquement mis en évidence des impacts d'une amplitude égale au dixième environ de celle estimée par les modèles économiques prospectifs. Cet écart pourrait être en partie dû au fait que ces impacts ont été amortis par les mesures d'atténuation prises par le passé – en particulier, puisque de nombreuses études consacrées aux fuites de carbone se concentrent sur le système européen d'échange de quotas d'émission. De plus, les estimations des modèles prennent rarement en compte les frictions telles que les coûts de transport, qui peuvent rendre plus difficile le remplacement de la production intérieure par une production étrangère. Les estimations basses pourraient témoigner du fait que les réformes qui ont été appliquées en premier sont les plus simples et les moins coûteuses.

Il existe peu de données montrant que les entreprises se désengagent des zones où le prix du carbone est élevé, mais des éléments probants relatifs aux multinationales indiquent que les nouveaux investissements sont plus susceptibles d'avoir lieu là où le prix du carbone est plus faible. L'impact final sur les émissions mondiales est atténué par le fait que les entreprises tendent à transposer les technologies des régions où le prix du carbone est élevé vers les pays et territoires où le prix du carbone est faible, lorsqu'elles y investissent.

Dans le cas spécifique du Luxembourg, (Misch et Wingender, 2021^[29]) observent un risque relativement élevé de fuites de carbone du fait des prix du carbone plus élevés, en se fondant sur une estimation internationale de la sensibilité au prix du carbone pondérée par la part des exportations et des importations. Le Luxembourg, comme la plupart des économies de petite taille, est mécaniquement exposé à un risque plus élevé de fuites de carbone du fait de la proportion importante de ses exportations et de ses importations.

Source: (Albrizio, Kozluk et Zipperer, 2017^[30]) ; (Dechezleprêtre et al., 2019^[31]) ; (Delera, 2021^[32]) ; (Dussaux, Vona et Dechezleprêtre, 2020^[33]) ; (Misch et Wingender, 2021^[29]).

Les pouvoirs publics doivent veiller à ce que les ménages les plus vulnérables ne subissent pas les risques liés à la transition les plus lourds

S'agissant des ménages, leur résilience dépendra de manière cruciale de leur possibilité de financer d'autres modes de consommation, en particulier pour les transports, et d'investir dans l'efficacité énergétique de leur logement. Leur vulnérabilité en termes de revenu sera largement déterminée par la capacité des travailleurs à se reconvertir vers les nouveaux emplois les plus demandés (OCDE, 2021^[34]). Les réformes examinées au chapitre 1 qui visent à améliorer les politiques actives du marché du travail constitueront un outil important au service de la résilience climatique.

La transition pourrait peser très négativement sur les ménages à faible revenu (OCDE, 2021^[34]). Elle expose les ménages à des risques parce qu'elle influe sur leur revenu et notamment les revenus tirés de

l'emploi (D'Arcangelo et al., 2022^[35]). Les travailleurs peu qualifiés ayant perdu leur emploi sont plus susceptibles de pâtir durablement d'effets de stigmatisation, car ils se heurtent à des obstacles plus importants au recyclage, à la montée en compétences et à la mobilité géographique (OCDE, 2021^[34]) ; (Phylipsen, Anger-Kraavi et Mukonza, 2020^[36]) ; (Zachmann, Fredriksson et Claeys, 2018^[37]). Il est également plus probable qu'ils soient confrontés à une baisse de la demande d'emploi, indépendamment de la transition verte (chapitre 1).

Les autorités devraient élaborer une stratégie claire de gestion des risques que la transition pourrait faire peser sur l'emploi, qui permette de gérer à la fois les suppressions de postes et les besoins de main-d'œuvre accrus dans certains secteurs. Les emplois qui semblent les plus menacés par la transition se trouvent essentiellement dans les secteurs des transports et de l'industrie (Graphique 2.13 et Encadré 2.4). La transition entraînera par ailleurs une hausse de l'emploi dans le secteur de la construction et, dans une moindre mesure, dans les secteurs des services financiers et des services aux entreprises (Encadré 2.4). Cette hypothèse concorde avec les estimations du secteur de la construction, selon lesquelles plus de 10 000 travailleurs seront nécessaires pour répondre à la demande de nouvelles constructions et de rénovations (Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, 2020^[6]). Les résultats de tels exercices, ainsi que les analyses de scénarios menées par les banques, devraient orienter la stratégie en matière de compétences. L'établissement d'un lien clair entre la transition verte et les études sectorielles des tendances en matière de métiers et de compétences publiées par l'ADEM permettrait d'aider les travailleurs dont l'emploi est le plus menacé par le changement climatique et de réduire au minimum les risques d'insuffisance de l'offre de main-d'œuvre pendant la transition (ADEM, 2021^[38]), (ADEM, 2021^[39]). Le chapitre 1 met en lumière les mesures visant à accroître le taux d'activité de la population ainsi que l'offre de compétences via la formation et les migrations.

La transition vers la neutralité des émissions élèvera le coût de la vie à mesure que les prix augmenteront pour refléter les externalités de l'utilisation du carbone (D'Arcangelo et al., 2022^[40]). L'ampleur de l'impact dépendra de la part des dépenses consacrées aux activités à forte intensité de carbone, de la facilité avec laquelle les différents groupes de consommateurs peuvent modifier leurs profils de consommation et de la façon dont sont élaborés les politiques (Reguant, 2019^[41]) ; (Zachmann, Fredriksson et Claeys, 2018^[37]). Si, au Luxembourg, la part des coûts de l'énergie ou des transports dans le panier de consommation est sensiblement la même pour les ménages à faible revenu et pour les ménages à haut revenu, les premiers pourraient être touchés de manière disproportionnée par l'augmentation du coût de la vie puisqu'il leur est moins possible de se tourner vers d'autres types de consommation pour contrer l'envolée des prix. Ils sont confrontés au dilemme de devoir payer plus ou de consommer moins. Le système en vigueur d'indexation des salaires protège les travailleurs de l'augmentation du coût de la vie – mais pourrait avantager les ménages aisés et avoir aussi d'autres conséquences sur les tensions causées par les coûts dans l'économie (chapitre 1). De ce fait, il pourrait être indispensable, pour gérer l'impact social de la transition, de prendre des mesures ciblées qui aideraient les catégories de population vulnérables. Les mesures prises ces derniers temps en réponse à la crise énergétique pourraient livrer des informations utiles sur l'impact de la flambée des prix sur le bien-être des ménages ainsi que sur les comportements en matière d'efficacité énergétique. Ces informations pourraient servir à repenser le régime de subventions et les mesures d'aide.

Beaucoup de ménages à faible revenu ont tendance à vivre en dehors des centres urbains pour des raisons d'accessibilité financière. Ils peuvent avoir moins facilement accès à des services de transport public et davantage compter sur leur voiture. Dans ce cas, malgré la hausse des prix de l'essence, ils pourraient avoir des difficultés à modifier leur mode de consommation, s'ils n'ont qu'un accès limité à des lignes de transport public bien desservies et s'ils n'ont pas les moyens de financer un véhicule électrique ou de déménager dans une zone plus dense et plus urbaine. De même, les ménages moins aisés qui sont locataires sont rarement en mesure d'entreprendre les investissements dans l'efficacité énergétique qui leur permettraient d'abaisser leur consommation et les coûts de l'énergie associés (OCDE, 2021^[34]). Les bailleurs qui doivent effectuer ces investissements ne sont guère incités à augmenter l'efficacité

énergétique, et les efforts visant à élever les coûts pour les bailleurs pourraient simplement accentuer la hausse des loyers.

Ces vulnérabilités possibles donnent à penser qu'il est nécessaire d'analyser plus précisément l'impact de la transition en fonction des différentes tranches de revenu des ménages et de procéder, le cas échéant, à des ajustements du cadre d'action (OCDE, 2021^[34]). S'il existe d'importantes divergences entre les catégories de revenu, la transition pourrait renforcer la récente tendance au creusement des inégalités observée au Luxembourg. En effet, le revenu par habitant du pays est plus de deux fois et demie supérieur à celui de l'OCDE depuis trente ans, mais la polarisation sociale s'accroît plus rapidement que dans la plupart des pays de l'OCDE. Les parts des catégories de revenu supérieure et inférieure dans la population augmentent en proportions sensiblement égales. Au cours de la même période, la part des plus riches dans le revenu total a progressé plus vite que leur part dans la population, ce qui a aggravé les inégalités (OCDE, 2019^[42]). L'augmentation de la part des personnes à faible revenu est particulièrement préoccupante puisqu'il est très probable que ces personnes demeurent dans cette catégorie de revenu. Cela pourrait être dû en partie à des facteurs socioéconomiques tels que le niveau d'instruction et l'expérience. Il est inquiétant de noter que les enfants de parents à faible revenu sont susceptibles de rester dans cette catégorie de revenu, et le sont d'ailleurs bien davantage que dans d'autres pays de l'OCDE (OCDE, 2020^[43]). Associée à l'augmentation du nombre d'enfants dans les familles à faible revenu, cette tendance pourrait installer plus durablement encore la pauvreté et la polarisation (OCDE, 2019^[42]).

Encadré 2.4. Modéliser l'impact de la transition climatique au Luxembourg

Le modèle en accès libre d'équilibre général calculable (EGC) ThreeME a été calibré pour le Luxembourg en vue d'examiner la façon dont l'économie réagit aux variations des prix du carbone. Il a été utilisé par les décideurs publics en France, aux Pays-Bas et au Royaume-Uni. Ses résultats visent à nourrir le débat national sur l'action publique, notamment s'agissant de l'impact possible d'une tarification du carbone tournée vers l'avenir. Cet exercice de modélisation est l'un des modèles qui est pris en compte pour appréhender dans sa totalité l'impact économique de la politique climatique sur les revenus, le bien-être et les inégalités.

Principaux impacts économiques d'une hausse du prix du carbone

Les résultats préliminaires de la modélisation montrent qu'un prix du carbone qui augmente régulièrement de 10 EUR par an peut aider à parvenir à une baisse de 50 % des émissions d'ici 2050 par rapport à un scénario du statu quo.

Les impacts économiques de la taxe carbone s'avèrent modérément positifs. Même si la taxe carbone augmente les coûts pour les entreprises et les ménages, le recyclage des recettes fiscales tirées des exportations de carburants en faveur de ces agents économiques les aide à financer la hausse des investissements à réaliser pour faire face à une montée des prix du carbone. L'emploi augmente parallèlement à la croissance, sans oublier que les recettes fiscales sont redistribuées aux entreprises employant le plus de main-d'œuvre. Les exportations diminuent, principalement en raison de la baisse des exportations de carburants, alors que les importations reculent du fait de la réduction des importations de combustibles fossiles.

Cet impact positif s'explique par diverses raisons :

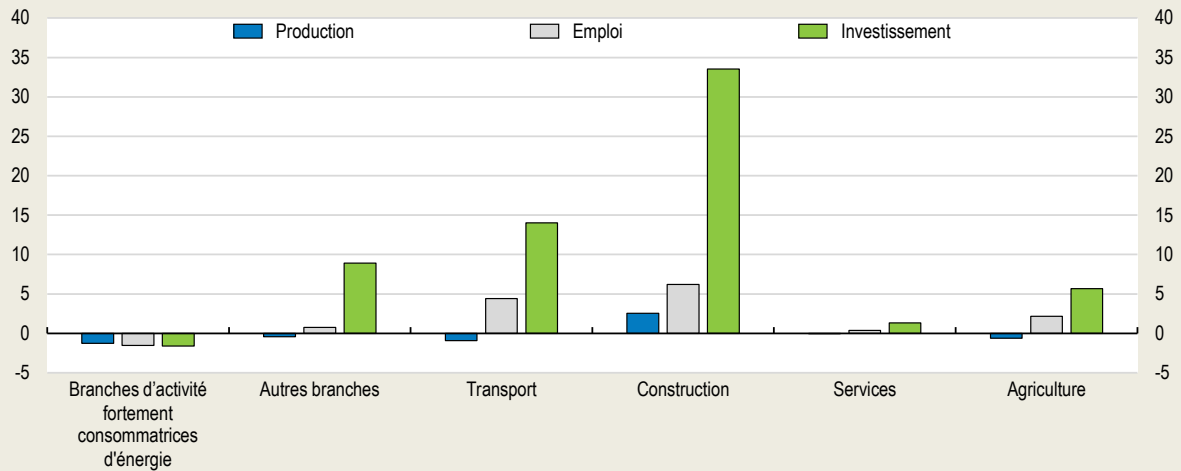
- **L'hypothèse de la redistribution des recettes tirées de la taxe carbone.** Si elles sont positives, ces recettes fiscales sont redistribuées : ménages et entreprises récupèrent ce qu'ils ont versé pour les transferts. Les recettes tirées des exportations de carburants sont respectivement redistribuées à hauteur d'un tiers aux ménages, un tiers aux entreprises et un tiers à l'État. Les entreprises employant le plus de travailleurs reçoivent la part la plus importantes des recettes distribuées aux entreprises.
- **Les recettes de la taxe carbone tirées des exportations de carburants.** Si elles sont positives et redistribuées aux ménages et aux entreprises, les recettes liées à taxe carbone tirées des exportations de carburant contribuent à compenser l'impact de la hausse des prix du carbone sur ces agents économiques. En l'absence de ces recettes supplémentaires, le modèle tend à montrer que le relèvement de la taxe carbone à un léger impact négatif.
- **La structure économique du Luxembourg.** La part de l'emploi et de l'activité dans les secteurs des services est élevée. Le secteur luxembourgeois de l'électricité est de petite taille et ne nécessite pas de transformation.
- **Le cadre de modélisation.** Le modèle est celui d'une économie de marché qui s'adapte avec souplesse aux chocs tels que la hausse des prix du carbone. S'il prévoit les coûts que les entreprises et les ménages doivent supporter pour augmenter leurs investissements, il ne donne aucune estimation des pertes de revenus associées aux actifs échoués. Il ne rend pas non plus compte des bienfaits potentiels pour le bien-être et la santé.

Il est attendu que le secteur manufacturier réduise sa production à mesure que les prix du carbone augmentent, sous l'effet du recul de 2 % de la production des industries énergivores par rapport au scénario de référence (Graphique 2.14). Le secteur des transports est exposé à des risques élevés liés à la transition, l'augmentation du trafic ferroviaire ne suffisant pas à compenser le recul des secteurs routier et aérien. En revanche, le secteur de la construction connaît une expansion plus rapide, car la transition verte tire à la hausse la demande de travaux de rénovation et de nouvelles constructions. L'activité du secteur des services augmente à moyen terme avant de se stabiliser, dans la mesure où il bénéficie de la redistribution des recettes issues de la taxe carbone qui lui permettent de conserver sa compétitivité, sans oublier le rôle qu'il joue dans l'offre d'investissements destinés à la transition verte.


Les profils sectoriels de l'activité se retrouvent dans l'évolution de l'emploi : dans l'ensemble, la croissance de l'emploi devrait être supérieure d'environ 1 % à la valeur de référence. La vitesse à laquelle le secteur de la construction crée des emplois explique l'essentiel de la hausse de la demande (Graphique 2.15). Des pénuries de main d'œuvre dans les secteurs de la construction et des services réduiraient leur effet d'amortissement de la transition verte. L'investissement global croît de 3.6 % par rapport à la valeur de référence (Graphique 2.16). Cette hausse est due pour la moitié environ au secteur de la construction où elle est aussi la plus rapide. Les investissements dans les machines et équipements sont également en forte croissance, mais leur part dans le total de l'investissement étant relativement modeste, leur contribution à la croissance total de l'investissement l'est aussi.

Graphique 2.14. Les évolutions sectorielles de la production, de l'emploi et de l'investissement sont variables

Variations en % par rapport au scénario de référence

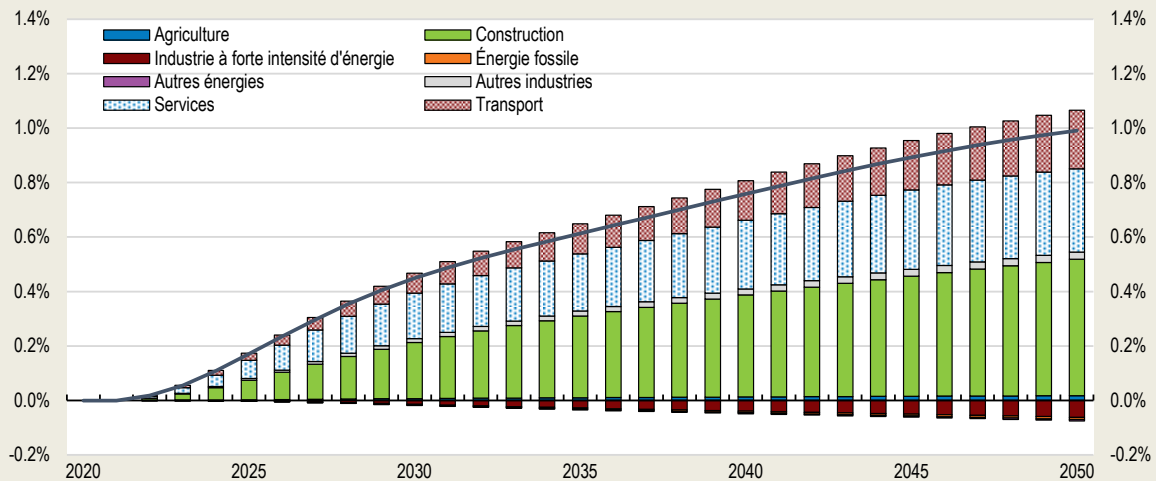


Source : Calculs de l'OCDE effectués à l'aide du modèle ThreeME (2020).


StatLink  <https://stat.link/gqoabw>

Graphique 2.15. L'impact sur l'emploi pourrait être légèrement positif

Emploi total et contribution sectorielle (différence par rapport au scénario de base)

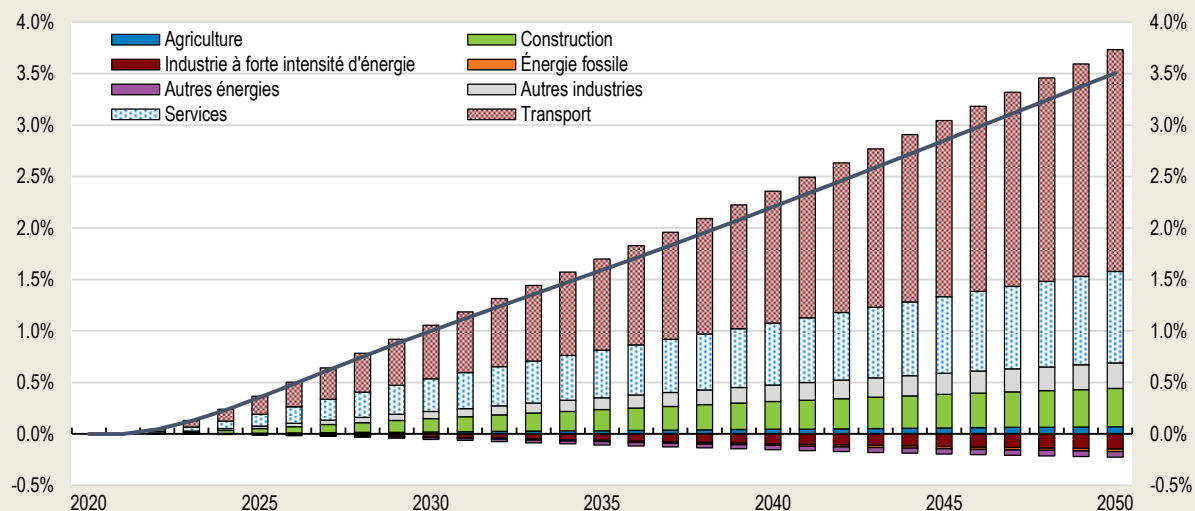


Source : Calculs de l'OCDE ; modèle ThreeME (2020).


StatLink  <https://stat.link/xj9c0k>

Graphique 2.16. L'investissement augmentera, en particulier dans les structures telles que les bâtiments et les transports

Investissement total et contribution sectorielle (différence par rapport à la base de référence)



Source : Calculs de l'OCDE ; modèle ThreeME (2020).

StatLink  <https://stat.link/gf7q6r>

Le modèle suppose que les besoins d'investissement ne sont pas limités par l'épargne intérieure et que les ménages et les entreprises qui souhaitent investir ne se heurtent pas à des contraintes de crédit, ce qui est cohérent avec le fait que le centre financier du Luxembourg est solide et bien développé. Les dépenses publiques sont déterminées de manière exogène, mais les impôts dépendent de l'activité économique. Les recettes fiscales liées à la vente de carburants ne sont pas modélisées séparément car on fait l'hypothèse que leur évolution sera neutralisée par une hausse des recettes liées à la taxe carbone.

Ces résultats sont sensibles aux hypothèses relatives à la manière dont les exportations de carburants réagissent aux prix du carbone, qui dépendent en partie des politiques des pays voisins applicables à la fiscalité du carbone et des carburants. Le modèle se fonde sur l'hypothèse que d'autres pays relèveront leur prix du carbone de 155 EUR entre 2030 et 2050. Ces hausses dans les pays voisins entraînent une augmentation des exportations de carburants et des recettes tirées du carbone – mais diminuent l'ampleur de la réduction des émissions. Les efforts déployés pour accroître la productivité et l'investissement, dont il a été question au chapitre 1, contribueraient à atténuer cet arbitrage en ayant pour effet une augmentation de la croissance et des recettes. Ils amélioreraient en outre la résilience de l'économie aux chocs potentiels du prix du carbone au Luxembourg ou dans les pays voisins. Il sera également essentiel de prendre des mesures visant à réduire l'intensité carbone du secteur des transports au Luxembourg et dans la région.

Source : Calculs de l'OCDE ; modèle ThreeME (2020).

Le secteur financier est très exposé aux risques liés à la transition

Le secteur financier dans son ensemble est confronté à des risques d'instabilité financière du fait des bouleversements économiques liés à la transition verte. Celle-ci pourrait avoir une incidence via plusieurs canaux de transmission (Tableau 2.3). La capacité des clients à rembourser les prêts, la valeur des garanties et les variations éventuelles de la valorisation des actifs sont les principaux canaux de risque que le régulateur a modélisés pour déterminer les risques pesant sur la solvabilité du secteur financier.

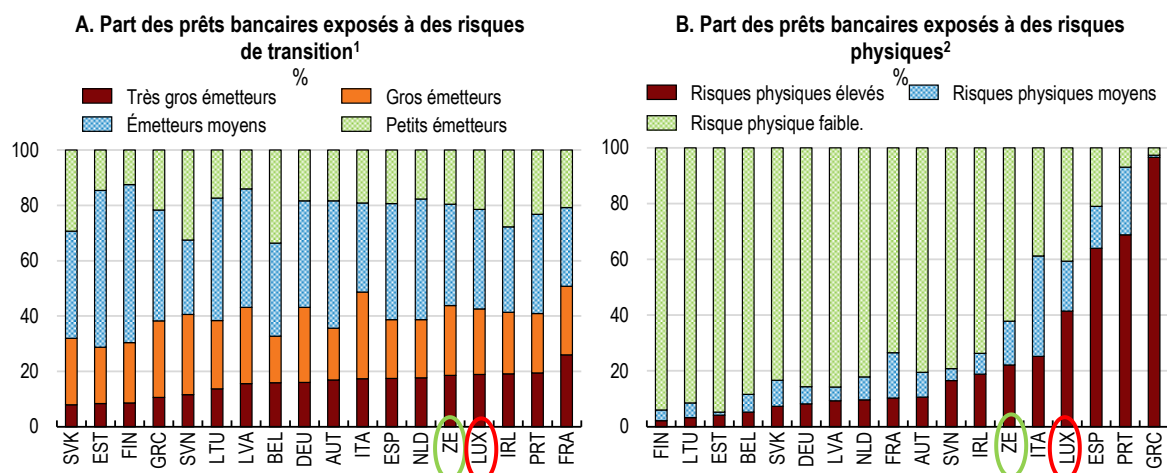
Tableau 2.3. Principales répercussions des risques physiques et des risques liés à la transition sur le secteur bancaire

Risque financier	Canal de transmission
Risque de crédit	Les risques liés à la transition (baisse de part de marché ou de rentabilité) limitent la capacité des emprunteurs à rembourser leur prêt. La valeur des garanties chute (actifs échoués, actifs dégradés), et avec elle les taux de recouvrement des prêts en souffrance.
Risque de marché	Les actifs financiers perdent de la valeur à mesure que les risques climatiques sont répercutés dans leurs prix. L'impact est d'autant plus important si l'ajustement est soudain ou si la diversification des portefeuilles est remise en question par la transition. Les actifs « bruns » pourraient être davantage corrélés, ce qui ajouterait aux pertes en cas de résultat défavorable.
Risque de liquidité	L'accès à des financements stables pourrait être remis en cause si les contreparties retirent leurs dépôts ou puisent dans leurs lignes de crédit.
Risque opérationnel	Les investisseurs et les entreprises pourraient être soumis à davantage d'obligations légales concernant la précision des renseignements à fournir en rapport avec le changement climatique. Les demandes d'indemnisation au titre de l'assurance responsabilité civile présentées dans le cadre d'actions collectives en justice ou d'autres litiges liés à la publication d'informations pourraient se multiplier. La mise en conformité avec la réglementation pourrait augmenter les coûts d'exploitation et abaisser la rentabilité.
Risques de réputation	Les difficultés à communiquer autour de la transition pourraient fragiliser la crédibilité et la valeur de marque. La stratégie climatique pourrait ne pas être en phase avec l'évolution du marché ou de la confiance des consommateurs.

Source : D'après (BRI, 2021^[23]) ; (BCE / CERS, 2021^[44]) ; (AEMF, 2021^[45]).

Le secteur bancaire du Luxembourg est exposé aux effets de la transition climatique sur son portefeuille de prêts. Un peu plus de 40 % des prêts qu'il a octroyés à des clients non financiers sont destinés à de gros ou très gros émetteurs (Alogoskoufis et al., 2021^[25]) (Graphique 2.17, partie A). Cela correspond à l'exposition moyenne dans la zone euro. Ces estimations tiennent compte des boucles de rétroaction complexes existant entre les risques liés à la transition et les risques physiques – puisqu'agir au plus tôt peut réduire les risques physiques mais augmenter les coûts à court terme et les risques liés à la transition. Les estimations préliminaires des risques physiques réalisées par (Alogoskoufis et al., 2021^[25]) prévoient des expositions relativement élevées (Graphique 2.17, partie B), mais ces conclusions pourraient changer avec l'augmentation du nombre de banques examinées et de la granularité des données.

Graphique 2.17. Le secteur financier est très exposé au changement climatique



1. Une exposition est classée dans la catégorie des (très) gros émetteurs si les émissions relatives de l'entreprise sont supérieures au 70^e (90^e) centile, et dans la catégorie des petits émetteurs si les émissions relatives de l'entreprise sont inférieures au 30^e centile. Les intensités d'émission incluent les périmètres 1, 2 et 3.

2. Une exposition est classée dans la catégorie des risques physiques élevés si la probabilité que l'entreprise subisse un incendie ou une inondation fluviale ou côtière pendant une année donnée est supérieure à 1 %, et dans la catégorie des risques physiques faibles si cette probabilité est inférieure à 1 %. Le classement des expositions a été établi sur la base des pays créditeurs de la zone euro. L'échantillon est préliminaire.

Note : Les prêts considérés sont ceux qui ont été accordés à des sociétés non financières.

Source : (Alogoskoufis et al., 2021^[25]).

StatL <https://stat.link/48tjqi>

Les pertes du secteur de l'assurance associées aux valorisations des actifs ne devraient être particulièrement importantes au Luxembourg. L'AEAPP estime, dans son scénario central, que le total des pertes sur le portefeuille d'obligations souveraines des assureurs basés au Luxembourg est d'environ 0.2 % (AEAPP, 2020^[46]). Les pertes sur les obligations d'entreprises et les actions se situent autour de 10 %, étant donné que les actifs à fortes émissions de carbone pèsent environ cinq fois plus que les actifs décarbonés. Néanmoins, l'effet combiné de ces pertes devrait rester très faible, à 0.7 %.

Aider le secteur bancaire à relever les défis opérationnels de la prise en compte des risques climatiques exige d'accroître la transparence et d'effectuer un suivi régulier des données. La BCL a souligné que, pour l'heure, les banques pourraient être mal positionnées pour entreprendre les modifications requises, attendu que les prêts aux secteurs à forte intensité de carbone ont augmenté en 2021 (BCL, 2021^[47]). Les autorités devraient continuer d'adapter la réglementation et les dispositifs de surveillance du secteur financier car les risques et vulnérabilités climatiques ne sont pas couverts par les tests de résistance et autres activités connexes dont il fait l'objet.

Les outils utilisés pour estimer les risques climatiques auxquels sont exposées les entreprises sont de plus en plus sophistiqués, sous l'effet de la pression croissante, exercée au niveau international, du contrôle réglementaire des informations communiquées à ce propos. On voit également apparaître de nouvelles normes de diffusion d'informations qui visent à améliorer la granularité des renseignements relatifs à chaque entreprise (Tableau 2.4). De telles normes et obligations de renseignement sont de plus en plus souvent adoptées, sous la pression croissante du contrôle réglementaire et des investisseurs, même si la qualité des renseignements fournis est encore insuffisante en termes de couverture (EY, 2021^[48]). Les autorités devraient aussi continuer de promouvoir une classification des activités de finance verte qui soit propice à l'établissement de labels clairs et axés sur les besoins des clients, tout en permettant une offre de produits diversifiée, pouvant être adaptée aux différentes préférences d'un large éventail d'investisseurs. Une diversification plus poussée des stratégies d'investissement sous l'angle climatique contribue à limiter les risques systémiques. Des orientations crédibles concernant les critères selon

lesquels les prêts accordés aux secteurs à forte intensité de carbone peuvent être considérés ou non comme propices à la transition contribueraient à atténuer les risques de réputation et les risques financiers pour le secteur bancaire. Le récent élargissement du mandat des autorités de réglementation des banques et des assurances à l'information financière verte offre la possibilité de mettre en place un canal de communication indépendant avec les clients de ces établissements et ceux qui examinent leur situation.

Malgré la généralisation des techniques plus sophistiquées d'évaluation des risques climatiques, il y aura besoin d'informations plus détaillées au sujet des stratégies de transition des entreprises et de leur effet sur les risques. Dès lors que les risques climatiques de référence seront mieux compris, les pratiques de gestion des risques commenceront très certainement à évoluer pour estimer la mesure dans laquelle les entreprises peuvent correctement réagir aux évolutions de l'action publique et des technologies. À long terme, il pourrait s'agir pour les institutions financières d'un outil clé de différenciation des performances.

De ce fait, il sera crucial de favoriser le développement des compétences nécessaires pour garantir que les banques mesurent et gèrent les risques climatiques. Une importance prioritaire devrait être accordée aux programmes spécifiquement destinés à renforcer les compétences en analyse quantitative requises pour la gestion de données massives. D'après les prévisions récentes du Centre européen pour le développement de la formation professionnelle (CEDEFOP, 2020^[49]) concernant les compétences au Luxembourg, la croissance de l'emploi dans le secteur des services aux entreprises devrait s'établir à 1.9 % par an de 2018 à 2030, sachant que la demande devrait rester axée sur les compétences administratives plutôt que sur des compétences spécialisées en gestion de données. Selon les prévisions de l'Agence pour le développement de l'emploi (ADEM, 2021^[38]) concernant le secteur financier, les analystes en finance verte seront de plus en plus demandés. Néanmoins, les compétences en gestion et analyse de données ne sont pas mises en avant en tant que domaine particulièrement prioritaire – même si la demande de compétences de ce type a augmenté, puisque la proportion d'offres d'emploi pour lesquelles elles étaient requises dans le secteur financier est passée de 30 % en 2015 à 40 % environ. Donner une place de premier plan à ces compétences dans les programmes de formation et dans le cadre des efforts déployés en vue d'attirer des talents internationaux pourrait contribuer à atténuer certains des risques inhérents à la transition dans le secteur financier.

Tableau 2.4. Des normes de communication d'informations non financières sont en cours d'élaboration dans le monde

Texte réglementaire	Groupe de travail sur la publication d'informations financières relatives au climat	International Sustainability Standards Board ¹	Directive sur la publication d'informations en matière de durabilité par les entreprises ¹
Aspects couverts par les informations	Objectifs liés au climat	Questions environnementales (détaillées)	Questions environnementales
		Questions sociales et de gouvernance (niveau général, pas de directives détaillées)	Questions sociales Questions de gouvernance
Domaines à aborder	Gouvernance, stratégie, gestion des risques, indicateurs et cibles actuels	<i>En outre :</i> Importance relative financière (Avec obligation de mentionner l'importance relative en termes d'impact le cas échéant) Informations sur les émissions du périmètre 3 ⁴	<i>En outre :</i> Double importance relative ² Normes et lignes directrices obligatoires de l'UE sur la communication d'informations ESG ³ Doit faire l'objet d'un audit
			Informations plus détaillées sur les domaines à aborder Les informations plus détaillées sur la transition verte doivent inclure la consommation et le mix énergétique, l'intensité énergétique, les quantités de GES absorbées et les émissions de GES évitées dans les produits et services
	Principes de communication volontaire Obligatoire au Royaume-Uni Deviendra obligatoire au Canada et en Nouvelle-Zélande	Lignes directrices	Obligatoire dans l'UE pour toutes les grandes entreprises publiques ⁵ et pour tous les rapports produits après le 1 ^{er} janvier 2025 avec assurance limitée. Assurance raisonnable requise après 2031. Obligatoire pour toutes les grandes entreprises (y compris privées) et la plupart des entreprises cotées à compter de 2027

Note : 1. Ces propositions sont des projets. 2. Le principe de la double importance relative concerne ce qui importe du point de vue de l'impact (de l'entreprise déclarante sur la société et les autres parties prenantes), du point de vue financier (c'est-à-dire, du point de vue des finances de l'entreprise déclarante, quel que soit l'horizon temporel), ou des deux. Ce principe est beaucoup plus large que celui de l'importance financière défini dans les déclarations financières et utilisé dans les normes ISSB. 3. Les normes de l'UE sur la communication d'informations ESG devraient être finalisées d'ici à la fin d'octobre 2022, avec la parution de lignes directrices sectorielles en octobre 2023. 4. On notera que, parce que l'importance financière est combinée aux émissions du périmètre 3, ces risques ne doivent être divulgués que s'ils ont un impact significatif sur l'entreprise. 5. Y compris les grandes entreprises d'intérêt public employant plus de 500 personnes (c'est-à-dire, les entreprises actuellement dans l'obligation de communiquer des informations en application de la directive sur la publication d'informations non financières.

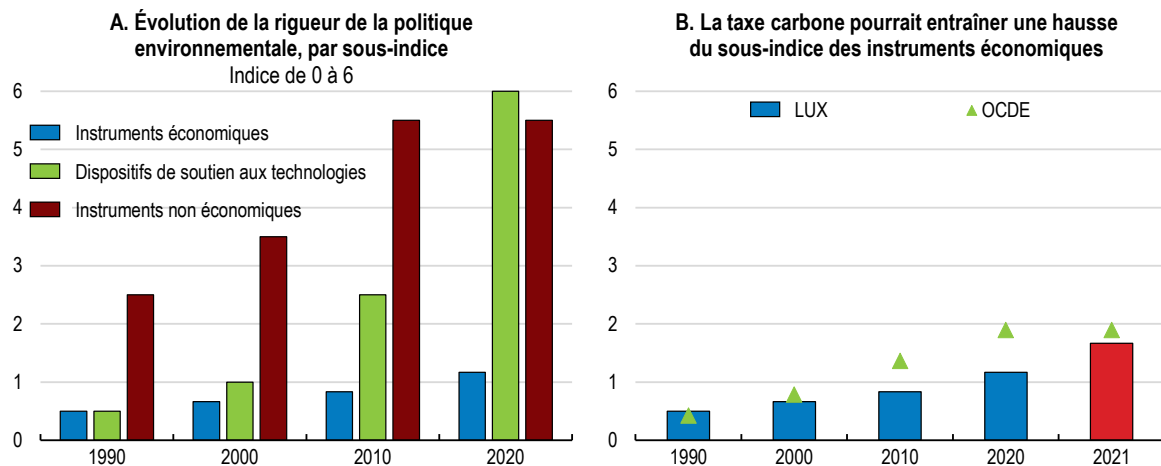
Source : (TCFD, 2021^[50]) ; (KPMG, 2022^[51]) ; (Latham and Watkins, 2022^[52]) ; (Davies et al., 2022^[53]) ; (Azzouz et Brisson-Félix, 2022^[54]).

Un cadre d'action propre à soutenir la transition verte

Le recours à une vaste panoplie d'instruments d'action complémentaires est non seulement le moyen le plus rentable d'atteindre les objectifs de décarbonation, mais aussi une approche inclusive et socialement acceptable (D'Arcangelo et al., 2022^[40]). Un cadre de gouvernance solide offre un fondement juridique à l'action climatique. Une trajectoire ascendante et régulière du prix des émissions doit guider les décisions d'investissement à long terme de l'ensemble des parties prenantes de l'économie. Dans la mesure où la tarification ne peut à elle seule remédier au manque de coordination habituel en matière d'innovation, les subventions et règlements peuvent contribuer à renforcer l'impact de la tarification des émissions en encourageant des changements de comportement importants (Bessen et Maskin, 2009^[55]) ; (Stiglitz, 2019^[56]). Des mesures transversales stratégiques en matière d'aménagement du territoire, de logement et de transport peuvent faciliter la transition en influant sur la facilité avec laquelle les ménages et les entreprises s'adaptent. Il convient d'adopter une approche transparente pour déterminer comment les recettes générées par la transition seront utilisées.


Le Luxembourg a nettement renforcé la rigueur de sa politique environnementale depuis 1990 (Graphique 2.18). En conséquence, en 2020, le Luxembourg faisait partie des pays de l'OCDE ayant les politiques environnementales les plus rigoureuses, aux côtés de la France, de la Suisse et de la Finlande (Kruse et al., 2022^[27]). La montée en régime des instruments non économiques tient principalement au durcissement de la réglementation applicable au soufre et aux particules entre 2000 et 2010. Le recours accru aux tarifs d'injection, aux primes de rachat et aux appels d'offres pour l'électricité solaire a contribué au renforcement des mesures en faveur des technologies, notamment des aides à la R-D verte, qui ont fortement augmenté entre 2010 et 2020. À cela s'ajoute l'augmentation des subventions destinées à soutenir les investissements des ménages et des entreprises dans l'efficacité énergétique.

Graphique 2.18. Évolution de la rigueur de la politique environnementale du Luxembourg



Note : La rigueur des mesures est notée sur une échelle variant de 0 à 6 et les chiffres sont agrégés. Le sous-indice des instruments économiques regroupe les mesures qui tarifient la pollution, telles que les systèmes d'échange de quotas d'émission de CO₂, les systèmes d'échange de certificats d'énergies renouvelables, ainsi que les taxes sur le CO₂, les oxydes d'azote (NO_x), les oxydes de soufre (SO_x) et les combustibles. Le sous-indice des instruments non économiques rassemble les mesures qui imposent des normes et des limites d'émission, comme les valeurs limites d'émission de NO_x, de SO_x et de particules, et les limites de teneur en soufre du gazole. Le sous-indice des dispositifs de soutien aux technologies comprend deux indicateurs, à savoir le montant des dépenses publiques de R-D consacrées aux technologies énergétiques décarbonées et le montant des mesures de soutien des prix des énergies renouvelables solaire et éolienne, comme les tarifs d'injection et les enchères, rapporté au coût de production mondial moyen actualisé. Partie B : Il se peut que d'autres pays de l'OCDE aient aussi apporté des modifications à leurs instruments économiques en 2021 et que celles-ci ne soient pas prises en compte dans la moyenne de l'OCDE indiquée pour 2021, qui correspond à la moyenne de l'OCDE en 2020.

Source : (Frohm et al., 2021^[28]) ; (Kruse et al., 2022^[27]) ; et calculs de l'OCDE.

StatLink  <https://stat.link/x2gjn4>

La dosage global des mesures présente toutefois des déséquilibres. La panoplie de mesures actuelle repose en grande partie sur les subventions et la réglementation (Tableau 2.5). En 2020, le Luxembourg affichait toujours un score inférieur à la moyenne de l'OCDE dans la catégorie des instruments économiques de politique environnementale, compte tenu de la faiblesse des prix du carbone. La taxe carbone récemment mise en place, qui n'est pas prise en compte dans les données, réduira l'écart avec la moyenne de l'OCDE. Si cette taxe était portée aux niveaux observés dans les pays de l'OCDE les plus performants – ce qui supposerait un taux d'imposition du carbone d'environ 80 EUR par tonne – la valeur de l'indicateur de rigueur des politiques environnementales (RPE) augmenterait de 1.4 point.

Tableau 2.5. Aperçu des instruments de politique climatique du Luxembourg

Instruments d'action	Rapport coût-efficacité	Acceptabilité par la population ¹	Mesures actuellement mises en œuvre au Luxembourg
Taxe sur les gaz à effet de serre (GES)	Forte baisse des coûts de réduction des émissions Coûts de suivi modérés à élevés	Faible à modérée	- Taxe carbone (ou taxe CO ₂) : mise en place en 2021 et fixée à 20 EUR par tonne ; s'élève actuellement à 25 EUR et sera portée à 30 EUR en 2023
Système d'échange de quotas d'émission (SEQUE)	Forte baisse des coûts de réduction des émissions Coûts de suivi relativement élevés	Modérée	- Le Luxembourg participe au SEQUE de l'UE, qui couvre environ 15 % des émissions du pays
Taxes sur les biens et les services polluants		Faible (soutien plus élevé en cas d'application sélective)	- Droits d'accise sur les carburants (gazole et essence) - Taxation des véhicules en fonction de leurs émissions de CO ₂
Normes environnementales			- Application aux nouveaux bâtiments des exigences relatives aux bâtiments dont la consommation d'énergie est quasi nulle
Subventions en faveur des mesures d'atténuation du changement climatique	Potentiellement élevé Plus faible si elles s'appliquent aux mesures de séquestration du carbone plutôt qu'aux résultats	Élevée (du fait de la réduction des coûts)	- PRIME House : régime d'aides financières pour les projets de rénovation visant à améliorer l'efficacité énergétique et pour l'installation de pompes à chaleur ou de panneaux photovoltaïques
Bonus-malus			- Véhicules de transport de personnes : taxe de circulation fondée sur les émissions de CO ₂ du véhicule + prime à l'achat d'un véhicule électrique - Tarifs d'injection pour les énergies renouvelables
Mesures de soutien des technologies	Faible à modéré (mais fortes incitations à investir dans la R-D)	Élevée	- Aides financières aux entreprises qui investissent dans les technologies environnementales et l'innovation

Note : 1. D'après des données internationales sur l'acceptabilité par la population.

Source : (D'Arcangelo et al., 2022^[40]) ; (Dechezleprêtre et al., 2022^[57]) ; sources nationales ; et évaluation des auteurs.

Les objectifs climatiques devraient être rattachés aux principales politiques publiques

Le cadre de gouvernance a été renforcé

Le cadre de gouvernance climatique a été considérablement renforcé dans la droite ligne des ambitions climatiques du Luxembourg. La gouvernance et l'obligation de rendre des comptes dans le cadre de la stratégie climatique du gouvernement sont inscrites dans une loi relative au climat adoptée en décembre 2020, qui prévoit un mécanisme d'action juridiquement contraignant lié à des objectifs sectoriels fixés tous les dix ans. La loi dispose que pour gouvernement les projets doivent être éclairés par un plan national intégré en matière d'énergie et de climat élaboré tous les 10 ans et dans lequel sont définis des objectifs sectoriels actualisés de réduction des émissions et la trajectoire d'orientation de la politique climatique, ainsi qu'une stratégie à un horizon de 50 ans publiée aussi tous les 10 ans, qui établit les objectifs généraux de la politique climatique. La loi relative au climat constitue une étape importante : sans elle, les opposants aux mesures climatiques peuvent bloquer toute action ; la loi fournit la base nécessaire pour faire avancer les politiques ou pour bloquer celles qui vont à l'encontre de l'action climatique.

La fixation d'objectifs juridiquement contraignants à un horizon éloigné est un mécanisme d'engagement important et peut donner des assurances non négligeables. Les objectifs sont réexaminés tous les cinq ans conformément au plan national intégré en matière d'énergie et de climat. Les examens réguliers fondés sur des données factuelles visent à permettre la prise en compte de nouvelles informations pour fixer des objectifs et comprendront d'amples consultations sectorielles. L'établissement de points d'entrée précis et réguliers dans le cycle d'élaboration des politiques pour la société civile contribuerait à renforcer l'acceptation par la population de mesures écologiques ambitieuses (D'Arcangelo et al., 2022^[40]). Les pouvoirs publics luxembourgeois peinent à faire participer la société civile aux processus généraux d'élaboration des lois et à y intégrer les avis d'autres acteurs que les associations patronales et syndicales

(OECD, 2021^[58]) ; (Commission européenne, 2022^[59]). En vertu de la loi de 2020 relative au climat, une plateforme pour l'action climatique (la Plateforme climat) a été créée ; il s'agit d'un groupe d'experts nommés par le gouvernement qui est chargé d'évaluer les politiques publiques. Le projet de consultation « *Luxembourg in Transition* », qui prévoit la constitution d'un Comité de citoyens chargé d'élaborer un rapport contenant des recommandations concrètes, favorise la continuité du dialogue. Le Bureau du citoyen pour le climat (*KlimaBiergerRot*) a en outre été créé en vue d'élaborer des propositions visant à orienter le plan national en matière d'énergie et de climat de 2024 (Ministère d'État; Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable; Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire - Département de l'aménagement du territoire, 2022^[60]). Ces instances offrent aux citoyens une plateforme leur permettant de dialoguer sur les recherches relatives au climat, telles que les études publiées par l'Observatoire du climat.

Pour attester de leur bonne foi, les pouvoirs publics doivent aussi régulièrement montrer que les recommandations sont prises en compte. En France, le Président s'est engagé à soumettre les recommandations de la Convention citoyenne pour le climat soit à référendum, soit au vote du Parlement, soit à application réglementaire directe (Ministère Ecologie, 2021^[61]). La loi « Climat et Résilience », présentée début 2021, vise à mettre en œuvre un grand nombre des mesures proposées dans la Convention citoyenne et à renforcer les politiques environnementales existantes (OCDE, 2021^[62]).

Une communication dans les deux sens, fondée sur des données factuelles, est essentielle pour maintenir l'adhésion en faveur de la transition verte

Les citoyens luxembourgeois sont très favorables à la transition verte. Selon la dernière enquête (Eurobaromètre, 2022^[63]) sur les attitudes vis-à-vis du changement climatique, 78 % des citoyens considèrent que le changement climatique est un problème très grave et 63 % pensent que les pouvoirs publics n'ont fait pas assez pour le résoudre. Ce soutien pourrait toutefois tenir à la charge financière relativement faible que la transition verte a fait peser jusqu'à présent sur les ménages. La guerre en Ukraine et l'explosion des prix de l'énergie vont mettre à l'épreuve l'adhésion de l'opinion publique.

Les objectifs fixés par les pouvoirs publics présupposent des changements de comportement importants de la part des ménages pour réduire les émissions des transports et des immeubles d'habitation. Cela pourrait amplifier la résistance aux changements à l'avenir. L'incertitude quant aux avantages de la transition, l'aversion pour le risque, les coûts initiaux élevés des nouveaux investissements et de l'apprentissage, et la perception erronée des coûts sont autant de facteurs susceptibles de réduire la volonté des entreprises et des consommateurs de changer leur comportement (Encadré 2.5), les laissant mal préparés à moyen et long termes. À court terme, ces facteurs peuvent accroître les risques de divergence entre les objectifs des pouvoirs publics et les perceptions des entreprises et des ménages, et mettre en péril la transition. Il ressort de l'expérience française, par exemple, que le mouvement des gilets jaunes, qui s'était opposé aux taxes environnementales en 2018 et 2019, était motivé par une mauvaise compréhension de l'utilité sociale de ces taxes, l'absence de dispositif de compensation et l'insensibilité aux hausses de prix observées à l'échelle mondiale (CEDD, 2019^[64]).

Jusqu'à présent, les pouvoirs publics ont géré les risques politiques en s'efforçant notamment de réduire au minimum les coûts pour les ménages, en octroyant massivement des subventions généreuses et en relevant très progressivement le prix du carbone. Toutefois, la réduction des coûts supportés par les ménages ne constitue pas nécessairement la stratégie la plus efficace. Le Danemark, la Suède et la Norvège ont su gérer les risques politiques liés à la transition malgré la forte hausse des coûts supportés par les ménages. Des campagnes de communication claires, mettant l'accent sur les objectifs de la transition, ainsi que des dispositifs de soutien bien définis destinés aux personnes vulnérables ont joué un rôle déterminant dans l'acceptation des mesures. La poursuite du dialogue sera indispensable, car il deviendra probablement de plus en plus difficile pour les pouvoirs publics de faire des choix qui garantiront l'engagement continu de la société en faveur de la transition (Dechezleprêtre et al., 2022^[57]).

Le débat public gagnerait à ce que l'impact, les coûts et les avantages des différents instruments d'action (notamment des diverses stratégies de tarification du carbone), ainsi que les conséquences budgétaires des choix à long terme soient quantifiés de manière plus précise. Selon une étude récemment menée dans les pays de l'OCDE, les citoyens seraient, en moyenne, plus favorables à des interdictions ou à des subventions en faveur de la mise au point de technologies propres plutôt qu'à des taxes directes sur les combustibles fossiles (Dechezleprêtre et al., 2022^[57]). Les mesures populaires sur le plan politique ne sont toutefois pas toujours efficaces sur le plan économique. La préaffectation explicite des recettes est généralement déconseillée, car elle crée des rigidités dans les dépenses prioritaires et réduit l'efficacité de l'allocation des ressources publiques (D'Arcangelo et al., 2022^[40]). Les coûts de mise en conformité avec les normes et les règles peuvent être élevés, en particulier pour les ménages à faible revenu et les petites entreprises. (Gillingham et Stock, 2018^[65]), par exemple, estiment que la mise en œuvre des normes relatives aux carburants pourrait coûter jusqu'à 2 900 USD/tCO₂. D'autres, notamment (Goulder et Parry, 2008^[66]), font valoir que la réglementation a pour effet de doubler le coût moyen par unité de réduction des émissions par rapport aux interventions sur les prix.

Pour décider du dosage des mesures à prendre, les autorités doivent tenir compte de l'impact qu'elles auront, chacune et ensemble. L'Encadré 2.4 présente les résultats préliminaires d'un exercice de modélisation mené aux fins de cette *Étude* en vue d'estimer l'impact potentiel des différentes trajectoires des prix du carbone. Étant donné la complexité de la transition, aucun modèle ne pourra à lui seul dresser un tableau complet des risques. Il faudrait recourir à toute une série de modèles pour étudier les conséquences des diverses combinaisons des politiques, et évaluer les résultats au regard des risques d'action et d'inaction. Le Royaume-Uni, les Pays-Bas, le Danemark et la France disposent d'organismes indépendants qui jouent un rôle essentiel en élaborant et en diffusant des travaux de recherche liés au climat et en formulant des avis sur les répercussions économiques potentielles.

Un Observatoire du climat, chargé d'évaluer les aspects techniques des mesures de politique climatique, a été créé en vertu de la loi luxembourgeoise relative au climat. En établissant sa neutralité et en se concentrant sur la définition de politiques publiques fondées sur des données factuelles, l'Observatoire du climat peut jouer un rôle important dans le partage d'informations et intervenir en tant que médiateur de confiance dans les débats sociaux. Il peut commander et diffuser des travaux de recherche, notamment sur des modèles climatiques qui permettent une évaluation globale et équilibrée des risques climatiques. Il devrait également évaluer les effets potentiels des instruments d'action sur les différentes catégories de ménages afin de mieux éclairer les débats sur l'action publique. Il faudrait réfléchir à la meilleure façon de coordonner les travaux de l'Observatoire et le savoir-faire considérable du STATEC, autre organe de confiance qui fournit des évaluations neutres des décisions prises par les pouvoirs publics.

Le cadre de planification de l'action publique pourrait mieux intégrer l'incertitude

En matière de réalisation des risques climatiques, les délais et les coûts ne sont pas toujours clairs et une incertitude considérable peut entourer les conséquences de la politique climatique. En outre, des biais de mesure des risques d'agir prématurément ou trop lentement peuvent limiter l'efficacité de l'élaboration des politiques publiques (Encadré 2.5). Cela peut soulever des difficultés considérables au Luxembourg, où les entreprises individuelles représentent une part plus importante de l'emploi total que dans d'autres pays de l'OCDE, de sorte qu'il est plus difficile d'évaluer si l'évolution de la situation des entreprises est déterminée par des événements spécifiques, ou par le jeu des forces du marché. Le changement de situation d'une entreprise pourrait avoir un impact démesuré sur la perception des coûts et des risques liés à la transition climatique. Cela pourrait engendrer une résistance au changement ou favoriser la mise en place de mécanismes excessivement généreux de subventionnement et de compensation. Or, des aides trop généreuses représenteraient non seulement un coût d'opportunité en termes d'utilisation des fonds, mais pourraient en outre ancrer des modes de production décarbonés exposant le pays à des coûts de transition plus élevés à long terme. Le soutien apporté à des entreprises peu productives pourrait par ailleurs freiner encore la croissance de la productivité globale.

Intégrer la transition climatique de manière plus globale dans le cadre budgétaire

L'utilisation des instruments de politique climatique et le moment auquel ils seront employés sont lourds de conséquences sur la politique budgétaire, qu'il est nécessaire de gérer. Le gouvernement s'est engagé à faire en sorte que la réalisation des objectifs climatiques se fasse dans le respect de la viabilité budgétaire. L'Institut national de la statistique et des études économiques (STATEC, 2020^[67]) a estimé l'impact potentiel de la taxe carbone sur les recettes globales. Néanmoins, pour le moment, aucune estimation à long terme de la sensibilité des recettes aux variations potentielles de la composition du PIB associées à la transition verte n'a été fournie. S'agissant des dépenses, il sera crucial d'estimer la durée et l'utilisation des subventions (y compris des crédits d'impôt et autres allègements fiscaux), les engagements pris en matière de nouvelles infrastructures, d'entretien et d'adaptation au changement climatique, ainsi que les dépenses liées aux catastrophes. Le taux de recours actuel aux subventions est faible, mais les aides offertes sont très généreuses. Une augmentation rapide de leur utilisation pourrait sensiblement alourdir leur coût budgétaire.

Il est possible d'améliorer l'intégration des politiques climatiques dans le cadre global d'action publique, afin de mieux en évaluer l'impact. Dans le cadre d'une élaboration intégrée des politiques publiques, il faut tenir compte des boucles de rétroaction entre la croissance économique, le bien-être et les effets induits sur le climat. Dans le chapitre 1 ont été mis en évidence un certain nombre de mécanismes destinés à rehausser le taux de croissance de la productivité, qui devraient réduire l'intensité d'utilisation des ressources de l'économie s'ils vont de pair avec un ensemble clair d'instruments de tarification, de réglementation et de subventionnement, évoqué ci-avant. Néanmoins, la société devra effectuer des arbitrages importants en hiérarchisant les dépenses engagées, et en déterminant du même coup quelles générations et quels ménages en bénéficieront le plus. Il est essentiel de disposer de données détaillées fiables pour estimer l'impact des politiques publiques sur l'économie, l'environnement et le bien-être. De meilleures estimations de la sensibilité potentielle des recettes et des dépenses à la transition peuvent aider les pouvoirs publics à soupeser les risques éventuels et d'autres choix de dépenses, tout particulièrement celles liées au vieillissement démographique, qui vont sensiblement alourdir la dette en l'absence de réforme des retraites, de réduction des dépenses ou d'augmentation des impôts (chapitre 1).

Des estimations plus claires de l'impact des politiques publiques sur les différentes catégories de ménages pourraient contribuer à éclairer le débat. Avec un modèle de microsimulation permettant de mettre en interaction les effets budgétaires de différents choix en matière de fiscalité et de dépenses avec des changements de situation des ménages au regard du marché du travail, les décideurs publics pourraient mieux évaluer les coûts associés à la transition pour différentes catégories de ménages, et leurs interactions avec les instruments d'action en place. En veillant à ce que les informations relatives à l'utilisation et au coût des dispositifs d'aide existants soient plus aisément accessibles, le gouvernement permettrait que ses projets de dépenses fassent l'objet d'évaluations externes, susceptibles d'enrichir le débat public sur les arbitrages devant être effectués dans le cadre de la transition. Le Conseil national des finances publiques (CNFP) pourrait contribuer de manière importante à la définition d'un programme de recherche permettant de mieux intégrer un cadre d'évaluation de ces risques. Il faudrait à cet égard référencer les travaux relatifs aux instruments d'action qu'il est recommandé à l'Observatoire de la politique climatique de réaliser, ainsi que les évaluations prospectives entreprises par le gouvernement dans le cadre du projet Luxembourg Stratégie. La réponse des ménages et des entreprises au choc du prix de l'énergie et les mesures prises ensuite pour aider à gérer la crise énergétique peuvent fournir aux décideurs publics des informations utiles leur procurant une connaissance plus fine des canaux de transmission.

Encadré 2.5. Les biais d'évaluation des risques climatiques et des mesures à prendre en conséquence

Biais de mesure. L'incertitude relative au processus de transition découle de celle qui entoure l'impact des politiques publiques sur les comportements, ainsi que de l'incertitude technologique concernant la possibilité de recourir à d'autres solutions et le moment où elle se concrétisera (Tableau 2.6). L'analyse des risques tend à être axée sur la mesure de ce que l'on connaît (et à donner une importance excessive au maintien du statu quo), en l'occurrence, les coûts d'une action trop rapide, qui sont particulièrement évidents puisqu'ils sont assumés immédiatement, par un ensemble restreint et identifiable de parties prenantes. En revanche, l'analyse des avantages que présenterait telle ou telle mesure pour des entreprises ou des ménages n'existant pas encore semble moins précise. Les coûts d'une action trop lente (ou les avantages d'une action plus précoce) peuvent sembler moins évidents, puisqu'on estime qu'ils se concrétiseront dans l'avenir, et les avantages d'une intervention plus rapide sont souvent diffus.

Tableau 2.6. Des risques à la hausse comme à la baisse entourent la transition vers une économie plus verte

	Transition trop rapide	Transition trop lente
Risques d'exploitation pesant sur les entreprises	Perte de compétitivité et de part de marché à court ou moyen terme (fuite de carbone).	En raison d'un manque d'adaptation, exposition des entreprises aux pressions concurrentielles à moyen ou long terme.
Risques d'investissement pesant sur les entreprises	Augmentation des coûts due à l'utilisation de nouvelles technologies et aux coûts d'apprentissage connexes.	Perte de bénéfices associés à l'avantage d'antériorité à moyen ou long terme (dépendance au sentier en matière d'innovation).
	Coûts irrécupérables découlant d'investissements « mal orientés » à moyen ou long terme.	Dépenses en capital massives consacrées aux investissements « de rattrapage » nécessaires à moyen ou long terme. Accumulation d'investissements présentant un risque élevé de mise au rebut à long terme.
Risques pesant sur l'ensemble de l'économie	Dégradation de l'emploi et des exportations en raison de pertes de parts de marché à court ou moyen terme.	Perte des avantages liés à la réduction des émissions en termes de bien-être.
	Orientation forcée vers des investissements moins productifs et plus coûteux, exerçant un effet d'éviction sur la demande intérieure et d'autres investissements à court ou moyen terme.	Réduction de la productivité découlant du soutien apporté à des entreprises peu productives. Perte des avantages liés aux effets de réseau et d'innovation à l'échelle de l'ensemble de l'économie.

Excès d'optimisme. Les décideurs publics ont tendance à poser des hypothèses irréalistes concernant l'impact potentiel des technologies sur la réalisation des objectifs climatiques. Des audits et des évaluations indépendants des stratégies climatiques des gouvernements peuvent mettre en évidence ce type de problème. Au Royaume-Uni, la Commission des comptes publics a récemment évalué la stratégie du gouvernement en matière de neutralité carbone, y compris la plausibilité des hypothèses retenues concernant les évolutions technologiques.

Tendance à se focaliser sur la moyenne. La tendance à se focaliser sur des scénarios centraux, au lieu d'étudier une palette d'évolutions climatiques possibles, réduit la résilience des politiques publiques élaborées aux événements catastrophiques potentiels à faible probabilité mais à fort impact, c'est-à-dire aux risques d'événements extrêmes, caractérisés par une probabilité plus élevée que celle correspondant à une distribution normale. Pour élaborer les politiques publiques, les autorités devraient explicitement se fonder sur une palette de scénarios climatiques, puis déterminer dans quelle mesure les scénarios non centraux influeront sur les dispositions adoptées. En Afrique du Sud, divers scénarios climatiques ont été calculés à partir de modèles mondiaux. Ils ont ensuite été utilisés pour cerner les conséquences possibles sur l'économie et les coûts liés aux infrastructures, et concevoir la stratégie climatique.

Source : (Agarwala et al., 2021^[68]) ; (BEI /Bruegel, 2012^[69]) ; (Lamb et al., 2020^[70]).

L'incertitude considérable qui entoure les évolutions technologiques, ainsi que la façon dont les entreprises et les ménages y réagiront, signifie qu'une ample marge d'erreur caractérise l'estimation des coûts budgétaires de la transition climatique, qui peut s'accroître sur de longues périodes. Néanmoins, ce niveau élevé d'incertitude ne doit pas bloquer l'élaboration des politiques publiques. Comme c'est le cas pour l'élaboration de la politique monétaire dans un contexte de forte incertitude, des analyses de sensibilité et de scénarios peuvent permettre aux décideurs publics de comprendre les risques et d'opter pour une ligne d'action pouvant être sensible à l'évolution de ces risques au fil du temps. Les analyses de sensibilité permettent aux décideurs publics d'évaluer dans quelle mesure les hypothèses retenues concernant les politiques publiques (telles que le taux de recours aux dispositifs ou les coûts par tronçon routier) peuvent modifier le niveau final des coûts et des recettes. Ces estimations peuvent être pondérées par des probabilités. L'analyse de scénarios permet aux décideurs publics d'évaluer dans quelle mesure il pourrait être nécessaire de modifier les politiques publiques en cas de choc subi par la croissance économique ou d'échec d'un programme visant à réduire les émissions de carbone, et de cerner les mesures à prendre en conséquence.

Il faudrait adapter le cadre de planification des infrastructures publiques pour mieux prendre en compte l'incertitude inhérente aux risques physiques et technologiques liés au changement climatique et ses implications en termes de dépenses d'infrastructures. Les estimations des dommages annuels attendus en matière d'infrastructures au Luxembourg sont relativement basses par rapport au reste de l'Europe, mais l'évolution effective de la situation climatique pourrait varier sensiblement. Ainsi, (Forzieri et al., 2018^[71]) estiment qu'en moyenne, les dommages annuels attendus en matière d'infrastructures seraient de l'ordre de 8 millions EUR, et atteindraient 11 millions EUR au cours des années 2050. En 2021, des inondations torrentielles ont provoqué des dommages économiques de grande ampleur, estimés à 120 millions EUR. Le gouvernement a consacré 50 millions EUR à l'aide apportée aux personnes victimes de ces catastrophes (Edde, 2021^[72]).

La différence entre les évolutions climatiques attendues et effectives peut se traduire par des coûts d'adaptation très élevés pour les projets d'infrastructure, qui se caractérisent par des effets de verrouillage des ressources sur une longue durée et dont la conversion peut être coûteuse. Cela dit, construire des infrastructures adaptées au scénario du pire peut représenter un coût d'opportunité considérable et déboucher sur des niveaux élevés de redondance. Ceux-ci pourraient l'être encore plus en cas de changements technologiques. Des dépenses d'infrastructures conséquentes sont prévues pour l'électrification des transports ferroviaires et routiers, et il sera nécessaire d'adapter l'infrastructure routière à l'utilisation d'hydrogène ou d'autres carburants. Les dépenses consacrées à la protection contre les inondations, ainsi qu'aux systèmes d'approvisionnement en eau, vont augmenter. Il serait peut-être plus approprié d'adapter la conception des infrastructures actuelles que d'en construire de nouvelles immédiatement, afin d'alléger le coût des futures évolutions des technologies ou des politiques publiques. Cela pourrait notamment consister à adapter leur conception pour permettre la mise en place d'hydrogénéoducs dans l'avenir, parallèlement au renforcement de l'infrastructure de recharge électrique le long de routes qui peuvent être adaptées au fil du temps, sans construire toute l'infrastructure maintenant.

La planification des infrastructures devrait intégrer des techniques d'évaluation des projets pouvant être utilisées pour cerner différentes options envisageables en matière de conception d'infrastructures sous l'angle de l'optimisation de la dépense publique, compte tenu de l'incertitude qui prévaut (OCDE, 2021^[73]). Des techniques d'évaluation des projets peuvent être employées pour apprécier les projets d'infrastructure au regard de risques climatiques pouvant varier au fil du temps. La plus populaire est l'« analyse par les options réelles », également qualifiée de « VAN+ » (pour « valeur ajoutée nette plus »). On évalue les investissements en prenant en compte les avantages annuels des mesures de protection contre les effets du changement climatique, les coûts de mise en œuvre des mesures d'adaptation, et le moment auquel est maximisée la valeur actuelle nette de l'investissement considéré. Ce cadre structuré permet de cerner les risques inhérents au fait d'investir maintenant plutôt qu'ultérieurement (BASD, 2015^[74]). Il aide les

décideurs publics à déterminer si un projet d'infrastructure devrait être réalisé aujourd'hui ou plus tard pour atténuer l'impact du changement climatique.

Ce type de cadre permet de réaliser une évaluation comparative des calendriers de différents projets d'investissement, en mettant en balance, par exemple, les effets de la mise en place de systèmes complémentaires de distribution d'eau et d'une accélération du développement du réseau routier pour les navetteurs. Il a été utilisé au Viet Nam, en Inde et au Bangladesh pour aider les pouvoirs publics à estimer les avantages potentiels de l'adoption plus précoce de certaines mesures (BASD, 2015^[74]). D'après (Ginbo, Di Corato et Hoffmann, 2021^[75]), plus de 80 projets ont donné lieu à la publication de travaux universitaires sur l'utilisation de ce type de cadre. Comparer explicitement les coûts de différents types d'infrastructures peut étayer encore davantage l'argument en faveur d'infrastructures vertes : les transports publics et les modes de transport actif tels que le vélo exigent, pour leur déploiement, des coûts d'investissement bien inférieurs (Buckle et al., 2020^[76]) ; (AIE, 2020^[77]).

D'importants effets d'apprentissage et d'émulation pourraient s'exercer dans l'ensemble de l'économie, si le cadre des finances publiques pouvait permettre de renforcer encore le cadre d'évaluation des coûts de transition. Il existe aujourd'hui un système de budgétisation verte fondé sur un suivi des dépenses liées aux objectifs de certains programmes. Il s'agit d'un modèle relativement courant. Une approche plus globale inclurait une évaluation des émissions associées aux différents projets et programmes, que ceux-ci soient assortis ou non d'objectifs verts. Elle a été appliquée au Royaume-Uni, suivant des lignes directrices rendues publiques. Selon une telle approche, les différentes options envisageables par les pouvoirs publics pourraient être explicitement évaluées en termes d'impact sur les émissions de carbone à court et à long terme. En l'état actuel des technologies, de nombreux projets se traduiront inévitablement par des émissions nettes de carbone, mais les leçons tirées de ces travaux auraient une portée plus vaste. Une phase pilote initiale pourrait être organisée avec des projets destinés à être financés par le Fonds climat et énergie. Le renforcement du cadre d'analyse coûts-avantages en vue d'évaluer l'impact des projets en termes d'émissions, dès le stade de leur conception, par l'utilisation d'un prix du carbone virtuel serait un moyen très utile d'intégrer les considérations relatives à la transition verte dans leur processus d'élaboration, avant le stade de préparation des budgets publics.

Favoriser la préparation aux risques physiques

La Stratégie d'adaptation aux effets du changement climatique pour le Grand-Duché de Luxembourg 2018-2023 (Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, 2018^[14]) présente certaines des mesures d'adaptation qui pourraient être adoptées suivant le scénario climatique le plus probable, mais elles n'ont guère été mises en avant dans la stratégie climatique définie à l'horizon 2050. Il faut mettre davantage l'accent sur les modalités selon lesquelles le gouvernement entend concrétiser ces mesures d'adaptation, étant donné qu'elles pourraient se traduire par des exigences réglementaires et des coûts d'infrastructure considérables. Ces mesures potentielles devraient être décrites de manière plus précise dans la mise à jour à venir de la Stratégie d'adaptation aux effets du changement climatique pour le Grand-Duché de Luxembourg, et se voir accorder une place plus importante dans le cadre d'action publique. Il faudrait que les mesures d'adaptation s'accompagnent de systèmes de planification intégrant les autres événements catastrophiques potentiels, notamment le plan national de gestion des risques d'inondation.

L'assurance a un rôle important à jouer dans la panoplie d'instruments utilisés pour gérer les risques physiques liés au changement climatique (OCDE, 2016^[78]). Un renforcement de la couverture assurantielle peut contribuer à atténuer les pertes subies par une entreprise ou un ménage, et elle représente un bien public important, étant donné qu'elle protège ceux qui ne sont pas directement responsables du changement climatique (OCDE, 2016^[78]). Des taux élevés de pénétration de l'assurance élargissent les marges de manœuvre dont disposent les pouvoirs publics pour procéder à une relance budgétaire à la suite d'une catastrophe (Von Peter, von Dahlen et Saxena, 2012^[79]). En outre, les assureurs peuvent

améliorer leur compréhension de l'évolution des risques, et des stratégies d'adaptation les plus utiles, en partageant des données agrégées sur leurs portefeuilles (Hudson et al., 2020^[80]).

Les autorités étudient différents modèles d'assurance applicables aux risques d'inondation (Jans, 2021^[81]). Pour l'heure, l'assurance facultative contre les inondations est complétée par des aides de l'État à la suite des catastrophes naturelles particulièrement graves. La couverture contre le risque d'inondation semble élevée, puisqu'elle s'établit à 50 % des ménages (Jans, 2021^[81]). Il est possible que les récents événements aient accru la prise de conscience des risques d'inondation, ainsi que le laissent à penser des données internationales (Hudson et al., 2017^[82]) ; (Gallagher, 2014^[83]). Dans le cas du Luxembourg, le déficit d'assurance, qui rend compte de l'écart entre les sinistres assurés et les sinistres effectifs, n'est pas jugé important (BCE / CERS, 2021^[44]). Des dispositions réglementaires de 2017 ont plafonné les indemnités d'assurance contre les inondations à 100 000 EUR par an pour les logements situés dans des zones inondables, et à 1 million EUR pour les autres biens immobiliers d'habitation. La limitation des indemnités contribue probablement à maintenir les primes d'assurance à un niveau abordable, mais une étude sur les effets quantitatifs de cette politique serait bienvenue. D'autres modèles pourraient être envisagés pour faire en sorte que les contrats d'assurance restent financièrement abordables (Encadré 2.6). Des gains d'efficacité réalisés dans le secteur de l'assurance dommages axé sur le marché intérieur, par exemple *via* une utilisation accrue du numérique pour réduire les coûts d'exploitation ou un renforcement de la concurrence, pourraient aussi se traduire par une réduction des coûts et des primes d'assurance.

Les contrats d'assurance pourraient être conçus de manière à renforcer les incitations à réduire l'impact des risques d'inondation, tant au niveau des collectivités que des ménages (Lé, 2022^[84]). Des investissements collectifs localisés, destinés par exemple à favoriser un drainage plus rapide de l'eau après une inondation, peuvent contribuer à réduire les dommages globaux causés par ce type d'événement, mais ils peuvent s'avérer difficiles à coordonner. En France, la franchise augmente en cas de sinistres répétitifs dans la même zone et si la commune concernée n'est pas dotée d'un plan de prévention des risques pour gérer le risque considéré (OCDE, 2016^[78]). Aux États-Unis, dans certaines zones inondables, une obligation de souscription d'une assurance s'applique non seulement aux propriétaires de logements mais aussi aux collectivités. Celles-ci peuvent réduire leurs primes d'assurance en participant au système facultatif de notation des collectivités, qui tient compte des dispositions d'urbanisme et d'autres mesures d'atténuation des risques (Kousky et Michel-Kerjan, 2017^[85]).

Dans le cadre des contrats d'assurance, les propriétaires de logements peuvent bénéficier d'aides pour améliorer la protection de leur bien contre les inondations à la suite de tels événements. Au Royaume-Uni, les propriétaires de biens immobiliers d'habitation reçoivent 10 000 GBP en sus de leurs indemnités d'assurance pour mieux se préparer à de futures inondations éventuelles (FloodRe^[86]). Sensibiliser la population à l'importance des investissements dans l'atténuation des effets des inondations et accroître leur valorisation par le marché peut également favoriser les travaux de rénovation, en particulier si ces efforts se concentrent sur la vente des logements. En France, les vendeurs et les propriétaires sont tenus de communiquer des informations sur les éventuels dédommagements reçus à la suite de catastrophes naturelles ou technologiques ; l'existence d'un risque d'inondation doit être indiquée dans le cadre du processus d'acquisition d'un logement (OCDE, 2016^[78]). Une certification officielle pourrait renforcer encore le signal envoyé au marché. En Allemagne, des certificats de résistance aux inondations sont délivrés par des experts pour les logements, afin d'améliorer l'accès de leurs propriétaires aux assurances (OCDE, 2016^[78]), mais ils pourraient faire l'objet d'une utilisation similaire à celle des certificats de performance énergétique.

Encadré 2.6. Favoriser l'offre d'assurance inondation : ce que font les autres pays

Le coût de l'assurance contre les catastrophes telles que les inondations peut atteindre un niveau prohibitif, en particulier lorsque le risque considéré est très localisé et que les événements sont fréquents. Y associer les assurés exposés à de moindres risques peut contribuer à faire baisser les risques indemnisés des assureurs et à maintenir des primes peu élevées. En Irlande, en Nouvelle-Zélande, au Portugal, en République tchèque et au Royaume-Uni, les établissements de crédit hypothécaire imposent aux emprunteurs d'être assurés contre le risque d'inondation. Dans la plupart des cantons suisses, les propriétaires immobiliers sont tenus de souscrire une assurance tous risques.

Une aide publique est généralement accordée pour permettre le maintien de l'uniformité des primes, quel que soit le risque d'inondation auquel sont exposés les assurés. En Espagne, les assureurs privés peuvent transférer certains risques d'inondation à un réassureur public. En France, les assureurs privés couvrent automatiquement les catastrophes naturelles (moyennant une prime forfaitaire) et peuvent réassurer jusqu'à 50 % de leur exposition au risque de catastrophe naturelle auprès d'un réassureur public. Au Royaume-Uni, le secteur de l'assurance gère FloodRe, un fond qui compense le manque à gagner des assureurs correspondant aux primes inférieures au niveau du marché appliquées aux logements construits avant 2009 dans les zones les plus inondables. FloodRe est financé par des prélèvements généraux sur les assurances habitation et des droits forfaitaires appliqués aux assurés. Il est prévu que ce dispositif prenne fin en 2039, et que les primes soient ensuite pleinement déterminées en fonction des risques au prix du marché.

D'autres formes d'aide publique pouvant maintenir les primes d'assurance à un bas niveau reposent sur une réduction des coûts assumés par les assureurs en cas de réalisation d'un risque d'inondation extrême. En Thaïlande, l'État réassure une partie du risque de catastrophe assumé par les assureurs. En Belgique, les pouvoirs publics apportent leur soutien au-delà de certains seuils.

Dans tous ces cas de figure, des normes et des dispositions réglementaires sont nécessaires pour garantir que les individus à haut risque prennent des mesures afin de réduire ce risque autant que possible, et pour faire en sorte que l'offre de produits d'assurance soit compétitive.

Source : (OCDE, 2015^[87]) ; (OCDE, 2016^[78]) ; (FloodRe^[88]) ; (Wolfram et Yokoi-Arai, 2016^[89])

Une trajectoire ascendante et régulière du prix du carbone peut ancrer l'incitation à réduire les émissions

Un grand nombre d'émissions sont couverts par une tarification à un niveau relativement faibles

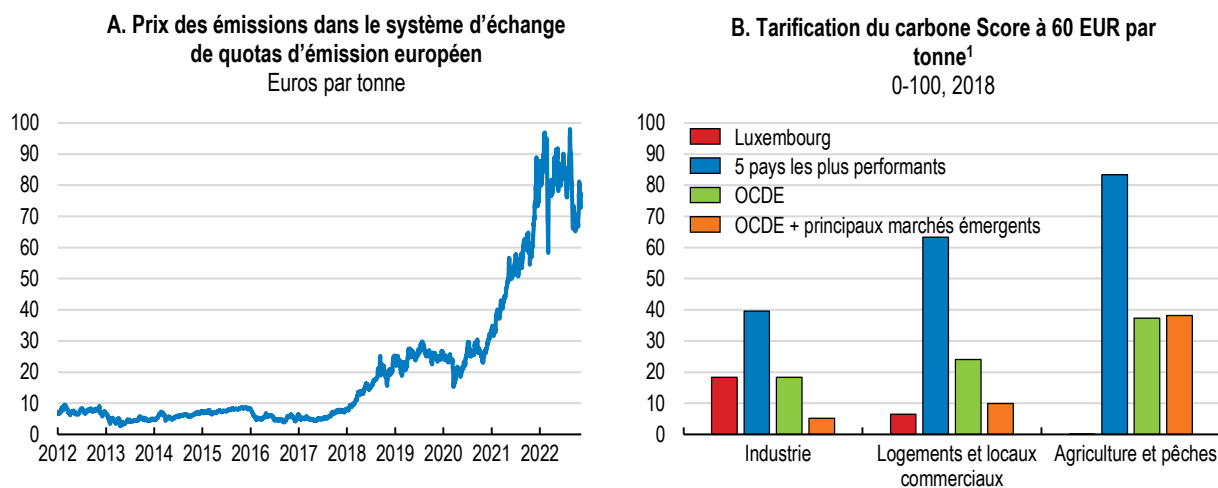
La tarification du carbone constitue l'une des manières les plus efficaces de gérer la transition à court terme, étant donné qu'elle couvre le coût des externalités et que ce sont les plus gros pollueurs qui paient le plus (D'Arcangelo et al., 2022^[40]) ; (OCDE, 2021^[89]) ; (D'Arcangelo et al., 2022^[90]). En généraliser l'application soutient l'innovation à plus large échelle que la plupart des régimes de subventions, et pourrait donc à ce titre accroître l'impact des programmes d'innovation existants (BEI /Bruegel, 2012^[69]). Au Luxembourg, la tarification du carbone est régie par deux mécanismes : le système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne et une taxe carbone applicable aux émissions non couvertes par ce système.

Le système d'échange de quotas d'émission (SEQUE), qui utilise un système de plafonnement et d'échange pour accroître le coût de la pollution dans les secteurs de la production d'électricité, des industries énergivores et de l'aviation civile, couvre environ 15 % des émissions totales du Luxembourg. Il est actuellement dans sa quatrième phase, qui comprend un certain nombre de réformes destinées à tenter d'améliorer le signal-prix du carbone. Ces réformes devraient renforcer son incidence globale, et le prix du

carbone commence à augmenter dans ce cadre afin de refléter ces changements (Graphique 2.19, partie A). Le fait que le Luxembourg participe au SEQE signifie que sa tarification du carbone industriel se rapproche de celle des pays comparables de l'OCDE, même si le pays accuse un certain retard par rapport aux pays obtenant les meilleurs résultats (Graphique 2.19, partie B). Cependant, les entreprises ne ressentent pas pleinement l'impact de ces prix, étant donné qu'elles bénéficient de quotas gratuits destinés à atténuer en partie l'effet de ces hausses. Le Luxembourg a été relativement peu touché par la réduction des quotas d'émission du SEQE lors de la quatrième révision. Ces quotas ne varient pas entre 2021 et 2025 pour la grande majorité : seules ceux de quatre entreprises ont été réduits de 10 % sur cette période, ce qui équivaut à une réduction de 0.1 % du total des quotas d'ici à 2025.

Toutefois, dans les secteurs non assujettis au SEQE, le prix du carbone est très bas par rapport à celui pratiqué dans les pays comparables de l'OCDE. Les prix du carbone appliqués au secteur des transports et au secteur résidentiel qui, ensemble, représentent 60 % des émissions de gaz à effet de serre, ne sont pas inclus dans le SEQE. Par conséquent, l'écart de prix entre le Luxembourg et les pays comparables a été nettement supérieur dans ces secteurs (Graphique 2.19, partie B). Le score de tarification du carbone de l'OCDE, qui mesure le degré auquel les pays ont atteint l'objectif de tarifier le carbone au niveau de référence de 60 EUR par tonne, montre que le prix du carbone est très bas dans les secteurs résidentiel et agricole (Graphique 2.19, partie A). Dans le cas de l'agriculture, aucune émission n'est tarifée à 60 EUR. S'agissant du transport routier, le prix du carbone est plus haut que dans d'autres secteurs, mais reste à la traîne par rapport aux pays voisins, ce qui continue d'encourager le tourisme à la pompe au Luxembourg (Graphique 2.20). L'encadré 2.7 met en avant quelques-unes des questions clés à prendre en compte lorsqu'on compare la tarification de l'énergie au Luxembourg et dans d'autres pays en se fondant sur des indices de prix agrégés.

Graphique 2.19. Grâce au système d'échange de quotas d'émission, l'industrie fait face à des coûts du carbone conformes à la moyenne de l'OCDE

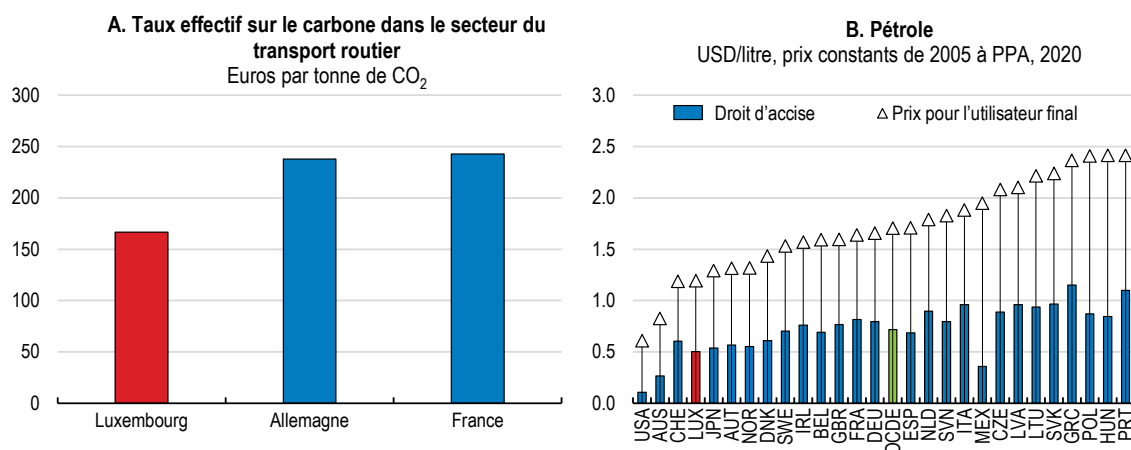


1. Le score de tarification du carbone mesure le degré auquel les pays ont atteint l'objectif de tarifier l'ensemble des émissions de carbone liées à l'énergie à au moins certains niveaux de référence des coûts du carbone. Plus un pays se rapproche d'un niveau de référence, plus son score de tarification du carbone est élevé. La catégorie « OCDE » est une simple moyenne de l'ensemble des pays de l'OCDE. Le groupe « Principaux marchés émergents » inclut l'Afrique du Sud, l'Argentine, le Brésil, la Chine, l'Inde, l'Indonésie et la Russie. Le groupe des cinq pays les plus performants réunit les pays affichant les prix les plus élevés dans le sous-secteur considéré. Tous sont membres de l'OCDE.

Source : Base de données de l'OCDE relative aux tarifs effectifs du carbone ; Refinitiv ; et indicateurs de croissance verte, OCDE.

StatLink  <https://stat.link/rnpj3t>

Graphique 2.20. Le prix des émissions dans le secteur routier est plus bas que dans les pays comparables



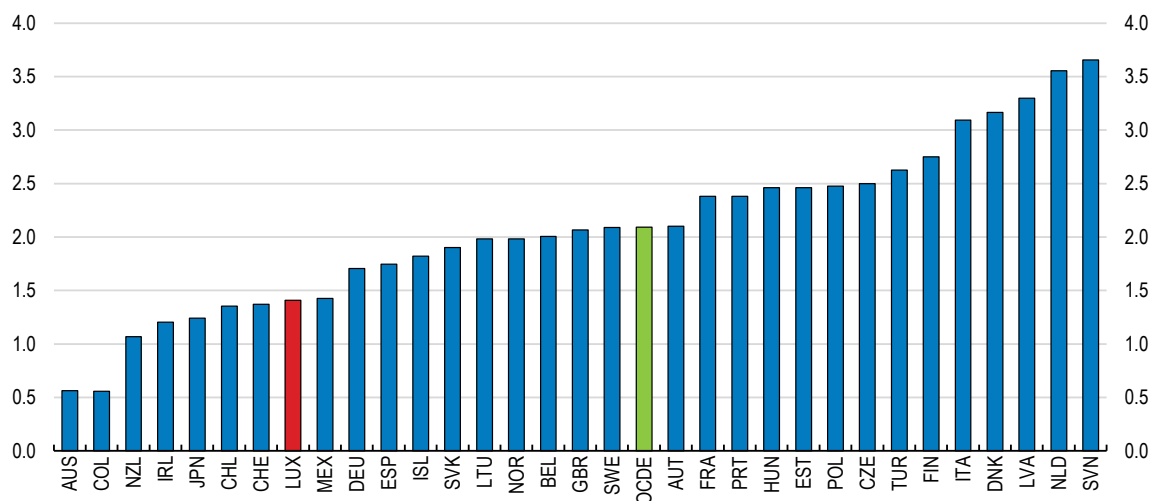
Source : Base de données de l'OCDE relative aux tarifs effectifs du carbone ; indicateurs de croissance verte, OCDE.

StatLink <https://stat.link/3fxw5s>

Le pouvoir d'achat élevé des résidents du Luxembourg devrait réduire encore l'effet de ces signaux-prix déjà faibles. Les données mondiales laissent penser que des revenus élevés réduisent la sensibilité de la demande aux variations de prix dans tout un éventail de pays et pour une large gamme de produits tels que l'énergie et les aliments (Femenia, 2019^[91]) ; (Labandeira, Labeaga et López-Otero, 2017^[92]). Les niveaux actuels des taxes environnementales sont très faibles (Graphique 2.21).

Graphique 2.21. Il existe une importante marge d'augmentation de la fiscalité environnementale

% du PIB, 2020



Note : Pour l'Australie, les données sont celles de 2018.

Source : OCDE, Recettes provenant des taxes liées à l'environnement (base de données).

StatLink <https://stat.link/zbrl90>

Encadré 2.7. Mesure du prix effectif du carbone au Luxembourg

La base de données de l'OCDE relative aux tarifs effectifs du carbone (TEC), qui couvre 44 pays de l'OCDE et du G20, fournit un aperçu de la manière dont les émissions sont taxées à l'échelle de l'économie et au sein des principaux secteurs. Le TEC est mesuré en euros par tonne de CO₂ et comporte trois composantes principales : le prix des permis d'émissions, la taxe carbone et les droits d'accise sur les carburants. Il correspond à la moyenne des prix du carbone dans l'ensemble de l'économie.

Le score de tarification du carbone (STC) indique dans quelle mesure un pays tarifie ses émissions à un niveau de référence donné. Par exemple, un score de moins de 100 % au niveau de référence de 60 EUR par tonne signifie qu'une partie des émissions, mais pas la totalité, est tarifée à ce niveau. Le STC permet d'effectuer des comparaisons multipays à un niveau de référence donné, et contrairement au tarif effectif du carbone, il n'est pas faussé par les valeurs aberrantes élevées qui masquent la distribution de la tarification du carbone au sein d'une économie. On obtient le STC d'un pays en calculant d'abord les STC de chaque secteur puis en agrégeant ces derniers sur la base de leur contribution au total des émissions.

Le STC agrégé du Luxembourg est fortement influencé par le prix du carbone dans le secteur des transports, étant donné le poids de celui-ci dans les émissions totales (57.4 %, contre 24.1 % en moyenne dans les pays de l'OCDE, Graphique 2.5). Dans la majorité des pays de l'OCDE, dont le Luxembourg, les prix des émissions sont généralement plus élevés dans les transports que dans les autres secteurs de l'économie. Par conséquent, le STC du Luxembourg au niveau de référence de 60 EUR était de 69 % en 2018, le deuxième plus élevé des pays de la zone OCDE, même si la majorité des émissions du secteur du transport non routier ne sont même pas tarifées au niveau de référence le plus bas de 30 EUR par tonne de CO₂ et que le prix appliqué dans le secteur du fret routier est plus bas que dans de nombreux autres pays de l'OCDE. Il est donc souhaitable d'examiner les tarifs du carbone du Luxembourg secteur par secteur, comme ci-dessus.

Source : (OCDE, 2021^[93]).

Le prix du carbone doit être fixé à un niveau qui encourage un changement de comportement, même s'il existe toute une gamme d'estimations étant donné les incertitudes quant aux hypothèses comportementales, technologiques et environnementales utilisées. La Banque mondiale estime qu'un tarif dans la fourchette 50-100 USD par tonne d'ici 2030 est nécessaire, conjugué à d'autres politiques, pour ne pas dépasser une élévation des températures de 2 degrés Celsius, limite supérieure fixée dans l'Accord de Paris (Banque mondiale, 2022^[94]). De son côté, l'OCDE a défini trois niveaux de référence en s'appuyant sur des modélisations (OCDE, 2021^[93]) ; (Kaufman et al., 2020^[95]) :

- 30 EUR par tonne de CO₂ : un niveau de référence plancher pour les coûts du carbone au début et au milieu des années 2010.
- 60 EUR par tonne de CO₂ : un niveau de référence bas pour les coûts du carbone d'ici à 2030.
- 120 EUR par tonne de CO₂ : une estimation centrale du prix du carbone nécessaire en 2030 pour parvenir à la décarbonation d'ici au milieu du siècle, dans l'hypothèse où la tarification du carbone jouerait un rôle de première importance dans l'effort de décarbonation.

Le gouvernement a récemment mis en place un prix du carbone qui s'applique à l'ensemble des secteurs non visés par le SEQUE. Le tarif effectif du carbone a été porté à 25 EUR en 2022 et sera de nouveau relevé à 30 EUR en 2023. Le principal effet de cette hausse de la taxe carbone est attendu dans le secteur des transports car, en augmentant le prix du carburant, elle décourage les non-résidents de pratiquer le tourisme à la pompe. La tarification du carbone est une bonne nouvelle mais, pour qu'elle soit encore plus efficace, le gouvernement doit indiquer plus clairement la trajectoire du prix du carbone à long terme qui correspond à ses objectifs climatiques. Il faut également que le signal-prix du carbone demeure clair à

l'avenir afin d'encourager les investissements dans la transition verte. À l'heure actuelle, les pouvoirs publics n'ont pas encore fixé le niveau prévu de la taxe carbone ni annoncé des hausses supplémentaires au-delà de 2023.

Depuis le deuxième semestre 2021, dans le sillage du redressement de la croissance post-COVID et de la guerre de la Russie contre l'Ukraine, les prix mondiaux de l'énergie sont en hausse. Ceux du pétrole et du gaz ont atteint des niveaux record sur les marchés de gros. Si cette hausse pourrait accélérer la transition vers des prix du carbone plus élevés, le rythme du changement suscite des risques, puisqu'il conduit nombre de gouvernements à prendre des mesures en vue de protéger en partie les ménages et les entreprises de l'envolée des prix. Au Luxembourg, les pouvoirs publics ont décidé d'accorder une prime énergie aux ménages à faible revenu, de fournir des aides aux entreprises pénalisées par la flambée des prix de l'énergie, et de plafonner l'augmentation des prix du gaz et du mazout de chauffage à compter d'octobre 2022 (Encadré 2.8). Ces plafonds sont destinés à éviter une situation où les prix de l'énergie feraient plus que doubler entre septembre 2022 et janvier 2023. Le rythme auquel les autorités les supprimeront dépendra de l'évolution des prix mondiaux de l'énergie, ainsi que de considérations tenant à la fiscalité, à la croissance, à l'inflation et à la protection sociale.

Encadré 2.8. Mesures récentes en faveur de l'efficacité énergétique prises pour contrer la crise de l'énergie

En réponse à la récente crise énergétique, le gouvernement du Luxembourg s'est employé à plafonner les hausses des prix de l'énergie et à relever les transferts aux ménages et aux entreprises. En outre, il a accru les aides financières leur permettant d'investir dans d'autres sources d'approvisionnement énergétique. Il a subventionné encore plus généreusement l'investissement des ménages dans les panneaux solaires.

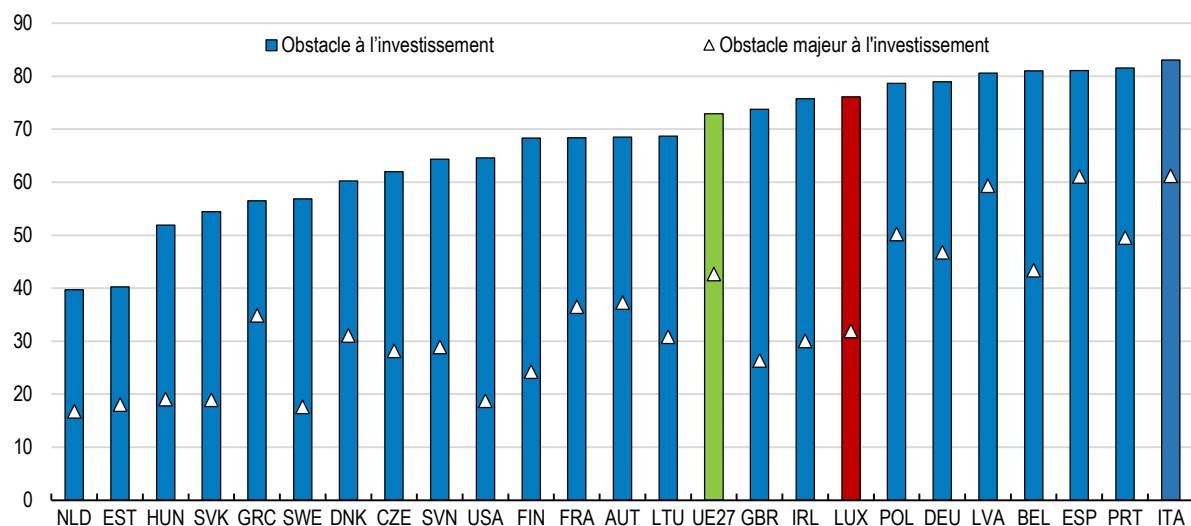
Afin d'accélérer la transition verte vers d'autres sources d'énergie, les entreprises recevront des subventions leur permettant de se procurer de l'énergie hors réseau en installant des équipements photovoltaïques. Elles sont en outre incitées à conclure des contrats à long terme d'achat d'électricité produite à partir de ressources renouvelables (*power purchase agreements* ou PPA) et à délaisser les sources d'électricité non renouvelables. Pour atténuer le risque lié à ces contrats en période d'envolée des prix de l'énergie, le gouvernement s'est engagé à les faire bénéficier d'aides qui couvriront la différence entre le prix du marché et le prix payé dans le cadre d'un PPA, dans l'hypothèse où les prix de l'énergie sur le marché passeront en dessous des prix des PPA. L'aide ne pourra pas dépasser les deux tiers de la différence de prix avec un maximum de 65 EUR/MWh.

Source : (Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2022^[96])

La complexité des facteurs ayant une incidence sur la suppression des plafonds appliqués aux prix de l'énergie à l'avenir est source de très grandes incertitudes quant à la trajectoire future des prix du carbone. L'incertitude entourant le prix du carbone risque de décourager l'investissement (BEI, 2021^[97]) ; (AIE, 2017^[98]) ; (Ren, Shi et Jin, 2022^[99]) ; (Blyth et al., 2007^[100]), en particulier dans un contexte où les incertitudes sont déjà fortes concernant les écoréglementations et les écotaxes (Graphique 2.22). Davantage de certitude permettrait de réduire le niveau de prix du carbone requis pour modifier les comportements. Cela permettrait également de tirer parti du fait que les ménages et les entreprises tendent à réagir davantage à l'évolution des taxes qu'à une hausse générale des prix (D'Arcangelo et al., 2022^[90]) ; (Chetty, Looney et Kroft, 2009^[101]) ; (Andersson, 2019^[102]) ; (Li, Linn et Muehlegger, 2014^[103]).

Graphique 2.22. L'incertitude relative à la réglementation et aux taxes est un obstacle à l'investissement vert

2019, % de l'ensemble des entreprises



Note : Part d'entreprises mentionnant l'incertitude entourant le cadre réglementaire et fiscal comme un obstacle à l'investissement dans des activités visant à s'attaquer aux répercussions des phénomènes météorologiques et à la réduction des émissions.

Source : (BEI, 2020^[104]).

StatLink  <https://stat.link/g6tjif>

Les décisions relatives aux plafonds appliqués aux prix de l'énergie devraient être communiquées en tenant compte de la trajectoire de la tarification du carbone à moyen et long termes, ainsi que de l'impact que ces dispositifs peuvent avoir sur l'économie et la société. Les informations communiquées pourraient contribuer à mettre en évidence la cohérence des décisions prises et à en renforcer la crédibilité. Les autorités pourraient apporter de la certitude en annonçant une trajectoire du prix du carbone tenant compte de l'impact des plafonds appliqués, des taxes en vigueur et des évolutions des prix du marché de l'énergie. Un engagement à ce que le prix du carbone atteigne au moins un certain niveau peut tout de même envoyer des signaux clairs concernant l'orientation des fluctuations du marché, sans nécessairement créer de difficultés supplémentaires à court terme pour les entreprises et les ménages. Cette politique ne viserait pas à relever les taxes carbone alors que les prix de marché de la plupart des types d'énergie ont augmenté, ce qui pourrait mettre en péril la viabilité de la transition. On a déterminé par exemple que le calendrier défini par les autorités françaises pour mettre en œuvre la taxe carbone est l'une des raisons de l'échec de cette politique, compte tenu de la hausse des prix du pétrole (CEDD, 2019^[64]). Fixer un prix du carbone clair à long terme serait également compatible avec tout changement susceptible d'être décidé au niveau européen afin d'appuyer la création de nouveaux systèmes d'échange de quotas d'émissions (Encadré 2.9).

Encadré 2.9. Coordination de la taxe carbone et d'un SEQE potentiellement élargi

Pour atteindre l'objectif de neutralité des émissions à l'horizon 2050, la Commission européenne a proposé de mettre en place des SEQE supplémentaires distincts afin d'élargir la portée du SEQE actuel, avec un mécanisme pour le chauffage résidentiel et les carburants, ainsi qu'un troisième pour encadrer les émissions atmosphériques. Ce sont les fournisseurs d'énergie, plutôt que les consommateurs tels que les ménages, qui demanderaient des permis pour les biens qu'ils vendent, reportant la hausse de leurs coûts sur les consommateurs finaux. La proposition actuelle ne prévoit pas d'allocation gratuite afin d'éviter une délivrance excessive de permis et le fléchissement des prix associé.

Établir une trajectoire claire et de long terme pour le prix du carbone constituerait un atout, que plusieurs SEQE soient en place ou non, car les pouvoirs publics pourraient alors fixer, pour les prix du SEQE, une valeur plancher cohérente avec l'évolution prévue de la taxe carbone.

- ***Cela fournit un signal-prix clair à l'économie.*** Au Royaume-Uni et aux Pays-Bas, le SEQE a été associé à un prix plancher. Le premier pilier de la stratégie hollandaise est une taxe carbone sur les émissions industrielles qui s'applique si les prix du SEQE de l'UE passent au-dessous d'un certain seuil. Dans ce cas, les émetteurs paient la différence avec le prix plancher. Mise en place en 2021 avec une trajectoire claire, cette taxe devrait atteindre un total de 125 EUR par tonne de CO₂ en 2030 (prix du SEQE de l'UE inclus), offrant une certaine sécurité aux secteurs soumis à des prix variables en vertu du SEQE de l'UE.

En Allemagne, où un deuxième SEQE a été mis en place pour les secteurs des transports et du chauffage des bâtiments, l'administration a prépublié les prix des échanges de 2022 à 2025. En 2026, ce SEQE fonctionnera dans la limite d'une fourchette de prix, puis éventuellement avec des plafonds, étant donné qu'il s'agira d'un deuxième système d'échanges plutôt que d'une taxe carbone spécifique. Les entreprises assujetties au SEQE de l'UE bénéficieront d'une exemption des coûts du SEQE de ce mécanisme.

- ***Un prix minimum du carbone a également l'avantage de jeter les bases d'une harmonisation du prix du carbone entre les secteurs*** au lieu de maintenir séparés les marchés du carbone. Des marchés très isolés les uns des autres peuvent accroître les pertes de bien-être si les secteurs où les coûts de réduction de la pollution sont élevés sont ceux dont on attend l'ajustement le plus coûteux.
- ***Cela donne au Luxembourg la possibilité de continuer à participer au projet européen au sens plus large***, tout en continuant à progresser vers les objectifs d'action plus ambitieux qu'il a lui-même fixés.

Source : (Commission européenne, 2021_[105]) ; (Cornago, 2022_[106]) ; (Benaim, 2021_[107]) ; (Böhringer, Lange et Rutherford, 2014_[108]) ; (Böhringer, Rosendahl et Storrøsten, 2017_[109]) ; (Wettengel, 2022_[110]).

Les conséquences budgétaires d'une évolution vers une tarification du carbone plus élevée sont devenues plus incertaines. À court terme, si elle se poursuit, l'évolution des prix mondiaux de l'énergie pourrait amplifier les dépenses liées à l'énergie mais pourrait être compensée par une réduction de la consommation d'énergie sous l'effet du ralentissement de l'économie. Le choc actuel des prix de l'énergie risque d'avoir un effet durable sur la demande d'énergie à long terme au Luxembourg et dans la région. Selon les estimations, l'incidence de la taxe carbone sur les rentrées fiscales du Luxembourg était légèrement négative avant la crise (STATEC, 2020_[67]). Un relèvement du prix du carbone ferait baisser les ventes de carburants aux non-résidents et aux entreprises de transport de marchandises, minorant les recettes provenant des droits d'accise. (STATEC, 2020_[67]) a estimé qu'en 2023, les recettes pourraient être inférieures de 0.1 % à ce qu'elles auraient été sans la taxe carbone, en tenant compte non seulement de la baisse des ventes de carburant, mais aussi du manque à gagner lié aux ventes de tabac. En 2021,

les droits d'accise sur le carburant ont représenté environ 0.8 % du PIB en recettes fiscales, contre 1.1 % entre 2017 et 2019. À plus long terme, l'une des variables clés sera la mesure dans laquelle les prix du carbone varient dans la région plus globalement, étant donné leur influence sur le comportement des camions de marchandises et des travailleurs transfrontaliers en matière d'approvisionnement en carburant (Encadré 2.4). Si des recettes sont générées à court et à moyen terme, elles pourraient servir à appuyer la transition, en contrebalançant les répercussions de la hausse du coût du carbone.

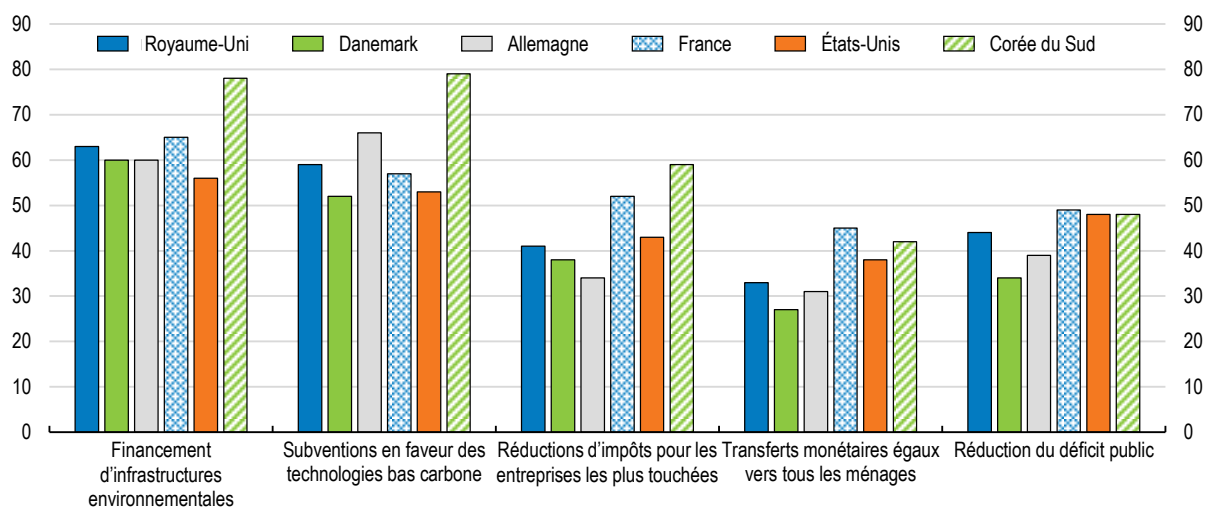
Une politique claire d'utilisation des recettes liées au prix du carbone doit être définie

Bien que les taxes liées à l'environnement visent davantage à modifier les comportements qu'à générer des recettes, la taxe carbone et les autres taxes environnementales créent des sources de revenus à court à moyen terme. À plus long terme, les recettes tirées des taxes environnementales devraient diminuer à mesure que les comportements changeront. Les recherches montrent que les taxes carbone sont mieux acceptées lorsqu'il est clair qu'elles ne visent pas à générer des recettes (Dechezleprêtre et al., 2022^[57]) ; (D'Arcangelo et al., 2022^[90]). Le public tend à favoriser les mesures telles que la préaffectation des fonds au soutien des personnes touchées par la transition verte, ou à l'allègement de la charge fiscale globale (Graphique 2.23). En général, l'affectation explicite des recettes n'est pas privilégiée, car elle crée des rigidités dans les dépenses prioritaires et réduit l'efficacité de l'allocation des ressources publiques. Cependant, la préaffectation des fonds peut concerner un éventail relativement large de domaines, les coûts les plus importants étant associés à une préaffectation très restreinte (Marten et van Dender, 2019^[111]).

Les estimations provenant des modélisations donnent à penser que le reversement des recettes provenant de la taxe carbone peut contribuer à atténuer l'impact de la taxe carbone sur la croissance économique, en supposant que l'effet de la taxe carbone sur les recettes budgétaires globales soit neutre ou positif (Encadré 2.4). Dans le cas où la taxe carbone réduit structurellement les recettes (par exemple, en raison d'une forte baisse des recettes liées au carburant et à d'autres droits d'accise), cette politique donnerait lieu à d'autres compromis budgétaires. Ceux-ci devraient être examinés dans le contexte des objectifs d'action plus généraux, dont le bien-être (voir analyse ci-dessus). Le choix de la façon d'utiliser les recettes liées à la taxe carbone doit se fonder sur une évaluation combinée de l'importance des recettes et de leur incidence sur le cadre budgétaire, sur l'effet économique et social potentiel de l'utilisation des recettes, ainsi que sur une évaluation de l'acceptabilité publique.

Graphique 2.23. Les observations internationales suggèrent que le public soutient davantage une taxe carbone si les recettes sont utilisées à des fins environnementales

Proportion de personnes soutenant la taxe carbone si les recettes sont utilisées pour les mesures suivantes (%)



Source : (Dechezleprêtre et al., 2022^[57]).

StatLink  <https://stat.link/nz06hs>

Si les taxes carbone sont plus élevées ou plus généralisées, il sera davantage nécessaire de les associer à des réformes ou des transferts fiscaux généraux pour qu'elles soient acceptables sur le plan social (Marten et van Dender, 2019^[111]). Les effets redistributifs des mécanismes généraux de redistribution des recettes doivent être évalués, car ils pourraient être plus importants que les effets de la taxe carbone elle-même sur l'inégalité (Williams, 2016^[112]). Les recettes pourraient également appuyer les investissements dans des infrastructures publiques vertes très appréciées du public, telles que les liaisons ferroviaires à grande vitesse (BEI, 2022^[113]). Cependant, elles ne doivent pas servir à augmenter l'aide aux investissements visant à atténuer l'impact de la taxe carbone, car elles risqueraient de subventionner des investissements qui auraient déjà été réalisés si la taxe carbone avait été plus élevée (Marron et Morris, 2016^[114]).

Au Luxembourg, la hausse des prix du carbone pourrait être associée à une réduction des taux de taxation, même si l'intérêt économique d'une telle réduction est limité. Les taux d'imposition moyens des revenus des personnes physiques sont déjà relativement bas, cet impôt ne représentant qu'une part relativement faible des revenus totaux gagnés par rapport à la moyenne de l'OCDE. Le système est très discriminatoire à l'égard des ménages à revenu unique, mais il est peu probable que ce groupe soit favorisé par les réformes fiscales. Si les taux d'imposition des sociétés et le taux d'imposition effectif sont proches de la médiane de l'OCDE, le taux d'imposition des sociétés diminue au fil du temps. Les taux d'imposition des biens immobiliers sont également bas par rapport à ceux des autres pays de l'OCDE.

Il semble donc raisonnable de diriger au moins une partie des recettes provenant de la taxe carbone vers les transferts. Ces transferts pourraient être indifférenciés, favorisant l'ensemble des ménages, ou être ciblés sur les ménages à faible revenu, que la transition verte touche de manière disproportionnée (BEI/Bruegel, 2012^[69]) ; (OCDE, 2021^[34]). Une part des recettes pourrait également servir à améliorer la qualité des transports publics. Au Luxembourg, à ce jour, les recettes supplémentaires générées par la taxe carbone sont utilisées à la fois pour des mesures sociales et pour des mesures environnementales. La mise en place de la taxe carbone a été accompagnée d'une hausse des crédits d'impôt pour les travailleurs à faible revenu, les travailleurs indépendants et les retraités. La moitié des recettes de la taxe carbone actuellement perçues par l'État servent à financer des crédits d'impôt pour les ménages des quatre déciles inférieurs de revenus, l'autre moitié étant consacrée à des investissements climatiques.

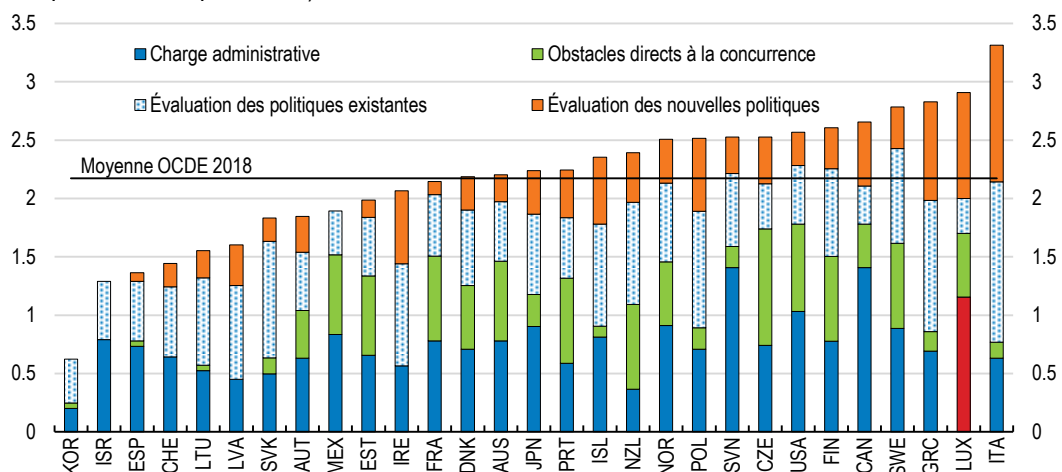
Un certain nombre de pays ont utilisé les recettes tirées de la taxe carbone pour financer des mécanismes explicites de redistribution. La Suède, par exemple, a depuis longtemps annoncé clairement que les subventions et les taxes seraient progressivement ajustées au fil du temps pour tenir compte de la hausse du prix du carbone, mais que cet ajustement s'accompagnerait de transferts au profit notamment des ménages à faible revenu. De 2001 à 2006, les augmentations de la taxe écologique sont ainsi allées de pair avec des baisses de l'impôt sur le revenu ciblant les ménages à faibles revenus. Les augmentations de 2007 à 2013 se sont accompagnées de fortes réductions des impôts sur le travail (Ministry of Finance, 2018^[115]). En Suisse, pour compenser la mise en place d'une taxe carbone sur les combustibles de chauffage, il a été décidé qu'environ deux tiers des recettes de la taxe seraient utilisés pour réduire la fiscalité du travail et un tiers pour financer des investissements en faveur de l'efficacité et de la rénovation énergétiques (Office fédéral de l'environnement (Suisse), 2020^[116]).

La réglementation peut venir compléter la tarification du carbone, mais doit être bien conçue

Dans les cas où les réactions aux prix risquent d'être atténuées, la réglementation peut jouer un rôle de premier plan en aidant à surmonter d'importants obstacles comportementaux au changement, notamment les asymétries de l'information, le manque de prévoyance et l'aversion au risque. Elle peut aider à atteindre des prix d'émissions plus bas à un prix du carbone moins élevé. (Freebairn, 2020^[117]) met en lumière, par exemple, les normes applicables aux appareils électroménagers, à l'isolation des bâtiments, au défrichage des terres et à l'élimination des déchets comme des moyens importants de faire évoluer les comportements. La tarification du carbone doit être complétée par des normes technologiques ou de performance, ou encore l'interdiction de certains produits. Il est toutefois indispensable que ces réglementations soient conçues de manière à ne pas alourdir la charge réglementaire globale pesant sur les entreprises (Berestycki et Dechezleprêtre, 2020^[118]). Les coûts liés au respect des prescriptions réglementaires doivent rester faibles afin d'éviter de creuser les inégalités (OCDE, 2021^[34]). Or, au Luxembourg, le cadre actuel de la réglementation environnementale impose une charge administrative relativement lourde (Graphique 2.24).

Graphique 2.24. La réglementation environnementale du Luxembourg pourrait être mieux conçue

Conception et évaluation des politiques environnementales, indice variant sur une échelle de 0 à 6 (du degré de restriction le plus faible au plus élevé), 2018



Note : L'indicateur de conception et d'évaluation des politiques environnementales mesure la charge potentielle que créent les politiques environnementales pour les marchés, ainsi que le degré auquel les évaluations de ces politiques tiennent compte de cette charge.

Source : (Berestycki et Dechezleprêtre, 2020^[118]).

StatLink  <https://stat.link/xrm2zy>

La réglementation est un facteur important pour appuyer le changement dans le secteur du logement. Les pouvoirs publics ont adopté une réglementation qui impose que tous les nouveaux logements soient construits conformément à des normes de neutralité des émissions à compter de 2023. Cette réglementation avait été précédée d'une période de transition, entre 2018 et 2022, durant laquelle la construction de nouveaux logements devait de plus en plus tendre vers les objectifs de neutralité des émissions. Sa mise en œuvre a été soutenue par une hausse du nombre d'artisans dans le secteur de la construction, mais l'on s'inquiète encore de savoir si cette offre est suffisante. L'effet de la construction de logements neufs sur l'étalement urbain et l'utilisation de la voiture peut être réduit si leur construction est assujettie à une réglementation sur l'aménagement du territoire (voir plus loin).

Une amélioration de la réglementation favorisant la performance énergétique des logements existants serait possible. À l'heure actuelle, aucun règlement n'encadre les normes de performance énergétique des logements existants, même s'il est prévu de relever les exigences relatives à l'isolation thermique d'ici à 2023 (Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, 2020^[6]). Des propositions ambitieuses de règlement applicable à la rénovation peuvent être freinées par des difficultés de surveillance et de mise en œuvre. Par exemple, un système de passeport énergétique a été mis en œuvre au Luxembourg, mais 56 % des propriétaires et des locataires ont indiqué qu'ils ne possédaient pas ce document pour leur bâtiment ou leur appartement, ou qu'ils ne connaissaient pas la classe d'efficacité énergétique de leur logement (Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, 2020^[6]).

L'estimation de l'efficacité énergétique du parc immobilier existant peut s'avérer complexe. Pour encourager la conformité à la réglementation, la France a interdit depuis 2021 aux propriétaires de logements non conformes (les « passoires énergétiques ») d'augmenter les loyers et ils ne pourront plus les louer à compter de 2023. Les bâtiments affichant les plus mauvaises performances énergétiques devront tous être rénovés à partir de 2028. Cependant, un tel modèle créerait un conflit direct entre la politique de rénovation et la nécessité d'accroître l'offre de logements au Luxembourg. La stratégie actuelle du pays en matière de logements précise qu'il pourrait manquer de main-d'œuvre pour répondre aux demandes de rénovation lourde dans le secteur de la construction. Cette pénurie pourrait également limiter la mesure dans laquelle la classification énergétique des logements peut être établie. L'adoption d'un système plus simple que la définition de la classe énergétique des logements existants pourrait faciliter un changement plus rapide. Le projet d'évaluation cadastrale repose actuellement sur un outil cartographique d'analyse des réserves foncières qui indique la superficie et l'âge moyen des habitations (*Raum+*). Ce modèle pourrait former la base d'une estimation cohérente de la performance énergétique des bâtiments, en particulier s'il est relié aux données géospatiales du bureau d'enregistrement des actes de propriété. Si les ménages pensent que les estimations ne sont pas conformes à la réalité, ils peuvent contester la décision, évaluation professionnelle à l'appui.

Les règlements sont également un élément important de la panoplie d'instruments d'action permettant de faire appliquer de nouvelles normes dans l'industrie. L'AIE indique que l'établissement de règlements tels que des normes de performance énergétique minimales applicables à l'équipement industriel essentiel tel que les moteurs, les pompes, les ventilateurs et les appareils de chauffage et de refroidissement pourrait constituer l'une des meilleures approches transversales pour améliorer l'efficacité énergétique dans les principales branches d'activité de l'industrie (AIE, 2021^[119]). La réglementation a également été utilisée pour encourager le remplacement du clinker, l'un des composants les plus énergivores du ciment, par des produits tels que le laitier de haut-fourneau, les cendres volantes des centrales à charbon ou l'argile calcinée (AIE, 2021^[119]). Une comparaison régulière des processus productifs, comme l'analyse sur l'acier et le ciment dans les industries lourdes de l'AIE (AIE, 2021^[119]), garantirait que les normes réglementaires continuent de favoriser l'innovation dans le secteur en fixant des objectifs suffisamment ambitieux. Ces analyses comparatives fourniraient également des indications sur la mesure dans laquelle les aides aux investissements supplémentaires devraient cibler des secteurs et des entreprises spécifiques.

Les aides devraient cibler les investissements initiaux élevés

Les subventions représentent un instrument important pour aider les entreprises et les ménages à supporter les coûts initiaux élevés de l'ajustement à la transition écologique. Le gouvernement du Luxembourg a mis en place un certain nombre de subventions, notamment pour les ménages. Néanmoins, il est peu probable qu'elles induisent un changement de comportement si elles ne sont pas appliquées en association avec d'autres instruments, étant donné qu'elles s'attaquent peu souvent à l'exigence de modifier fondamentalement certains comportements (BEI /Bruegel, 2012^[69]).

L'offre d'énergies renouvelables met en évidence les limites d'un système s'appuyant principalement sur les aides. Malgré des prix subventionnés et de généreuses aides à l'investissement (pouvant être utilisés simultanément), les ménages et les entreprises n'ont pas investi dans l'accroissement de l'offre d'énergies renouvelables aussi rapidement que l'administration l'avait espéré.

Il faut accroître la concurrence dans le secteur de l'offre d'énergies renouvelables. Les appels d'offres portant sur le solaire, l'instrument clé de la stratégie gouvernementale pour garantir une offre photovoltaïque plus importante, reçoivent un nombre insuffisant de soumissions qui ne reflètent pas toujours la baisse des coûts de déploiement des installations solaires. À l'heure actuelle, deux entreprises privées et les filiales qu'elles détiennent en partie produisent la quasi-totalité de l'électricité éolienne et une part conséquente de l'hydroélectricité, et possèdent la plupart des centrales à biomasse et l'ensemble des projets solaires mis en œuvre dans le cadre de l'appel d'offres de 2018. En outre, les entreprises locales pourraient jouer un rôle plus important dans l'offre d'énergie si les restrictions applicables à l'injection d'électricité sur le réseau industriel privé étaient levées et si les tarifs d'injection étaient plus généreux pour les installations de taille moyenne (entre 30 et 500 MW) (AIE, 2020^[2]). Simplifier les conditions dans lesquelles les entreprises peuvent souscrire des contrats d'achat d'énergie permettrait aussi d'accroître la concurrence globale et l'offre d'électricité. Pour ce faire, il faudrait également faciliter la conclusion d'ententes régionales d'achat d'électricité, et supprimer les obstacles locaux aux accords public-privé, comme la non-admissibilité des majorations carbone.

Des prix de l'énergie plus élevés devraient renforcer l'attractivité et l'adoption des régimes de subventions. Étant donné que les subventions sont financées par les suppléments que paient les consommateurs d'électricité, il sera de plus en plus important de veiller à ce qu'elles soient utilisées de manière économiquement rationnelle. Une évaluation plus explicite des régimes de subventions, axée sur leur coût, leurs résultats et leur adoption, devrait encourager une adaptation et un apprentissage plus rapides. Il a fallu un certain temps pour ajuster les tarifs d'injection afin qu'ils répondent mieux aux besoins des petites et moyennes entreprises. Au Danemark, les marchés publics du principal programme de soutien sont attribués aux mesures de réduction des émissions les moins onéreuses, afin de garantir une répartition efficace des subventions.

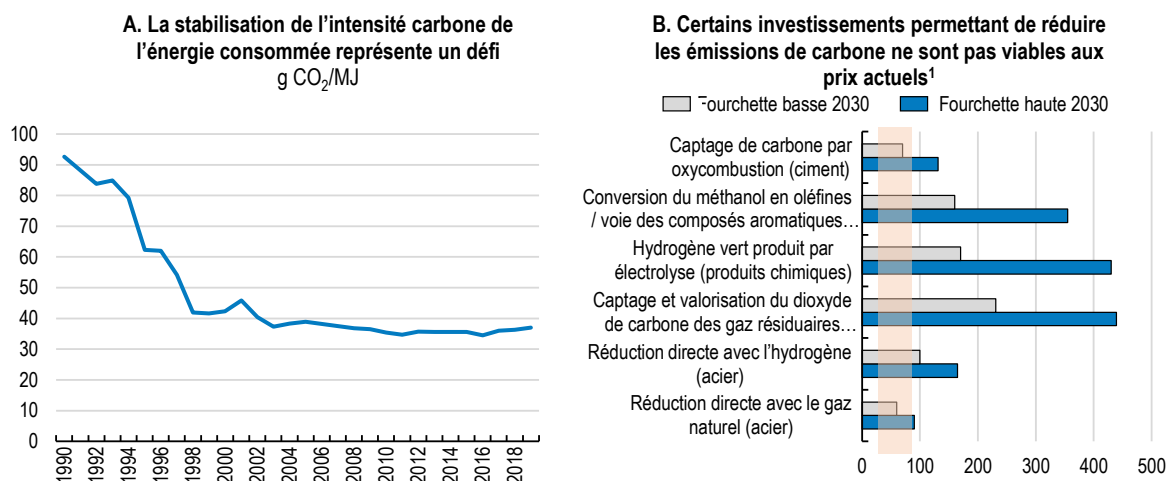
D'autres méthodes de passation de marché pourraient être employées dans le processus d'appel d'offres. Par exemple, dans le cas d'un contrat d'écart compensatoire, l'exploitant de la centrale renouvelable perçoit un prix garanti supérieur si le prix de marché descend au-dessous d'un certain seuil, ou rembourse la différence si le prix de marché dépasse ce seuil. Ce système est important, car le prix de l'énergie tend à diminuer systématiquement au fil du temps, diminuant la rentabilité potentielle de l'investissement. Les contrats d'écart compensatoire peuvent protéger les producteurs d'électricité d'origine renouvelable de la volatilité des prix de marché, mais limitent la responsabilité qu'assument les contribuables et les consommateurs d'électricité. Ils sont utilisés au Royaume-Uni et les Pays-Bas ont récemment été autorisés à y recourir pour plusieurs projets relatifs aux énergies renouvelables. De même, l'Allemagne a lancé ces contrats dans le cadre d'une phase pilote pour les investissements énergétiques réalisés par les industries de l'acier, de la chaux, du ciment et de l'ammoniac.

Pour réduire davantage les émissions dans l'industrie manufacturière, il sera nécessaire de changer de stratégie de soutien de la transition (Graphique 2.25, partie A). Depuis 2010, un accord volontaire en

matière d'efficacité énergétique conclu entre le gouvernement et la fédération entrepreneuriale du Luxembourg (FEDIL) permet aux entreprises participantes de se fixer des objectifs annuels d'efficacité énergétique qui, s'ils sont atteints, leur ouvrent droit à une réduction de leurs taxes et impôts sur l'énergie. Des appels sont actuellement lancés pour étendre cette mesure incitative, étant donné que les coûts des investissements dans l'efficacité énergétique devraient augmenter. Néanmoins, il est probable que ces subventions seront proposées dans un contexte de hausse des prix du carbone au sein du SEQUE de l'UE. Avec des prix plus élevés, nombre de ces investissements énergétiques s'autofinanceraient, notamment parce que les entreprises luxembourgeoises sont très intégrées aux chaînes de valeur européennes, dont les clients exigeront de plus en plus une production plus écologique. Dans ces circonstances, les aides représentent une perte sèche importante, les investissements étant susceptibles d'être réalisés dans tous les cas.

Les aides à l'industrie devraient plutôt être orientées vers le soutien des technologies qui ne sont pas rentables aux prix actuels du carbone (Graphique 2.25, partie B) et qui pourraient réduire la consommation de gaz naturel. Le gaz naturel représente 41 % de l'ensemble de l'approvisionnement en énergie du secteur industriel. Les investissements qui pourraient contribuer à la transition se font sur la durée et nécessitent des prix du carbone bien plus élevés pour être rentables, ce qui tend à freiner les financements privés. Il y a là de quoi inciter les pouvoirs publics à soutenir l'investissement dans ces technologies. Ces aides devraient être neutres sur le plan technologique afin de permettre aux entreprises de choisir la solution qui leur convient le mieux. Les mécanismes pourraient viser soit à fournir un soutien direct, soit à réduire le coût de financement afin d'augmenter la valeur actuelle nette de ces projets. Le Luxembourg établit actuellement une feuille de route de soutien de la décarbonation de l'industrie manufacturière, afin de déterminer et d'évaluer le potentiel de décarbonation d'ici à 2030 et à 2050. De nouveaux dispositifs tels que des subventions directes, des contrats d'écart compensatoire appliqués au carbone et des outils de réduction des risques seront utilisés grâce aux lignes directrices européennes sur les aides d'État, parues en décembre 2021, et aux règles générales d'exemption par catégorie, qui devraient être publiées d'ici fin 2022.

Graphique 2.25. La transition de l'industrie nécessitera de redoubler d'efforts



1. La zone grisée représente la fourchette de prix du CO₂ prévue au sein du SEQUE de l'UE entre 2021 et 2030. Les technologies sont les solutions envisageables pour abandonner la production fondée sur les combustibles fossiles.

Source : AIE et (Sartor, 2021_[120]).

StatLink  <https://stat.link/9yg4c3>

Dans le cadre du programme Fit 4 Sustainability, les entreprises bénéficient des recommandations d'un consultant concernant les mesures qu'elles devraient appliquer pour optimiser leur efficacité énergétique, ainsi que d'un financement généreux pour les projets approuvés, lesquels représentent 70 % du total des projets pour les PME et 50 % pour les grandes entreprises. Ce programme pourrait être conçu de manière

à encourager ces économies d'énergie de fond. Fait intéressant, l'Eurobaromètre (2022) montre que les services d'un consultant pour optimiser l'utilisation des ressources, ainsi que les démonstrations de nouvelles technologies et les conseils en matière de financement sont plus importants que dans les autres pays européens. En revanche, les aides et subventions sont jugées relativement moins importantes (27 % contre 36 % en Europe) (Eurobaromètre, 2022^[63]).

Les aides en faveur de l'efficacité énergétique pourraient toujours être soutenues dans une certaine mesure par les obligations existantes en matière de performance énergétique, selon lesquelles les fournisseurs d'énergie doivent atteindre des objectifs d'efficacité pour les clients. Avec des aides en faveur de l'efficacité énergétique réduites ailleurs, ces programmes pourraient être plus largement adoptés. Les campagnes d'information et les ateliers de formation constituent le meilleur moyen de sensibiliser les entreprises (en particulier petites et moyennes) aux possibilités d'investir de façon prospective dans l'efficacité énergétique, à la mise en œuvre d'audits énergétiques et aux systèmes de gestion de l'énergie (AIE, 2021^[119]). Compte tenu de la lenteur des changements dans le secteur commercial, il faudrait envisager de réorienter les objectifs vers ces utilisateurs. Il faudrait également s'intéresser aux centres de données, compte tenu de la grande quantité d'énergie qu'ils peuvent consommer dans le contexte d'une hausse des températures.

L'action publique doit clairement indiquer comment les compensations du SEQE sont intégrées au soutien global. L'estimation du soutien, prévu par la législation européenne sur les aides d'État visant les risques de hausse des prix du carbone pour les entreprises manufacturières, devrait non seulement prendre en compte le volume des exportations de l'entreprise, mais aussi les tendances clés de la demande sur les marchés d'exportation, de même que le pouvoir de fixation des prix des entreprises, les coûts de transport et les frictions. Les aides doivent également tenir compte des allocations gratuites imputées par le SEQE au Luxembourg, qui n'évoluent presque pas entre 2021 et 2025. Peu d'éléments attestent que la mise en place du système européen d'échanges de quotas d'émission a entraîné une réduction de la production manufacturière (voir l'Encadré 2.3).

Conformément aux pratiques exemplaires sur la fourniture des aides d'État, les compensations devraient être assorties d'une échéance. Le montant des aides devrait être recalculé si une modification importante est apportée aux instruments d'action, comme la mise en place d'un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières. Les valeurs de référence internationales peuvent constituer un outil particulièrement important pour évaluer la performance des entreprises nationales, comme celles publiées dans le rapport de l'AIE sur l'industrie lourde (AIE, 2021^[119]) ou les évaluations complètes des risques climatiques aux échelles nationale et régionale de la BCE. Pour responsabiliser les entreprises, les décisions qui sont confidentielles pour des raisons commerciales devraient être rendues publiques passé un certain délai. S'agissant du type d'aide, une réduction du prix des émissions est la solution la plus efficace, mais les aides à l'investissement dans les technologies de réduction des émissions telles que le captage et le stockage du carbone sont une solution de rechange.

La conception des politiques visant à soutenir la rénovation des habitations pourrait bénéficier d'une évaluation plus quantitative des obstacles à l'utilisation des subventions applicables aux logements. Le régime PRIMeHouse vise à améliorer l'efficacité énergétique et le recours aux renouvelables dans le secteur résidentiel, ainsi que l'utilisation de matériaux de rénovation durables (Ministère de l'Environnement, 2021^[121]). Toutefois, malgré des aides publiques généreuses, les principaux programmes ont été peu utilisés. Entre 2017 et 2021, 1 800 subventions ont été approuvées dans le cadre du programme PRIMeHouse, pour un coût total d'environ 20 millions EUR.

Dans sa stratégie à long terme en faveur de la rénovation, le Luxembourg a cerné un certain nombre de raisons susceptibles d'expliquer le nombre réduit de travaux engagés, dont la méconnaissance du programme, la faiblesse des exigences réglementaires minimales et le prix bas de l'énergie. Cependant, dans sa version la plus récente du programme PRIMeHouse datant de 2022, il semble avoir considéré les processus administratifs comme un obstacle potentiel à l'adoption du programme : les exigences

concernant le recours à un consultant en énergie avant le lancement du projet ont été assouplies. Ce changement tranche avec l'objectif réglementaire annoncé du programme de rénovation des logements, qui devait chercher à accroître le rôle des consultants supervisant les projets.

Étant donné la générosité des aides fournies et l'absence de conditions de ressources, il convient de s'assurer que les projets de rénovation sont suffisamment ambitieux. Les consultants en énergie peuvent aider leurs clients à déterminer s'il est possible d'entreprendre une rénovation lourde à la place de projets plus modestes, et à estimer l'ordre de grandeur des économies possibles. La suppression de l'obligation de recourir à ces professionnels pourrait renforcer encore la tendance actuelle, qui voit les rénovations légères (associées à des économies d'environ 14 kWh par mètre carré par an) prédominer par rapport aux rénovations plus lourdes qui font économiser environ 159 kWh par mètre carré par an (Commission européenne, 2019_[122]). Il convient donc de suivre de près cette modification réglementaire récente, et de réaliser rapidement une évaluation d'impact quantitative, afin de vérifier que les éventuelles conséquences négatives de ce changement sont gérées.

Consolider la transition en coordonnant les politiques du logement et des transports

Une diminution pérenne des émissions dues aux transports passe par l'action régionale

Le transport, qui est le plus gros contributeur aux émissions, constitue l'un des plus gros défis que doit relever le Luxembourg pour réussir sa transition verte. Le meilleur moyen de réduire les émissions qu'il engendre est i) d'éviter les déplacements inutiles ; ii) de se reporter vers des modes de transport durables ; et iii) d'améliorer les technologies de véhicule et les carburants de substitution (FIT, 2021_[123]) ; (D'Arcangelo et al., 2022_[40]). Or, il faut que chaque source d'émission fasse l'objet d'une stratégie particulière si l'on veut véritablement faire évoluer les comportements (FIT, 2021_[123]). La stratégie énergétique du Luxembourg impose au secteur des transports de diviser ses émissions par deux entre 2020 et 2050. Au cours de cette période, les émissions exportées devront diminuer de 46 % et les émissions dues aux transports intérieurs de 55 %.

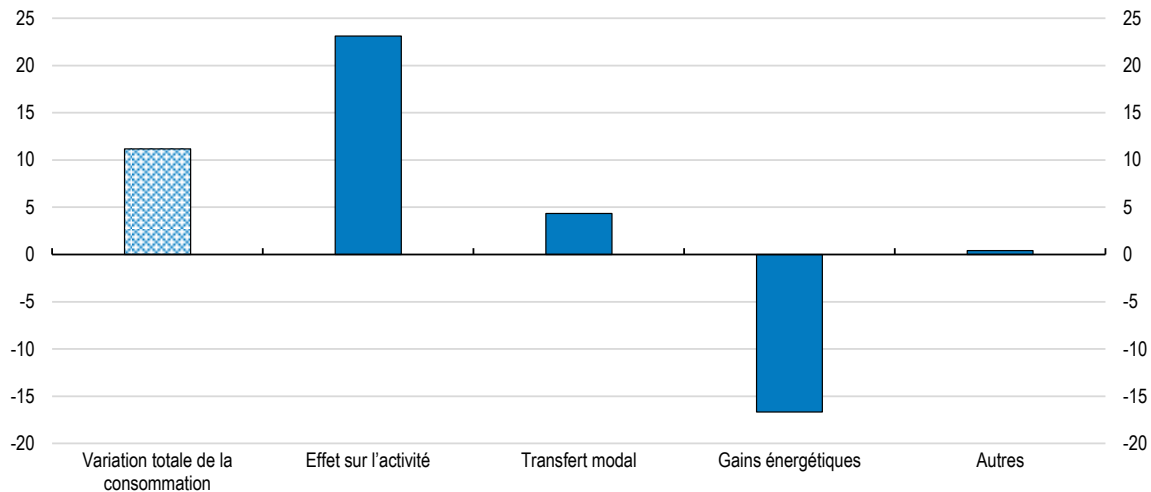
Le premier moyen de réduire les émissions exportées consiste à élever les prix du carbone, afin qu'il soit moins rentable de venir faire le plein au Luxembourg. D'après les estimations du (STATEC, 2020_[67]), la demande étrangère recule de plus de 1 % à chaque fois que le prix des carburants augmente de 1 %. La baisse des ventes de carburant n'est cependant pas garantie. Le succès d'une stratégie de réduction des ventes directes de carburant fondée sur les prix dépendra de la cadence du renchérissement du carbone, par comparaison avec les pays limitrophes (STATEC, 2020_[67]). Il faudra prendre des dispositions particulières pour faire évoluer simultanément le transport transfrontalier de marchandises et le comportement des navetteurs.

Dans le secteur européen du fret, les comportements n'évolueront qu'au prix d'investissements dans les infrastructures

Ces dix dernières années, la croissance du secteur du fret a neutralisé l'incidence des gains énergétiques obtenus (Graphique 2.26). En Europe, l'activité de transport de marchandises par route devrait croître au rythme de 1.9 % par an jusqu'en 2050 (FIT, 2021_[123]).

Graphique 2.26. La croissance du fret en volume neutralise les gains énergétiques réalisés dans le secteur

Variation de la consommation entre 2000 et 2019, en Mtep



Source : Odyssee-Mure (base de données).

StatLink  <https://stat.link/4vnudy>

D'après les résultats d'études internationales, il faudra recourir à un assortiment de mesures pour faire reculer les émissions dues au transport de marchandises. Selon les estimations du FIT, les émissions du fret routier diminueront en Europe de 0.7 % par an à condition que les prix du carbone se situent dans une fourchette de 150-250 USD la tonne d'ici à 2050, que la modernisation tant attendue du système ferroviaire transeuropéen prenne forme dans le RTE-T et que le report de la route vers le rail fasse passer la part du fret ferroviaire d'environ 2 % à 20 % en Europe occidentale (FIT, 2021_[123]). Le Luxembourg s'est fixé pour objectif de réduire les émissions exportées de 3.9 % par an. D'après les estimations du FIT, les émissions de CO₂ imputables aux opérations de transport de marchandises en Europe diminueront d'environ 4 % si le prix du carbone est deux fois plus élevé que dans le scénario central, si des infrastructures de recharge et de ravitaillement bas carbone sont largement disponibles, si la part des véhicules à faibles émissions est nettement plus élevée (autour de 20 % en 2050), si les solutions numériques et autonomes de fret routier se généralisent davantage et si l'activité de transport ferroviaire de marchandises est multipliée par deux par rapport au scénario central (FIT, 2021_[123]).

Le Luxembourg ne parviendra pas à lui seul à faire évoluer les comportements sur le marché européen, mais il doit y contribuer dans le cadre d'initiatives régionales. Dans le cas du transport de marchandises, il s'agira de faire appliquer et respecter les normes et règles plus strictes de l'UE régissant les véhicules, en particulier à court terme, étant donné que la recherche d'efficacité énergétique devrait concentrer l'essentiel des efforts (FIT, 2021_[123]). Il faudrait à plus long terme que les infrastructures luxembourgeoises favorisent le report modal de la route au rail ainsi que le recours aux sources d'énergie alternatives dans le fret ferroviaire. Cela ne signifie pas que le transport de marchandises devra changer du jour au lendemain : contrairement aux voitures particulières, les poids lourds roulant aux carburants alternatifs requièrent des infrastructures coûteuses - par exemple stations-service d'hydrogène ou systèmes de routes électriques - et une grande incertitude demeure quant à la technologie la plus viable à adopter (FIT, 2021_[123]). Le Luxembourg a entrepris d'adapter son infrastructure routière pour faciliter le rechargement des véhicules électriques de transport de personnes et accélérer la mise en place de bornes de recharge rapide pour les voitures et les camions. Il pourrait être utile d'intégrer des capacités supplémentaires au fil de leur déploiement sur le réseau autoroutier et de les adapter ultérieurement au profit d'un type de carburant particulier, comme l'hydrogène, ou la recharge des batteries. Cela viendrait compléter d'autres initiatives, telles que l'installation de la première station-service d'hydrogène en 2022.

Un report modal en faveur du fret ferroviaire réduirait durablement les émissions à l'échelle régionale. Pour l'heure, le fret ferroviaire représente environ 3 % du volume total de marchandises expédiées au Luxembourg, tel qu'exprimé en millions de tonnes-kilomètres. Ce mode ne se prête qu'aux longues distances et complique grandement la coordination de la politique du rail. Cette coordination est pourtant porteuse de nombreux avantages puisque, par rapport aux poids lourds, le train requiert 72 % d'énergie en moins pour déplacer une tonne de marchandises sur un kilomètre (AIE, 2020^[77]). Ces efforts pourraient être coordonnés avec ceux engagés à l'égard du transport ferroviaire de voyageurs (voir *infra*). Entre autres mesures à l'étude pour améliorer l'efficacité énergétique dans le transport de marchandises (Cluster for Logistics, 2019^[124]), le mécanisme d'obligations en matière d'efficacité énergétique prévoit des incitations en faveur du report modal vers le fret ferroviaire. Les données empiriques disponibles pourraient servir à imaginer les incitations de demain.

Réduire les émissions dues aux déplacements quotidiens transfrontaliers

Environ la moitié de la population active luxembourgeoise travaille de l'autre côté de la frontière, ce qui représente 200 000 déplacements quotidiens, dont 85 % sont effectués en voiture de tourisme sur une distance moyenne de 49 km (Lambotte, Marbehant et Rouchet, 2021^[125]). Cette mobilité croît avec l'activité économique. D'après les prévisions du STATEC, le nombre des travailleurs transfrontaliers pourrait avoisiner les 300 000 en 2040 (Haas et Peltier, 2017^[8]).

La main-d'œuvre transfrontalière est encouragée à emprunter davantage les transports en commun. En effet, par personne-kilomètre, les longs déplacements urbains effectués par le rail induisent une consommation finale d'énergie inférieure de 91 % à celle observée dans le cas de la voiture particulière (AIE, 2020^[77]). Un élément fondamental de la stratégie en faveur des transports publics est l'amélioration de l'expérience des usagers. De nombreux navetteurs se soucient davantage de la qualité des transports publics et de la fréquence du service que des tarifs ou de la durée des trajets. Il y a lieu de saluer les projets d'expansion de la gare de Luxembourg et d'accroissement des capacités en lignes ferroviaires, car ils répondent à la nécessité d'améliorer la qualité et la régularité des services afin d'engager un transfert modal en faveur de la consommation.

L'entreprise n'en demeure pas moins colossale. L'objectif fixé dans le Plan national de mobilité est que 19 % des navetteurs transfrontaliers empruntent les transports publics en 2035, contre 15 % en 2017. Cette progression de 4 points de pourcentage représente quelque 30 000 déplacements quotidiens, soit à peu près deux fois plus qu'aujourd'hui. La part des transports publics utilisés par ces navetteurs a augmenté d'un peu plus d'un point de pourcentage entre 2010 et 2017 (Tableau 2.7). Selon toute vraisemblance, les navetteurs transfrontaliers qui travaillent dans le centre-ville sont ceux qui éprouveront la plus grande facilité à emprunter davantage les transports en commun : leur usage est déjà monté à 36.5 % (contre 21.2 % pour le train et 15.3 % pour le bus) (Lambotte, Marbehant et Rouchet, 2021^[125]).

À court et moyen termes, il est peu probable que les transfrontaliers renoncent en masse à effectuer leurs trajets quotidiens en voiture, même si le prix du carburant augmente au Luxembourg. Beaucoup sont actuellement dans l'incapacité d'emprunter les transports en commun. Un très grand nombre travaillent à proximité de la frontière, où, de part et d'autre, les réseaux de transport collectif sont moins denses et le service moins régulier (Lambotte, Marbehant et Rouchet, 2021^[125]). À cela s'ajoutent la dispersion résidentielle et les longs temps de trajet moyens. Les frontaliers travaillent pour beaucoup dans des districts du Luxembourg non desservis par le train (Lambotte, Marbehant et Rouchet, 2021^[125]). D'autres freins au changement seront la gratuité du stationnement, les importants avantages liés aux voitures de fonction et la facilité d'usage de la voiture.

En intégrant la tarification du carbone et d'autres redevances routières dans la politique en place pour accroître la fréquence et la qualité des transports publics, on rendrait probablement plus intéressant, à terme, d'élire domicile à proximité des nœuds de transport public. Cela suppose également de veiller à ce que les activités des entreprises implantées au Luxembourg ne soient pas dispersées sur le territoire, mais concentrées autour de ces mêmes nœuds.

Tableau 2.7. La voiture domine dans le paysage de la mobilité transfrontalière

	Part de la population active intérieure (%)	2010			2017		
		Voiture	Train	Bus	Voiture	Train	Bus
Allemagne	10.2	90	2.5	7.5	89.7	3	7
Belgique	10.3	88	9	3	88.2	7.9	3.9
France	22.6	83	11.5	5.5	80.8	12	6.9
Total	43.2	86	9	5	84.6	9	6.2

Note : travailleurs transfrontaliers non résidents employés en 2019.

Source : STATEC et (Lambotte, Marbehant et Rouchet, 2021^[125]). À noter que les données de 2010 proviennent de l'enquête de mobilité menée en 2010 auprès des travailleurs transfrontaliers, CEPS/INSTEAD (7 235 répondants) ; les données de 2017 proviennent de l'enquête Luxmobil réalisée en 2017 par le ministère de la Mobilité et des Travaux publics.

On ne développera l'usage du ferroviaire qu'en renforçant la présence internationale pour venir à bout des problèmes persistants de coordination. La suppression, en 2016, des liaisons diurnes Bruxelles-Luxembourg-Strasbourg-Suisse tient à l'incapacité des quatre opérateurs ferroviaires en place de convenir d'un plan de modernisation du sinueux tronçon belge (corridor RTE-T mer du Nord-Méditerranée). Des conflits d'horaire ont exacerbé la situation, de même que la mise en place du Système européen de contrôle des trains au Luxembourg, pour laquelle la SNCF n'était pas dotée des locomotives adéquates (Commission européenne, 2021^[126]). Coordonner le rail international n'est pas une mince affaire, comme en témoignent les retards incessants des projets du RTE-T. L'accord « *Une stratégie opérationnelle transfrontalière pour la Grande Région* », qui vise à obtenir et à accompagner une réduction accrue des émissions de CO₂, a été publié en janvier 2021. Il pourrait servir de fondement à une mobilisation plus importante au niveau national. Le Danemark et la Suède ont conclu un accord pour éclairer les politiques clés autour des enjeux transfrontaliers (Encadré 2.10).

Encadré 2.10. Accords internationaux sur les transports transfrontaliers

La communauté urbaine de Copenhague (Grand Copenhague), composée d'élus municipaux et régionaux, a défini ses ambitions dans une charte sur les transports, qui peut servir de point de départ au dialogue avec les États et d'autres acteurs nationaux, tels que les opérateurs ferroviaires danois et suédois. Deux objectifs concrets concernant les déplacements y sont définis : favoriser la mise en place d'un système de transports publics cohérent à l'échelle régionale et rendre Copenhague et Malmö accessibles en une heure de train maximum dans l'ensemble de la région.

Source : (Grünfelder, Huynh et Lidmo, 2020^[127]).

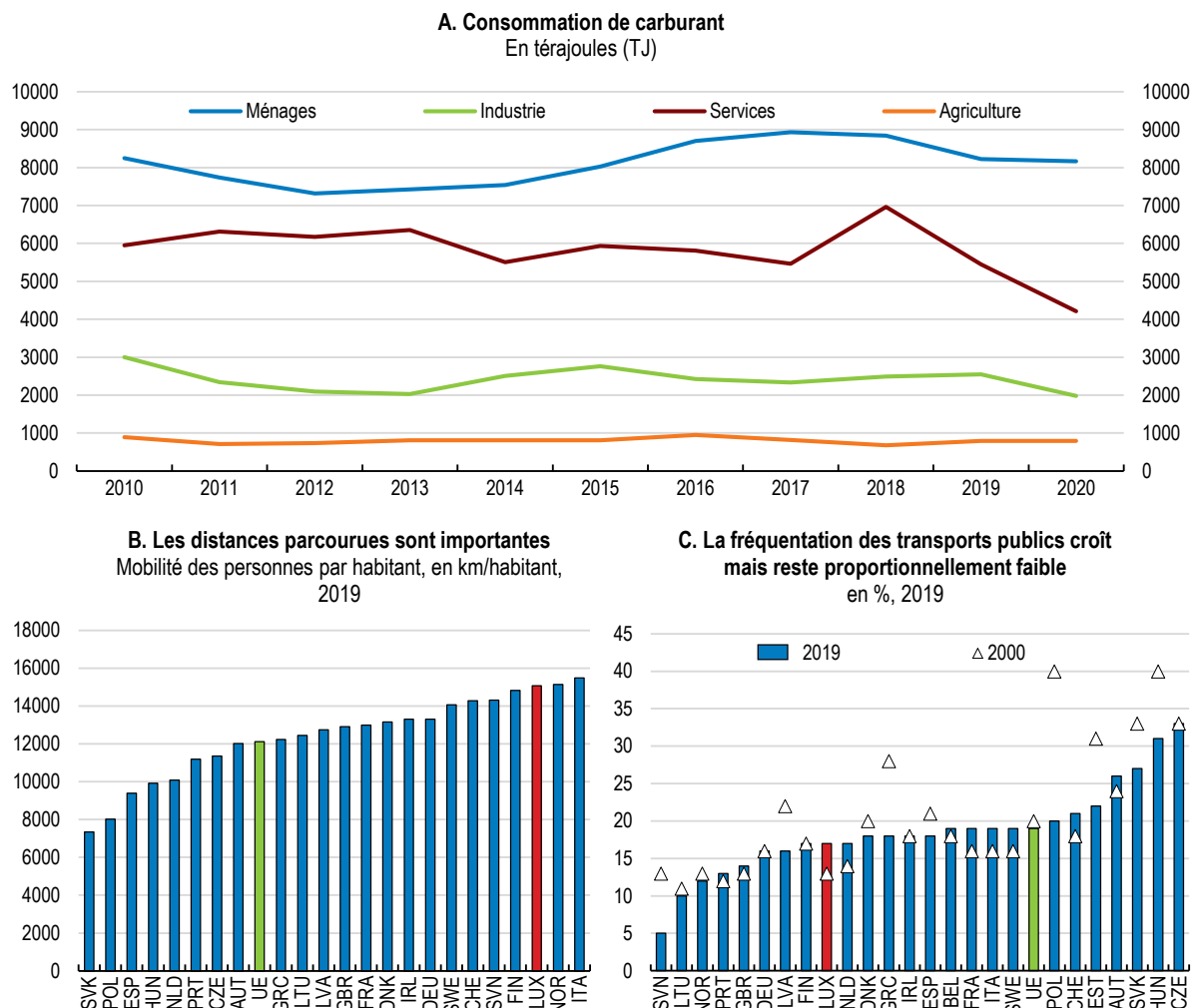
Par ailleurs, il serait envisageable d'inciter les employeurs à introduire une plus grande souplesse horaire pour leurs salariés, transfrontaliers ou non, de manière à réduire la pression sur les nœuds de transport aux heures de pointe. Le développement du télétravail devrait également aider à comprimer les flux d'actifs, au risque toutefois d'accentuer l'étalement urbain et d'accroître les besoins de déplacement (FIT, 2021^[123]). D'où la nécessité de combiner le télétravail avec les efforts déployés par ailleurs pour endiguer l'étalement urbain et développer l'usage des transports publics. Le développement du télétravail frontalier pourrait être difficile à négocier compte tenu des pertes potentielles de main-d'œuvre et de recettes pour les pays limitrophes. À l'heure actuelle, l'Allemagne limite à 19 par an le nombre de jours de télétravail autorisé, la Belgique à 24 et la France à 29 (Lambotte, Marbehant et Rouchet, 2021^[125]). La Belgique et la France ont certes accepté de faire passer ce chiffre à 34 (PWC, 2021^[128]), mais cette décision n'a toujours pas pris effet.

Réduire les émissions dues à l'activité de transport sur le territoire national

Le gouvernement s'est fixé pour objectif de réduire les émissions dues au transport intérieur de 55 % à l'horizon 2040. Elles devront avoir baissé de 25 % en 2025 par rapport aux niveaux de 2020, lesquels étaient déjà en net recul du fait de la pandémie de COVID-19 (PNEC, 2020). À l'heure actuelle, les

ménages représentent un peu moins de la moitié de la consommation totale de combustibles et carburants (Graphique 2.27, partie A). Ils se déplacent surtout, et beaucoup, en voiture et relativement peu en transports en commun, quoique de plus en plus (Graphique 2.27, parties B et C).

Graphique 2.27. La forte dépendance automobile tire à la hausse la consommation de carburant et les émissions



Source : STATEC ; base de données Odyssee-Mure.

StatLink  <https://stat.link/8khl0n>

Il est possible d'abaisser le rapport temps/coût à partir duquel les automobilistes renoncent à prendre la voiture en améliorant l'attractivité relative des autres modes de transport. La stratégie engagée par le gouvernement pour réduire les émissions dues aux transports sur le territoire national consiste principalement à limiter l'utilisation des moteurs à combustion interne en étoffant l'offre de transports publics et en abaissant les coûts d'équipement en véhicule électrique moyennant des primes à l'achat et l'amélioration de l'infrastructure de recharge.

Le gouvernement a l'intention d'élargir, sur la durée, l'offre de service de transports en commun, en particulier de train et de tramway dans le centre du pays. Les régions périphériques, elles, sont principalement desservies par le bus (Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2022^[129]). Depuis mars 2020, les transports en commun sont gratuits pour tous et toutes sur l'ensemble du territoire national. Le flou demeure quant aux conséquences de cette mesure, mais le premier bilan est positif (voir Encadré 2.11). À la gratuité des transports en commun s'ajoute la réforme des réseaux régionaux de bus :

en juillet 2022, la quasi-totalité des résidents vivront à moins d'un kilomètre d'un point d'arrêt et auront accès à un bus gratuit au moins toutes les heures. Une application (mobilité-service) de recherche d'itinéraire plurimodal (bus, tram, train, vélo, marche) permet aux usagers de facilement planifier leurs trajets porte-à-porte.

Les pouvoirs publics ont entrepris d'ériger le cyclisme en mode de transport à part entière, face au constat que 58 % des résidents possèdent un vélo et que 54 % de leurs déplacements couvrent une distance inférieure à 5 km (Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2022^[129]). Actuellement, moins de 5 % des trajets compris entre 1 km et 5 km sont réalisés à vélo, contre les deux tiers en voiture. Le Plan national de mobilité 2035 confère au vélo une place de choix dans le réseau de transport multimodal. Les principaux objectifs qui y sont énoncés à propos de ce mode sont les suivants : permettre de rejoindre à vélo, en toute sécurité, les principaux arrêts de transport en commun dans un rayon d'au moins 2.5 km et relier les trois agglomérations principales par des itinéraires cyclables performants (Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2022^[129]). Il est essentiel d'accorder une attention prioritaire à la mise en place d'infrastructures et d'intersections cyclables continues et sécurisées pour accroître le recours à ce mode de déplacement et le rendre plus sûr (OCDE / FIT, 2015^[130]).

Des mesures plus volontaristes pour encourager le transport partagé pourraient améliorer l'incidence environnementale de la politique en faveur des véhicules électriques. Schématiquement, on parle de mobilité partagée lorsque plusieurs utilisateurs utilisent ensemble le même véhicule – le covoiturage et l'autopartage en sont des exemples. Promouvoir les services de mobilité partagée permettrait de réduire le coût environnemental total de la stratégie actuellement engagée en faveur des véhicules électriques et d'atténuer les risques liés à la non-réalisation des objectifs de réduction des émissions dues à la consommation personnelle. D'après les estimations de l'AIE, les véhicules électriques et les batteries représenteront environ la moitié de la demande en ressources minérales, dont la consommation totale devra quadrupler dans les 20 prochaines années pour que les objectifs de neutralité en GES puissent être atteints à l'horizon 2070 (AIE, 2021^[131]). Cela aura d'immenses répercussions écologiques dans les pays dans lesquels ces ressources sont extraites. Les risques d'effet rebond (hausse de la demande de déplacements due à une baisse des prix) sont rarement pris en considération dans les estimations des reports modaux (OCDE, 2021^[132]). Or, d'après les estimations, l'effet rebond peut être considérable sur le long terme, de l'ordre de 15 % à 30 % (Litman, 2021^[133]). Autrement dit, il est possible qu'une augmentation de 50 % des gains d'énergie se retrouve finalement amputée de 7.5 à 15 points de pourcentage.

Les services de micro-transport à la demande favorisent le renoncement aux véhicules individuels au profit de solutions plus souples (quoique plus onéreuses) que les transports en commun, mais plus économiques et plus respectueuses de l'environnement que les taxis privés (FIT, 2019^[134]). L'État a mis en place l'application mobile « CoPilote » pour encourager le covoiturage malgré la faiblesse des prix du carburant et la pandémie de COVID-19. Il est encore trop tôt pour en évaluer le succès. Le projet de loi autorisant l'usage accru des applications de covoiturage entre particuliers comme celle d'Uber (Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2021^[135]) n'a pas encore été adopté. Le gouvernement s'est déclaré attaché à l'extension du covoiturage afin d'encourager la mobilité partagée et de faire reculer les tarifs des courses de taxi (Schnuer, 2021^[136]) ; (Delles, 2022^[137]).

Encadré 2.11. Répercussions de la gratuité des transports publics sur l'usage de la voiture

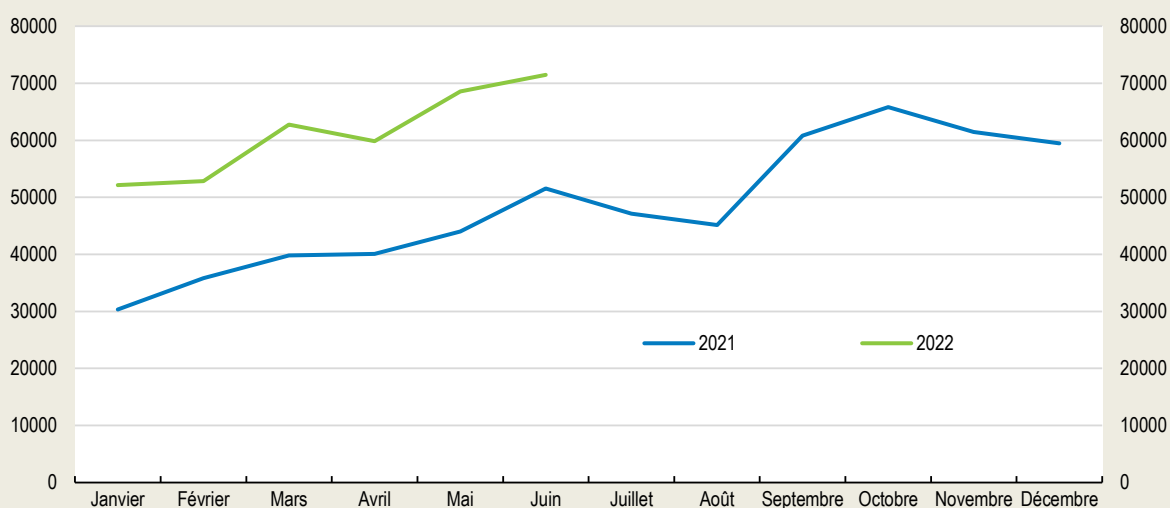
En mars 2020, le Luxembourg a rendu universelle la gratuité des transports publics, tous modes confondus, sur l'ensemble du territoire. Jusqu'alors, seuls les enfants, les étudiants et les ménages les plus modestes en bénéficiaient. Pour favoriser davantage encore l'usage des transports en commun, les autorités ont récemment instauré, dans le cadre d'un programme pilote, la gratuité des services de bus qui sont assurés depuis les parkings-relais (P+R) installés du côté français de la frontière. L'objectif est d'améliorer l'accès aux transports en commun et de réduire l'usage de la voiture.

Dans d'autres pays, plusieurs villes ont mis en place la gratuité des transports publics à titre temporaire afin d'encourager leur utilisation (Göteborg) ou de réduire le nombre de véhicules en circulation (Milan, Prague et Turin). Force est toutefois de constater que cette mesure n'est pas la plus appropriée pour favoriser le renoncement à la voiture. L'expérience d'autres villes montre que la hausse de fréquentation qui en résulte est généralement le fait de personnes qui se déplaçaient auparavant à pied ou à vélo. (Proost, 2018^[138]) constate que les automobilistes ne représentent qu'entre 15 % et 35 % des nouveaux usagers des transports publics, attirés par le facteur prix. La faiblesse de ce report modal tient probablement au niveau trop bas des coûts automobiles. D'où l'idée qu'il faudrait probablement relever ces coûts au lieu d'abaisser les tarifs des transports publics.


Au Luxembourg, la gratuité des transports en commun a succédé au déploiement d'importants efforts visant à améliorer la disponibilité et la qualité du service. Les données disponibles révèlent une montée en flèche de la fréquentation du tramway, qui, d'après le relevé journalier, avait progressé de 52 % en moyenne au premier semestre 2022 par rapport à 2021 (voir Graphique 2.28).

Graphique 2.28. Une fréquentation du tramway en hausse continue

Nombre moyen d'usagers par jour, du lundi au vendredi



Source : Ministère de la Mobilité et des Travaux publics.

StatLink  <https://stat.link/92yb5z>

Le prochain bilan annuel de la gratuité des transports publics est programmé pour 2023. Il y sera tenu compte de la situation observée dans d'autres pays et le champ de l'analyse inclura, outre la hausse de la fréquentation, une description détaillée du report modal (voiture, marche, vélo) et des éléments de réponse à la question de savoir si les ménages les plus modestes sont bien les principaux bénéficiaires de la mesure. L'attention devrait également porter sur les résultats du dispositif pilote de parkings-relais à l'intention des navetteurs transfrontaliers.

Source : (FIT, 2021^[123]) ; (OCDE, 2020^[4]) ; (FIT, 2018^[139]) ; (Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2022^[129]) ; (OCDE, 2021^[132]) ; (Proost, 2018^[138]).

Le cadre régissant les services de taxi et de covoiturage doit être judicieusement pensé. D'après les données mondiales les plus récentes, les services de VTC ne font pas reculer les émissions car ils favorisent les déplacements individuels et s'accompagnent d'un faible taux d'occupation des véhicules, au détriment des autres modes de transport partagé (Crozet, 2020^[140] ; (OCDE, 2021^[132]). Le covoiturage est peu répandu. Il faut un cadre réglementaire contraignant pour que les services traditionnels de transport avec chauffeur et le covoiturage participent à la baisse des émissions (FTI, 2020^[141]). Cela permettrait de contrebalancer le fait que, dans bien des cas, les restrictions imposées à la taille du secteur des taxis ont artificiellement pesé sur les niveaux « normaux » d'utilisation de ses services. Le Luxembourg a déjà pris les dispositions voulues, à travers un projet de loi sur les services de taxi, pour que les taxis et les véhicules de transport avec chauffeur produisent moins d'émissions (Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2021^[135]), mais les normes devraient continuer de se durcir au fil du temps. Il pourrait aussi envisager de réserver un traitement plus favorable aux services de transport regroupé.

Développer la mise à disposition de scooters et de vélos électriques partagés peut augmenter le rayon et la vitesse de déplacement et, ainsi, rendre la voiture moins nécessaire (FTI, 2020^[141]). Les préoccupations soulevées par le stationnement « sauvage » de ces véhicules et les risques qui en résultent pour la sécurité sont souvent disproportionnés par rapport aux problèmes posés par les voitures (Brown et al., 2020^[142] ; (FTI, 2020^[141]). Cela dit, le marché se trouve inondé par un grand nombre d'opérateurs désireux de réaliser des économies d'échelle, ce qui, combiné avec des réseaux de transport public non adaptés à ces nouveaux services, engendre une mise en concurrence pour l'espace entre les piétons et les autres usagers. Les pouvoirs publics ont réagi, notamment en plafonnant le nombre d'opérateurs autorisés (comme à Amsterdam ou à Mexico) ou en imposant des redevances élevées (à Mexico) (FTI, 2020^[141]). Or, il serait préférable d'adopter des règles souples et évolutives en fonction des niveaux de l'offre et de la demande et de trouver des moyens de tenir compte de l'espace nécessaire pour les scooters et vélos partagés dans les objectifs de stationnement et d'usage de la voirie (OCDE, 2021^[132]). Ces règles gagneraient en efficacité si elles étaient assorties de normes minimales censées allonger la durée de vie utile des engins partagés et réduire la consommation d'énergie (EIT, 2022^[143]).

À moyen terme, avec la généralisation des véhicules électriques, une taxe carbone est vouée à moins refléter les autres coûts environnementaux induits par l'usage de la voiture, notamment ceux liés à la congestion et à l'occupation de l'espace. D'où la nécessité de réfléchir à une forme élargie de tarification de l'usage automobile. Le gouvernement a entrepris de revoir le régime de l'avantage des voitures de fonction de façon à en circonscrire le champ d'application aux seuls véhicules à émissions nulles, mais seulement à compter de 2025 (Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2022^[144]). La Californie est allée encore plus loin en remplaçant l'avantage en nature par une rétribution pécuniaire : nombre de travailleurs en ont bénéficié et empruntent désormais les transports en commun (OCDE, 2021^[132]). La suppression pure et simple du régime de l'avantage de la voiture de fonction, une fois le prix du carbone suffisamment élevé, permettrait certainement de faire évoluer les comportements.

Le stationnement peut occuper une place importante dans les coûts que les automobilistes sont prêts à supporter pour plus de commodité. D'après le constat de (Franco et Khordagui, 2019^[145]), quand l'espace de stationnement sur voirie augmente de 10 %, la probabilité qu'un déplacement soit effectué en voiture croît de 1.3 %. (Franco, 2020^[146]) montre également que les individus prennent généralement la voiture pour effectuer des trajets pourtant réalisables à pied ou en vélo dès lors qu'il leur est facile de se garer. À Lisbonne, les tarifs de stationnement sont calculés pour trois zones distinctes et varient selon la densité de transport public et de stationnement. Copenhague compte également trois zones tarifaires et le stationnement coûte plus cher dans les secteurs centraux de la ville. À Strasbourg, le système de tarification, qui couvre trois zones concentriques, impose là encore des prix plus élevés et des durées de stationnement plus courtes en centre-ville que dans la périphérie.

Constatant que la question du stationnement est déterminante dans la décision de prendre le volant, le gouvernement entend publier en 2023 une stratégie nationale par laquelle il formulera des instructions à propos de cette compétence communale. Il y indiquera notamment les modifications à apporter aux règles

de construction de façon à remplacer le nombre minimal de places à réserver au stationnement par un nombre maximal, ainsi que les stratégies fiscales et tarifaires à appliquer à l'égard des espaces de stationnement existants. Les demandes d'autorisation de construction devraient inclure des études d'impact pour tous les modes de transport et pas seulement la voiture (OCDE, 2021^[132]).

Les systèmes de tarification routière contribuent également de manière non négligeable à l'évolution des comportements et à la réalisation des objectifs relatifs au climat et au bien-être, dès lors qu'ils sont conçus à des fins d'utilisation rationnelle de l'espace de voirie et non dans le simple souci d'augmenter la vitesse de circulation ou de réduire la congestion (voir Encadré 2.12). On pourrait envisager de rendre les tarifs dégressifs en fonction du taux d'occupation (OCDE, 2021^[132]). Les coûts induits par la mise en place des péages urbains diminuent sous l'effet de l'évolution constante de l'infrastructure. L'application de normes rigoureuses résout les problèmes éventuels de confidentialité. À l'inverse des règles de stationnement et de planification, ces systèmes présentent l'avantage de pouvoir être déployés à l'échelle nationale, ce qui garantit l'homogénéité de la tarification dans tout le pays.

Encadré 2.12. Faire évoluer les meilleures pratiques en matière de tarification de l'usage du réseau routier

Bien qu'encore peu répandus, les systèmes de péage urbain se multiplient. Des villes comme Londres, Stockholm, Milan et Singapour appliquent des redevances de congestion dans des zones bien précises. Tel Aviv a l'intention de faire de même. La Californie et Séoul, entre autres exemples, disposent de péages routiers le long de certains grands axes. Tous ces systèmes ont permis de réduire le nombre de véhicules individuels circulant en centre-ville : de 21 % à Londres, de 28.5 % à Milan et de 29 % à Stockholm.

Les plus efficaces sont ceux dans lesquels les tarifs dépendent des contraintes d'espace et, par conséquent, d'un critère de temps. Le système de péage routier de Singapour est un exemple de bonne pratique. Il est déployé dans le centre de la ville et le long de plusieurs grands axes, et son tarif calculé automatiquement en fonction de l'heure et du lieu. La grille tarifaire inclut trois périodes de pointe journalières : une le matin, une le soir et une autre à 14h30, heure à laquelle les réunions professionnelles sont généralement programmées. Par ailleurs, un système de péage routier électronique favorise la baisse des vitesses de circulation. Les tarifs sont revus et, si nécessaire, modifiés à un rythme trimestriel.

En Norvège, le gouvernement envisage d'instaurer une redevance routière dont le montant dépendrait de la distance parcourue (calculée par GPS), du lieu et de l'horaire, le but étant que les usagers du réseau routier intègrent les coûts de congestion et les externalités connexes. Les systèmes de tarification forfaitaire comme celui en place à Londres pénalisent les courts trajets et, selon toute vraisemblance, incitent à circuler en voiture une fois la redevance payée. Ils ne sont pas nécessairement efficaces dans les sous-secteurs des transports à croissance rapide (par exemple, livraison et taxis). En revanche, ils sont plus faciles à faire connaître et à comprendre. Stockholm a opté pour un système plus simple, politiquement plus acceptable auprès des résidents. Les automobilistes sont facturés chaque fois qu'ils franchissent la frontière du péage de congestion, à un tarif « heure de pointe » ou « heure creuse ».

Pour faciliter l'acceptabilité sociale des systèmes de tarification routière, des exemptions sont souvent appliquées, avec des conséquences parfois imprévues. Les exemptions accordées aux résidents des zones payantes peuvent faire grimper les prix dans le centre, où les prix du foncier sont déjà plus élevés, et, partant, creuser les inégalités entre résidents et non-résidents du centre. Il est donc possible qu'elles bénéficient aux premiers (riches), tandis que les seconds, aux revenus plus modestes, doivent acquitter la redevance de congestion pour rejoindre leur lieu de travail. En Norvège, les véhicules électriques sont exonérés des redevances de congestion et autorisés à emprunter les voies réservées aux bus, ce qui pourrait renforcer les embouteillages et rendre incontournable l'utilisation de la voiture.

Les pouvoirs publics devraient plutôt s'assurer que des politiques de gratuité sont en place, qui favorisent une plus grande adhésion du public. À Stockholm, les autorités ont d'abord instauré le péage de congestion à titre expérimental pendant sept mois afin de rendre le dispositif socialement plus acceptable. Il s'est accompagné d'importants investissements dans le réseau des transports publics.

Source (D'Arcangelo et al., 2022^[40]) ; (Holtmark et Skonhoft, 2014^[147]) ; (FIT, 2018^[139]) ; (OCDE, 2021^[132]) ; (OCDE / FTI, 2018^[148]).

Vu la place prépondérante que la voiture occupe au Luxembourg, tous niveaux de revenus confondus, il est à craindre que les politiques des transports suscitent des réactions politiques très hostiles. La gravité de leurs répercussions dépendra de l'existence de solutions de rechange. (Mattioli et al., 2019^[149]) montrent que l'usage de la voiture est très variable à l'intérieur d'une même catégorie de revenus. D'où la nécessité, à la fois, de mesurer la vulnérabilité spatiale et d'évaluer la disponibilité des solutions de substitution. Aux États-Unis, les autorités utilisent l'indice d'accessibilité financière du logement et des

transports pour déterminer les niveaux du soutien fourni aux ménages, en fonction de la disponibilité des transports publics (OCDE, 2021_[132]).

Tout comme la communication est importante, la manière de présenter les choix joue aussi un rôle. Il ressort d'enquêtes menées à Lyon, Helsinki, Göteborg et Stockholm que les redevances de congestion sont considérées comme injustes par les répondants à moins qu'il leur soit demandé de choisir entre plusieurs options (file d'attente, attribution publique ou loterie) (Eliasson, 2016_[150]). D'après les données disponibles, l'adhésion est plus forte s'il est évident que la mesure n'est pas génératrice de revenus. Au Royaume-Uni, de toute évidence, le produit de la redevance de congestion est recyclé et les effets environnementaux du dispositif sont plus importants (OCDE, 2021_[132]).

Les mesures n'ont pas à être mises en œuvre simultanément et peuvent l'être progressivement, au fil du temps. Il faudrait d'abord s'employer à rendre moins avantageux le fait de bénéficier d'une voiture de fonction et à majorer les taxes carbone. Un plan de majoration des redevances routières devrait clairement favoriser la hausse des taux d'occupation tout en dissuadant d'utiliser la voiture.

L'aménagement du territoire pourrait servir de manière plus judicieuse à réduire les émissions dues aux transports et à concilier les problématiques de l'offre de logement et de l'environnement.

La décision des ménages de se déplacer en véhicule de transport individuel ne se résume pas à un choix personnel : elle est dictée par des impératifs de logement et de travail (OCDE, 2021_[132]). La demande induite et l'étalement urbain sont les principales forces déterminantes de la dépendance automobile et du niveau élevé des émissions planétaires (OCDE, 2021_[132]). – le Luxembourg n'y fait pas exception. En 2014, plus de 30 % de sa population urbaine résidait dans des zones caractérisées par une densité très faible, d'après la définition de l'OCDE (entre 150 et 1 500 habitants par kilomètre carré). (Lambotte, Marbehan et Rouchet, 2021_[125]) ont montré que les personnes qui utilisent le moins les transports publics sont les résidents des régions périphériques, qui ont attiré de nombreux actifs désireux de bénéficier de prix immobiliers plus abordables moyennant un allongement relativement limité de leurs trajets quotidiens. Bien souvent, leurs habitations ne se trouvent pas dans un lieu central, mais sont dispersées, tandis que les emplois, généralement implantés dans les zones périphériques, sont regroupés autour des centres commerciaux situés non loin de la frontière (Lambotte, Marbehan et Rouchet, 2021_[125]). La dépendance automobile est donc très importante. Par comparaison avec le reste de l'Europe, le Luxembourg affiche le plus grand nombre de voitures par ménage (Eurostat, 2021_[151]) et ses habitants comptent sur la voiture pour effectuer plus de 65 % de leurs trajets d'une distance comprise entre 1 km et 5 km (Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2022_[129]). Le gouvernement doit trouver des moyens de rapprocher le nombre de voitures par ménage de la moyenne européenne, mais aussi de réduire l'ampleur de l'usage automobile.

En regroupant la planification de l'occupation des sols et des transports, il est possible de réduire la demande de déplacements et de raccourcir les distances parcourues, sans sacrifier à l'accessibilité et tout en limitant l'étalement urbain (OCDE, 2018_[152]). Selon des estimations obtenues par modélisation, l'aménagement de l'espace est porteur de gains non négligeables au niveau mondial. D'après les travaux de (Fulton, Mason et Meroux, 2017_[153]), ainsi que ceux de (Fulton, 2018_[154]), une planification combinée permettrait de réduire le volume total des émissions dues aux transports d'environ 76 %, contre 44 % quand les efforts de réduction concernent uniquement la conversion aux technologies propres (par exemple, véhicules électriques). Il s'agit surtout de réduire les distances parcourues et de favoriser un usage plus intensif des transports publics et des services de mobilité partagée. D'après les estimations exposées dans ces mêmes études, cette stratégie ferait baisser les coûts d'environ 40 %, du fait de la diminution du nombre des véhicules à acheter et des besoins en infrastructures de voirie et de stationnement.

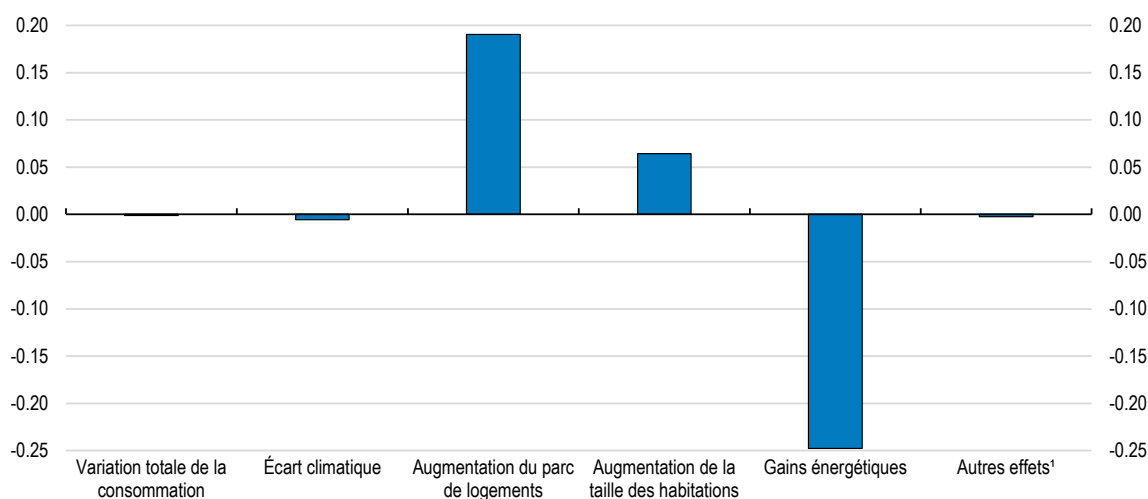
Qui dit réduction de l'usage automobile dit aussi moins d'espace dédié aux voitures et, éventuellement, plus d'espaces verts ou récréatifs (OCDE, 2021_[132]). Il importe d'en tenir compte pour améliorer la

perception de la vie dans les quartiers urbains et favoriser ainsi la densification des zones urbaines. Bien que le Luxembourg soit l'un des pays de l'OCDE les moins densément peuplés, des enquêtes montrent que le niveau de bruit ressenti est relativement élevé (Stráský, 2020^[155]). La crise du COVID-19 pourrait accentuer l'étalement urbain en incitant davantage de personnes à déménager du centre (Ahrend et al., 2022^[156]). Il est également possible de limiter l'imperméabilisation des sols en réduisant l'espace réservé aux voitures, en densifiant les zones urbaines et en aménageant les friches. Au Luxembourg, la surface urbanisée chaque jour en moyenne est de 0.46 hectare (Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, 2022^[157]). Or, la stratégie de l'UE pour les sols à l'horizon 2030 impose aux pays de mettre un terme à l'augmentation nette de la surface de terres occupées d'ici à 2050 (Commission européenne, 2021^[158]).

Dans un petit pays comme le Luxembourg, la concurrence pour l'espace à usage vert et la nécessité de faire croître le nombre de logements d'au moins 4 000 par an multiplient les points de friction potentiels entre les objectifs d'offre de logement et ceux de la politique environnementale (Graphique 2.29). Le gouvernement a commandé une étude visant à établir s'il fallait revoir la conception des ceintures vertes pour satisfaire les besoins potentiels en logement. Les auteurs de cette étude ont établi qu'il n'y avait pas lieu de modifier la politique des ceintures vertes, vu la surface potentiellement disponible déjà affectée à l'aménagement (LISER et al., 2021^[159]). Pour que cette conclusion se vérifie dans les faits, il convient de lever les obstacles de taille qui entravent l'accélération de la densification des logements dans les quartiers existants, ce qui suppose de concilier les objectifs, pour l'heure divergents, des autorités nationales et communales et de trouver des incitations à l'aménagement foncier.

Graphique 2.29. Les émissions de CO₂ liées au logement augmentent

Variation de la consommation entre 2000 et 2019, en Mtep



1. « Autres effets » désigne principalement l'évolution des comportements de chauffage.

Source : Odyssee-Mure (base de données).

StatLink  <https://stat.link/5j0ad7>

La coordination des politiques nationales et communales d'urbanisme progresse à grands pas. Le Luxembourg réfléchit à un programme directeur d'aménagement du territoire (PDAT) qui favoriserait la densification moyennant la mise en place de trois centres urbains, de façon à réduire la pression sur la ville de Luxembourg et à multiplier les pôles de croissance de part et d'autre du pays. Il lui faut en effet relever l'immense défi de garantir l'utilisation durable des ressources foncières et naturelles tout en veillant au bien-être des citoyens et en répondant aux besoins d'aménagement. Les modifications apportées à la loi en 2018 et consolidées en 2021 ont élargi la portée juridique de la politique nationale en imposant que les procédures de planification municipale soient toutes en conformité avec les autres plans directeurs sectoriels dits « logement », « transports », « paysages » et « zones d'activité économique ». Ces plans

sectoriels sont élaborés par les autorités nationales aux fins de l'exécution du Programme directeur d'aménagement du territoire (PDAT). C'est au ministère de l'Intérieur qu'il incombe de surveiller le respect des plans d'aménagement des communes.

Bien que propices à la cohérence globale du système, ces instruments n'en constituent pas pour autant la panacée en matière de coordination gouvernementale. Il conviendrait d'élaborer les politiques nationales conformément au Programme directeur d'aménagement du territoire, de même qu'il devrait être obligatoire, y compris au niveau national, de coordonner les projets d'investissement avec ce programme. Un moyen d'étoffer l'offre pourrait être de renchérir les terrains non bâtis au moyen des prélèvements nationaux, ce qui est actuellement à l'étude (voir chapitre 1). La politique fiscale nationale viendrait ainsi utilement compléter la possibilité qu'ont les communes, mais que très peu utilisent, de frapper d'une taxe spécifique certains terrains non bâtis. Il serait en outre possible d'amoindrir la demande excédentaire de logements en supprimant progressivement la déductibilité des intérêts d'emprunt hypothécaire (comme exposé dans le chapitre 1) et de rendre l'étalement urbain moins attractif en mettant fin au généreux dispositif qui permet de déduire de la déclaration d'impôt sur le revenu les frais de déplacement entre le domicile et le lieu de travail, jusqu'à un montant de 2 970 EUR par an (OCDE, 2020^[4]).

S'agissant de la densification, un certain nombre de communes de grande taille considérées comme présentant un potentiel en la matière s'y opposent franchement. C'est aux communes qu'il incombe, en premier ressort, de délivrer les permis de construire et de fixer le statut des terrains concernés. Lorsque les priorités communales et nationales divergent, il n'est pas rare que le parlement s'empare de la question ; en effet, plus d'un tiers des députés siègent également dans les conseils communaux.

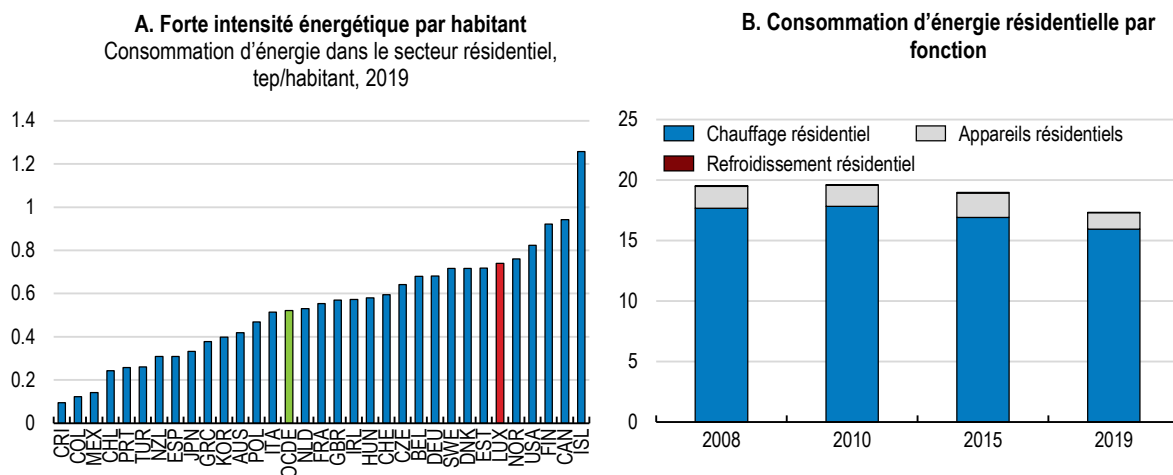
Une cohérence des incitations proposées aux communes est nécessaire pour soutenir la stratégie de telle sorte que leur expérience et expertise soient judicieusement mises à profit. Les mesures actuellement prévues dans le Pacte Logement pour accroître l'offre de logements reposent sur des incitations financières versées indépendamment du lieu ou des caractéristiques de construction. Les petites communes ont ainsi accéléré leur expansion, mais guère les communes de taille plus importante, dont la population s'oppose davantage à la hausse des permis de construire (Carr et Hesse, 2020). Il faudrait que les incitations financières prévues dans le Pacte Logement pour stimuler l'offre de logements rejoignent le Programme directeur d'aménagement du territoire (PDAT), voire qu'elles le renforcent. Pour cela, elles ne devraient concerner que les zones considérées comme présentant un potentiel de densification dans le Programme directeur d'aménagement du territoire (PDAT). Parmi les autres critères envisageables figurent la densité et le taux d'occupation.

Il convient d'améliorer les incitations offertes aux propriétaires de logement pour soutenir la densification. D'après l'hypothèse selon laquelle « l'électeur vote pour sa maison » (*home-voter hypothesis*), les propriétaires comptent sur les élus locaux pour protéger la valeur de leur investissement immobilier en bloquant la poursuite de l'aménagement foncier land (Fischel, 2002^[160]) ; (Gyourko et Molloy, 2015^[161]). Il est possible de doper l'offre de terrains d'origine privée en intervenant auprès des ménages. Ainsi, le projet de loi dit « Baulandvertrag » portant modification de la Loi modifiée du 19 juillet 2004 concernant l'aménagement communal et le développement urbain (Ministère de l'Intérieur, 2021^[162]) vise à accélérer la procédure de modification des plans d'aménagement général et à autoriser le ministère de l'Intérieur à intervenir pour forcer la réorganisation des parcelles. Le gouvernement envisage actuellement de recourir à l'instrument dit des droits d'aménagement transférables pour procurer de nouveaux droits d'aménagement aux propriétaires fonciers qui ne peuvent ou ne veulent pas investir dans les délais prévus par le projet de loi relative aux contrats sur les terrains à bâtir (*Baulandvertrag*) (Di Stefano et al., 2022^[163]). Cet instrument est largement utilisé aux États-Unis, où l'on retiendra qu'il ne porte ses fruits que si le montant total des logements est judicieusement estimé et que le transfert des droits est cohérent avec le reste du plan d'aménagement de façon à éviter l'étalement urbain.

La création de nouveaux logements doit avoir pour but d'accroître la densité résidentielle. Autrement dit, il faut construire des bâtiments plus hauts, en particulier autour des pôles de transport (Stráský, 2020^[155]).

D'ambitieuses politiques de rénovation visant à réduire les émissions pourraient servir à densifier l'habitat existant, principalement composé de logements individuels. Pour réduire les émissions résidentielles de 57 % d'ici à 2050, conformément à l'objectif fixé par le gouvernement, il faudra multiplier par trois le taux actuel de rénovation du parc de logements existants en le portant à 3 %. Cela permettra de faire diminuer les frais de chauffage, poste qui représente la plus grosse partie des émissions du secteur résidentiel (Graphique 2.30). La facture des rénovations peut être très élevée. Entre 2012 et 2016, la rénovation énergétique lourde du bâti résidentiel a coûté en moyenne 30 % de plus au Luxembourg que dans les pays limitrophes (Commission européenne, 2019^[122]). Le programme actuel de subventions (versement d'une prime de 10 000 EUR pour la densification d'une maison) pourrait être accompagné d'une réforme du régime de délivrance des autorisations, qui, dans nombre de communes, limite la densité des unités résidentielles. La possibilité de diviser un bien en plusieurs logements permettrait d'accroître la rentabilité des projets de rénovation, l'offre de logements et les gains énergétiques globaux, dans la mesure où la densification de l'habitat tend à faire baisser les besoins en énergie.

Graphique 2.30. Le poste du chauffage explique la forte intensité énergétique du secteur résidentiel luxembourgeois



Source : AIE, *Energy Efficiency Indicators*.

StatLink  <https://stat.link/7w5h96>

Il pourrait falloir compléter le dispositif en place par une aide supplémentaire à l'intention des propriétaires demeurant dans le quartier (Graphique 2.31). D'après (Wicki, Hofer et Kaufman, 2021^[164]), il ressort d'enquêtes menées auprès des habitants des grandes métropoles qu'ils opposent généralement une certaine résistance aux projets de densification proches de chez eux. Néanmoins, cette résistance s'atténue dès lors qu'ils sont associés à la planification et qu'il existe des orientations claires pour améliorer l'équité sociale.

Encadré 2.13. Revoir la conception des villes pour réduire l'usage automobile

Les villes ne doivent plus être conçues suivant le principe, ardemment défendu dans les années 50 et 60, selon lequel les rues sont faites pour les voitures. En effet, les rues ont la double fonction de lien et de lieu, ce qui, une fois explicitement admis, permet aux décideurs de repenser les espaces physiques de façon à légitimer la densification sans sacrifier à la qualité de vie.

À Barcelone, les autorités ont introduit le concept de *superilles* (« super-îlots »), qui cherche à concilier les impératifs d'accès et de mobilité avec l'objectif de réduire l'espace de circulation automobile. L'intérieur de chaque îlot est réservé aux espaces ainsi qu'aux déplacements des piétons et des cyclistes, tandis que les voitures et les véhicules de livraison y disposent d'un seul point d'entrée et de sortie. Le réseau de bus est organisé en quadrillage autour des différents îlots, d'où il est dès lors plus facile d'accéder aux transports en commun.

À Pontevedra, la municipalité a cherché à revitaliser la ville en stoppant l'étalement suburbain et en faisant revenir des habitants dans le centre-ville. Cela supposait de modifier le rapport à la voiture. Les autorités municipales ont donc piétonnisé la moitié des rues larges, revu de fond en comble la stratégie de stationnement et amélioré les services de transport en commun. Résultat : le centre-ville compte désormais davantage de résidents et le trafic automobile y est moins dense.

En Nouvelle-Zélande, plusieurs villes, dont Tauranga et Christchurch, ont appliqué la méthode fondée sur le principe « lien et lieu » pour traiter conjointement les problématiques de l'occupation des sols et des transports. Ces initiatives ont inspiré les principes directeurs nationaux de la planification de la voirie et des décisions d'investissement connexes dans la mesure où l'importance stratégique des axes et de l'usage des terrains adjacents y est davantage reconnue. Londres a également fait appel à cette méthode pour classer les soumissions présentées pour les marchés de voirie, et l'Australie du Sud pour moderniser son réseau de voirie.

Le concept de « ville du quart d'heure » consiste à réorganiser les aménagements physiques existants de telle manière que la population vive à proximité d'un certain nombre de services et puisse y accéder à pied et à vélo à l'intérieur de trois rayons distincts. L'objectif est d'améliorer l'accès et de réduire l'usage de la voiture.

Source : (Duany et Steuteville, 2021^[165]) ; (OECD, 2021^[166]) ; (Waka Kotahi NZ Transport Agency, 2021^[167])

Une transformation radicale de l'espace urbain peut toutefois rencontrer une résistance. Des villes expérimentent l'urbanisme tactique, qui permet à la population de vérifier par elle-même si les solutions proposées procurent les avantages escomptés (OCDE, 2021^[132]). Cela suppose de les déployer à titre temporaire et non permanent afin de faciliter l'adaptation et de voir ce qui fonctionne au cas par cas. Un grand nombre de villes y ont déjà recouru pour réaffecter l'espace de voirie : par exemple, Copenhague dans la rue Nørrebrogade, New York à travers le « Plaza Programme », Melbourne en aménageant le parc pop-up dans le quartier de Yarraville et San Francisco avec le programme de *parklets*, qui permet aux citoyens de réinvestir les places de stationnement (Rowe, 2013^[168]). De son côté, la ville de Bruxelles a profité du confinement instauré pendant la pandémie de COVID-19 pour engager des projets d'urbanisme tactique et accélérer, début 2020, la mise à exécution du plan régional de mobilité 2020-30, « Good Move », adopté peu avant (Bruxelles Mobilité, 2020^[169]). Le succès des initiatives d'urbanisme tactique passe également par de vastes consultations (Encadré 2.13).

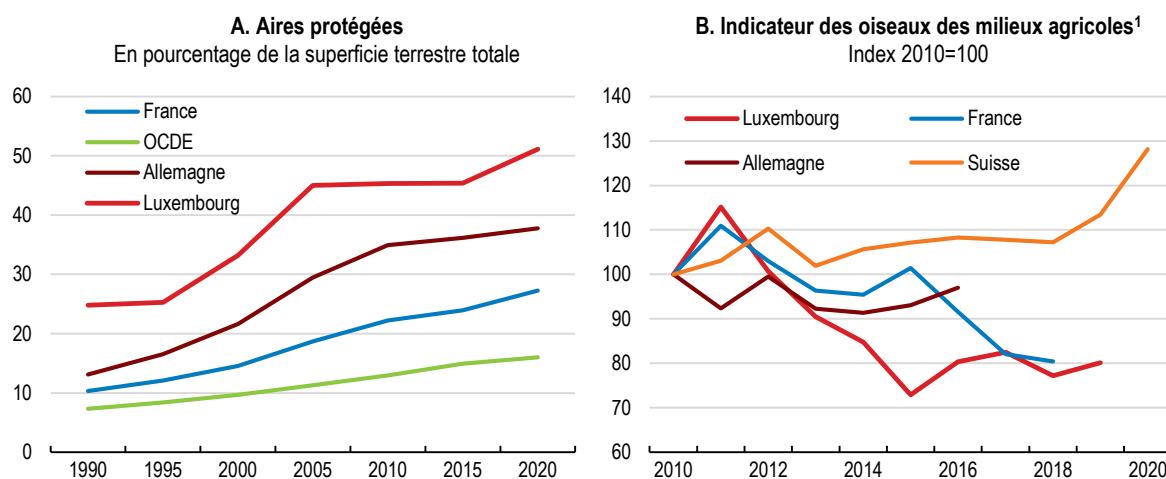
L'agriculture doit être plus respectueuse de l'environnement

La politique agricole devrait être considérablement renforcée de manière à mieux appuyer les objectifs climatiques. Le Luxembourg a encore beaucoup à faire pour améliorer la biodiversité. Bien que la superficie des zones protégées ait doublé entre 1990 et 2020 (Graphique 2.32, partie A), la plupart d'entre elles sont en mauvais état. L'Observatoire de l'environnement naturel – organisme qui a pour mission

d'évaluer l'état de la biodiversité au Luxembourg – estime que deux tiers des habitats et trois quarts des espèces observées dans le pays sont dans un état de conservation défavorable ou mauvais (Observatoire de l'environnement naturel, 2022^[170]).

La construction et l'essor urbain contribuent à l'appauvrissement de la biodiversité au Luxembourg, mais l'essentiel des dommages environnementaux est imputable au secteur agricole. La place importante de l'élevage dans l'agriculture et une grande utilisation d'engrais et de pesticides ont contribué à la dégradation de l'habitat naturel. L'utilisation d'engrais et de pesticides doit être étroitement surveillée parce que tout excès peut être très dommageable pour l'environnement et la santé humaine. D'après des études menées à l'échelle de l'UE, l'utilisation de pesticides a dégradé la biodiversité agricole (Sud, 2020^[171]). L'indicateur des oiseaux des milieux agricoles, qui est une mesure couramment utilisée pour évaluer la diversité des terres agricoles, montre que la dégradation a également été importante au Luxembourg au cours de la dernière décennie (Graphique 2.32, partie B).

Graphique 2.32. Bien que la superficie des zones protégées ait augmenté, la biodiversité s'est dégradée



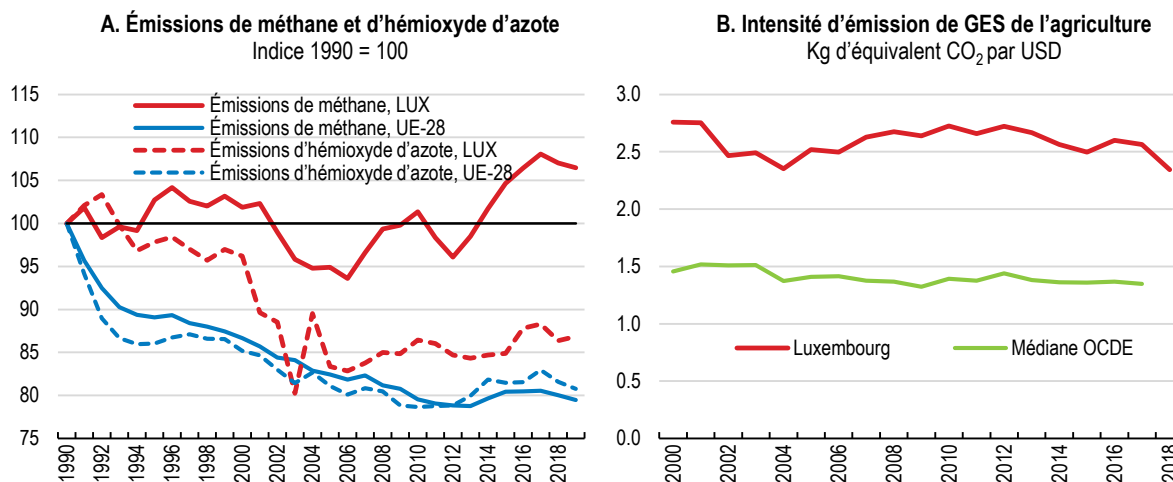
1. Indice agrégé des estimations d'évolution des populations d'un groupe d'espèces d'oiseaux nicheurs qui dépendent des surfaces agricoles pour nidifier ou se reproduire. On ne dispose de données antérieures à 2010 pour le Luxembourg.

Source : OCDE, statistiques sur les zones protégées ; et OCDE, Indicateurs agro-environnementaux.

StatLink  <https://stat.link/chnq3p>

L'agriculture non seulement influe sur la biodiversité, mais contribue aussi au changement climatique via les émissions de gaz à effet de serre. Bien que la part de l'agriculture dans le total des émissions de gaz à effet de serre (GES) au Luxembourg avoisine 7 %, le secteur représente une source importante d'émissions d'hémioxyde d'azote et de méthane, qui sont deux puissants GES. Le méthane est un gaz émis par les ruminants via les effluents d'élevage et les rejets gastro-entériques, tandis que les émissions d'oxyde nitreux sont principalement dues à l'épandage d'azote, y compris à ses inefficacités (GIEC, 2020^[172]). Bien que les émissions d'hémioxyde d'azote du Luxembourg aient diminué du même ordre de grandeur que la moyenne de l'UE depuis 1990, ses émissions de méthane ont augmenté, malgré la tendance à la baisse observée au sein de l'UE (Graphique 2.33, partie A). L'intensité d'émission de l'agriculture est également nettement supérieure à la médiane de l'OCDE (Graphique 2.33, partie B).

Graphique 2.33. Les émissions de méthane augmentent et l'intensité d'émission globale est élevée



Source : OCDE, Indicateurs agro-environnementaux.

StatLink  <https://stat.link/pum3g7>

Malgré les effets négatifs que l'agriculture est susceptible d'avoir sur le changement climatique et la biodiversité, une gestion durable des terres peut contribuer à réduire les conséquences néfastes du changement climatique sur l'écosystème et la société (GIEC, 2020^[172]). Il est donc essentiel d'améliorer les pratiques agricoles en réduisant l'intensité d'élevage et en se tournant vers une agriculture plus biologique en vue de préserver la biodiversité.

L'impact de la réglementation pourrait être renforcé par une réforme des subventions agricoles, de manière à inciter les agriculteurs à adopter des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement. C'est notamment ce qu'a fait la Suisse par exemple, en supprimant les paiements directs destinés aux éleveurs et en les augmentant pour les agriculteurs qui sont en mesure d'atteindre les objectifs de biodiversité (OCDE, 2017^[173]).

La nouvelle politique agricole commune (PAC) de l'UE – qui sera mise en œuvre à partir de 2023 et mettra davantage l'accent sur « l'agriculture verte » – instaurera, dans le premier pilier, des « écorégimes » destinés aux agriculteurs qui s'engageront, de manière facultative, au-delà des exigences réglementaires, en adoptant notamment des pratiques qui favorisent une meilleure gestion des éléments nutritifs, l'agro-écologie ou le bien-être animal (Commission européenne, 2022^[174]). Les États membres seront tenus de consacrer au moins 25 % de l'enveloppe des paiements directs aux écorégimes, sans plafond, et seront libres d'adopter leur propre régime en fonction des besoins du pays. Ces régimes offriront donc la possibilité d'orienter l'agriculture vers des pratiques plus durables. Le Luxembourg a déjà mis en place des écorégimes conformes à la nouvelle directive. À court terme, des paiements de transition pourraient être versés aux agriculteurs pour leur permettre de s'adapter aux changements et pour améliorer l'acceptabilité sociale de ces réformes.

Tableau 2.8. Recommandations pour garantir une économie verte et dynamique à l'horizon 2050

Conclusions	Recommandations (principales recommandations en gras)
Veiller à une bonne anticipation des risques climatiques	
<p>Le secteur financier est confronté à des risques de transition mais il joue un rôle clé à travers la mise au point d'instruments financiers verts. Les écarts entre les données disponibles, les labels et les attentes des investisseurs sont susceptibles d'engendrer des risques de communication et de réputation, ainsi que des risques juridiques.</p>	<p>Continuer à adapter la réglementation et la surveillance du secteur financier à mesure que des vulnérabilités et des risques liés au climat sont révélés par les tests de résistance et méthodes similaires.</p> <p>Simplifier la communication sur la transition verte en établissant de nouveaux labels clairs qui éclairent les choix des investisseurs et favorisent diverses approches de la transition.</p>
<p>La population est très favorable à la transition écologique, mais ce soutien pourrait s'éroder dans la mesure où les ménages devront engager des changements de comportement importants. La Stratégie nationale à long terme en matière d'action climat prévoit de renforcer la participation des citoyens.</p>	<p>Le dialogue avec la société civile devrait prendre la forme d'interactions régulières avec les citoyens et s'appuyer sur les analyses publiées par l'Observatoire du climat.</p>
<p>Dans l'ensemble, les risques liés à la transition sont faibles, mais il existe des poches de ménages et d'entreprises vulnérables, qui ne sont pas systématiquement recensées, et les évaluations de l'impact des mesures ne sont pas systématiques.</p> <p>Il n'existe pas de cadre permettant d'évaluer les effets conjugués des mesures, ce qui accroît les risques en matière de coordination de l'action publique.</p>	<p>L'Observatoire du climat devrait :</p> <ul style="list-style-type: none"> • diffuser régulièrement des travaux de recherche sur les effets de la transition climatique afin d'éclairer le débat public et les décisions des autorités publiques ; • proposer des mesures, en portant une attention particulière à leur effet sur les différentes catégories de ménages, notamment sur leur niveau de revenu.
<p>Les ménages et d'entreprises qui subiront le contrecoup négatif de la transition ne seront pas toujours les mêmes au fil du temps et cette évolution nécessitera un suivi attentif, de même que les conséquences en termes de recettes et de dépenses pour les pouvoirs publics. Bien que les autorités soient déterminées à garantir la viabilité budgétaire de la transition climatique, l'impact à long terme sur le cadre budgétaire n'a pas été estimé.</p> <p>Comme dans la plupart des pays, le budget vert luxembourgeois est axé sur la cotation environnementale uniquement, et non sur une estimation de l'incidence environnementale des politiques publiques.</p> <p>Les projets d'investissement ne tiennent pas compte de la manière dont les risques climatiques pourraient avoir une incidence sur les options envisageables en matière de conception.</p>	<p>Introduire des scénarios et des analyses des sensibilité associées pour évaluer le coût à long terme de la transition verte, et notamment son impact sur les différentes catégories de ménages et d'entreprises.</p> <p>Introduire des prix fictifs du carbone dans l'analyse coûts-avantages des plus grands projets.</p> <p>Faire évoluer le budget vert actuel vers une budgétisation carbone de façon à y inclure les incidences environnementales à court et à long termes des plus grands projets.</p> <p>Les évaluations des projets d'infrastructures publiques devraient mieux prendre en compte les risques climatiques incertains mais lourds de conséquences, y compris les événements improbables mais catastrophiques.</p>
<p>Les pouvoirs publics se concentrent actuellement sur les risques climatiques les plus probables, mais les risques extrêmes pourraient devenir plus fréquents qu'anticipé.</p> <p>Il n'existe aucune approche systématique visant à encourager les assurances privées à couvrir les risques d'inondation.</p>	<p>Développer les approches multi-aléas de la gestion des risques associant tous les acteurs concernés.</p> <p>Promouvoir les polices d'assurance qui encouragent l'adaptation des comportements à l'échelle des ménages et des communes.</p>
Améliorer les instruments pour accélérer les progrès	
<p>Une taxe carbone a été instaurée en 2021 et sera portée à 30 EUR/tonne en 2023. La faiblesse des prix du carbone dope les ventes de carburants aux frontaliers (« tourisme à la pompe ») et affaiblit l'effet des mesures incitant à l'efficacité énergétique. La rapidité et le périmètre des changements requis pour tenir les objectifs environnementaux, en particulier s'agissant des ménages, pourraient amplifier leur résistance à changer de comportement.</p>	<p>Fixer une trajectoire de revalorisation de la taxe carbone à moyen et long terme tout en redistribuant les recettes générées pour réduire le plus possible la charge pesant sur les plus vulnérables.</p>
<p>S'agissant de l'offre d'énergies renouvelables, le Luxembourg est à la traîne des autres pays européens. Les soumissions aux appels d'offres sont peu nombreuses.</p>	<p>Rendre les appels d'offres dans le domaine des énergies renouvelables plus concurrentiels en adoptant les meilleures pratiques de marché, notamment des appels d'offres de réduction des émissions au moindre coût et des contrats proposant des prix fixes à long terme.</p>
<p>Les obstacles administratifs tels que les restrictions liées aux tarifs d'injection et aux contrats d'achat internationaux, ainsi que la</p>	<p>Examiner et supprimer les obstacles réglementaires aux installations privées de production d'énergies renouvelables.</p>

tarification peu attrayante applicable aux petites installations sont des facteurs qui réduisent encore l'offre privée d'énergies renouvelables.	
Les subventions en faveur de l'efficacité énergétique accordées aux entreprises ont contribué à réduire progressivement la consommation d'énergie, mais ne sont pas adaptées pour soutenir des investissements coûteux qui peuvent permettre aux entreprises d'abandonner le gaz naturel et d'autres combustibles fossiles (au profit de l'hydrogène, par exemple).	Les subventions au secteur industriel devraient de plus en plus être destinées à financer le développement et l'adoption de nouvelles technologies réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Leur conception devrait également tenir compte du soutien aux activités couvertes par les systèmes d'échange de quotas d'émission.
L'administration peut influencer sur l'utilisation globale des subventions. Il n'existe cependant pas de cadre d'évaluation systématique des subventions ou de leur conception.	Évaluer l'impact de la modification apportée en avril 2022 aux procédures administratives relatives aux aides à la rénovation des logements, afin d'atténuer tout effet négatif potentiel sur les incitations des ménages à entreprendre des travaux de rénovation lourde.
Cibler les principaux secteurs émetteurs, à savoir ceux des transports et des bâtiments résidentiels	
<p>La hausse des prix du carbone ne suffira pas à elle seule à réduire la congestion, le fret routier ou l'utilisation de la voiture ; il faudra pour cela mettre en place des politiques dynamiques visant à éliminer le biais en faveur de l'utilisation de transports routiers individuels.</p> <p>Les travailleurs frontaliers vivent et travaillent souvent loin des transports publics, tandis que la faiblesse du coût des carburants, la générosité des subventions à l'achat de véhicules et l'extension du réseau routier réduisent les coûts d'utilisation de la voiture.</p> <p>L'intensité du transport transfrontalier de marchandises en Europe occidentale devrait s'accroître régulièrement au cours des 30 prochaines années. Les services ferroviaires transnationaux rencontrent de grandes difficultés de coordination sur certains itinéraires, ce qui limite leur développement.</p>	<p>Faire de la coopération ferroviaire transfrontalière une priorité nationale et viser en priorité à résoudre les problèmes de coordination.</p> <p>Renforcer le zonage urbain de façon à ce que les entreprises s'implantent à proximité de nœuds d'infrastructure de transport public.</p> <p>Moderniser les infrastructures autoroutières pour y installer des infrastructures de recharge électrique et, à terme, développer le ravitaillement en hydrogène afin de favoriser l'évolution des comportements des transporteurs de fret transfrontaliers et des automobilistes pendulaires.</p>
Les trajets effectués dans les transports publics ne représentent qu'une faible proportion de la mobilité totale, et les coûts d'utilisation de la voiture sont très bas en raison des abattements fiscaux applicables aux trajets domicile-travail et aux véhicules de société.	<p>Mettre en place des redevances routières et les augmenter progressivement, tout en rendant plus restrictives les politiques de stationnement.</p> <p>Supprimer les abattements fiscaux généreux applicables aux déplacements entre le domicile et le travail et aux véhicules de société.</p> <p>Renforcer les services d'infrastructure de transport partagé pour encourager une utilisation accrue des transports publics.</p>
<p>L'urbanisme et l'infrastructure de transport, ainsi que les prix des logements, se sont conjugués pour accroître l'étalement urbain et le recours massif à la voiture à Luxembourg et dans la Grande Région.</p> <p>Les efforts déployés pour accroître l'offre de logements risquent de renforcer la dépendance automobile. Les communes dont le Programme directeur d'aménagement du territoire prévoyait l'agrandissement et la densification n'ont pas accru l'offre de logement aussi rapidement que les zones périphériques, où les incitations fiscales ont pu avoir un impact plus important sur les décisions communales.</p> <p>Les Luxembourgeois ont tendance à quitter les zones urbaines, en quête d'une meilleure qualité de vie – tendance qui pourrait s'accroître à la suite de la pandémie de COVID-19.</p>	<p>Recourir à des crédits d'impôt et des incitations financières en faveur des communes pour encourager une plus forte densité urbaine, avec la construction de logements écologiques en conformité avec le Programme directeur d'aménagement du territoire.</p> <p>Vaincre la résistance des résidents locaux à la densification en mettant en œuvre la politique prévue en matière de transfert de droits de propriété ainsi que des dispositifs de compensation de proximité qui soient conformes au PDAT.</p> <p>Promouvoir la vie dans les centres-villes, notamment des concepts tels que la « ville du quart d'heure », avec des projets temporaires de restructuration de l'espace urbain visant à aider les citoyens à envisager la réaffectation de l'espace routier à des fins autres que la circulation automobile.</p>
<p>Le taux de rénovation des logements est faible, malgré la générosité des subventions. La faiblesse des prix de l'énergie réduit l'attrait du processus de rénovation.</p> <p>Les procédures réglementaires, qui ont fait diminuer le recours aux subventions, ont été récemment assouplies.</p>	Accroître la rentabilité potentielle des rénovations énergétiques en octroyant des subventions supplémentaires en faveur des projets de rénovation qui visent à densifier des logements existants, afin d'étoffer l'offre de logements.
La réglementation actuelle est en retard par rapport aux effets négatifs du développement de l'élevage de bétail et de l'usage intensif d'engrais sur l'environnement.	<p>Renforcer la réglementation sur l'utilisation des engrais et des pesticides.</p> <p>Conditionner les aides nationales à l'agriculture à l'adoption de pratiques agricoles durables, protectrices de l'environnement.</p>

Références

- ADEM (2021), *La Construction : Étude sectorielle des tendances en matière de métiers et de compétences*, Agence pour le développement de l'emploi, [39]
<https://adem.public.lu/content/dam/adem/fr/publications/adem/etudes-sectorielles/Eng-ADEM-etudes-sectorielles-Construction-vf-V.pdf> (consulté le 1 novembre 2022).
- ADEM (2021), *Le secteur financier - Étude sectorielle des tendances en matière de métiers et de compétences*, Agence pour le développement de l'emploi, Luxembourg, [38]
<https://adem.public.lu/content/dam/adem/fr/publications/adem/etudes-sectorielles/ADEM-etudes-sectorielles-Secteur-financier-vff-ENG.pdf> (consulté le 1 novembre 2022).
- AEAPP (2021), *Pilot dashboard on protection gap for natural catastrophes*, [18]
https://www.eiopa.europa.eu/content/pilot-dashboard-insurance-protection-gap-natural-catastrophes_en (consulté le 1 novembre 2022).
- AEAPP (2020), *Sensitivity analysis of climate-change related transition risks*, EIOPA, [46]
https://www.eiopa.europa.eu/document-library/publication/sensitivity-analysis-of-climate-change-related-transition-risks_en (consulté le 1 novembre 2022).
- AEMF (2021), *ESMA Report on Trends, Risks and Vulnerabilities*, L'Autorité européenne des marchés financiers, [45]
https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/esma50-165-1524_trv_1_2021.pdf (consulté le 1 novembre 2022).
- Agarwala, M. et al. (2021), « Climate change and fiscal sustainability: Risks and opportunities », [68]
CAMA Working Papers, n° 90, Centre for Applied Macroeconomic Analysis, Crawford School of Public Policy, The Australian National University.
- Ahrend, R. et al. (2022), « Changes in the geography housing demand after the onset of COVID-19: First results from large metropolitan areas in 13 OECD countries », [156]
Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE, n° 1713, Éditions OCDE,
<https://doi.org/10.1787/9a99131f-en>.
- AIE (2021), *Driving Energy Efficiency in Heavy Industries*, Agence internationale de l'énergie, [119]
<https://www.iea.org/articles/driving-energy-efficiency-in-heavy-industries> (consulté le 1 novembre 2022).
- AIE (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, Agence internationale de l'énergie, [131]
<https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (consulté le 1 novembre 2022).
- AIE (2020), *Rail – Analysis*, Agence internationale de l'énergie, [77]
<https://www.iea.org/reports/rail> (consulté le 1 novembre 2022).
- AIE (2017), *Climate Policy Uncertainty and Investment Risk*, Agence internationale de l'énergie, [98]
<https://www.iea.org/reports/climate-policy-uncertainty-and-investment-risk> (consulté le 1 novembre 2022).
- Albrizio, S., T. Kozluk et V. Zipperer (2017), « Environmental policies and productivity growth: Evidence across industries and firms », [30]
Journal of Environmental Economics and Management, n° 81, <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.06.002> (consulté le 1 novembre 2022).

- Alfieri, L. et al. (2015), « Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios », *Global Environmental Change*, vol. 35, pp. 199-212, [16]
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.09.004>.
- Alogoskoufis, S. et al. (2021), « ECB economy-wide climate stress test: Methodology and results », *ECB Occasional Paper Series*, n° 281, ECB, [25]
<https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecb.op281~05a7735b1c.en.pdf> (consulté le 1 novembre 2022).
- Andersson, J. (2019), « Carbon Taxes and CO2 Emissions: Sweden as a Case Study », [102]
American Economic Journal: Economic Policy, vol. 11/4, pp. 1-30,
<https://doi.org/10.1257/pol.20170144>.
- Azzouz, M. et A. Brisson-Félix (2022), « Navigating the sea of proposed climate-related disclosures: A deep dive into the SEC's, ISSB's and EFRAG's proposals », *Natixis newsletter*, <https://gsh.cib.natixis.com/our-center-of-expertise/articles/navigating-the-sea-of-proposed-climate-related-disclosures-a-deep-dive-into-the-sec-s-issb-s-and-efrag-s-proposals> [54]
 (consulté le 1 novembre 2022).
- Banque mondiale (2022), *State and Trends of Carbon Pricing 2022*, Banque mondiale, [94]
 Washington DC, <http://hdl.handle.net/10986/37455> (consulté le 1 novembre 2022).
- BAoD (2015), *Economic analysis of climate proofing projects*, Banque asiatique de [74]
 développement, <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/173454/economic-analysis-climate-proofing-projects.pdf> (consulté le 1 novembre 2022).
- BCE / CERS (2021), « Climate-related risk and financial stability », *ECB/ESRB Project Team on climate risk monitoring*, [44]
<https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/ecb.climateriskfinancialstability202107~87822fae81.en.pdf> (consulté le 1 novembre 2022).
- BCL (2021), « Exposition du secteur financier Luxembourgeois au risque climatique », *Revue de Stabilité Financière*, [47]
https://www.bcl.lu/fr/publications/revue_stabilite/rfs-2021/BCL_RSF_2021_03.pdf (consulté le 1 novembre 2022).
- BEI (2022), *The EIB Climate Survey 2021-2022*, <https://doi.org/10.2867/414948>. [113]
- BEI (2021), « Climate change risks: Firms' perceptions and responses (Chapter 5) », dans [97]
Investment report 2020/2021 : Building a smart and green Europe in the COVID-19 era,
 Banque européenne d'investissement,
https://www.eib.org/attachments/efs/economic_investment_report_2020_chapter05_en.pdf
 (consulté le 1 novembre 2022).
- BEI (2020), *EIB Investment Survey*, Banque européenne d'investissement, [104]
<https://www.eib.org/en/publications/econ-eibis-2020-eu.htm> (consulté le 1 novembre 2022).
- BEI /Bruegel (2012), *Investment and growth in the time of climate change*, [69]
https://www.eib.org/attachments/thematic/investment_and_growth_in_the_time_of_climate_change_en.pdf (consulté le 1 novembre 2022).

- Benaim, E. (2021), *Expanding the ETS to cover the road transport and building sectors would leave many Europeans behind*, Atlantic Council, <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/energysource/expanding-the-ets-to-cover-the-road-transport-and-building-sectors-would-leave-many-europeans-behind/> (consulté le 1 novembre 2022). [107]
- Berestycki, C. et A. Dechezleprêtre (2020), « Assessing the efficiency of environmental policy design and evaluation: Results from a 2018 cross-country survey », *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, n° 1161, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/482f8f8e-en>. [118]
- Bessen, J. et E. Maskin (2009), « Sequential innovation, patents, and imitation », *The RAND Journal of Economics*, vol. 40/4, pp. 611-635, <https://doi.org/10.1111/j.1756-2171.2009.00081.x>. [55]
- Blyth, W. et al. (2007), « Investment risks under uncertain climate change policy », *Energy Policy*, vol. 35/11, pp. 5766-5773, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.05.030>. [100]
- Böhringer, C., A. Lange et T. Rutherford (2014), « Optimal emission pricing in the presence of international spillovers: Decomposing leakage and terms-of-trade motives », *Journal of Public Economics*, vol. 110, pp. 101-111, <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2013.11.011>. [108]
- Böhringer, C., K. Rosendahl et H. Storrøsten (2017), « Robust policies to mitigate carbon leakage », *Journal of Public Economics*, vol. 149, pp. 35-46, <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2017.03.006>. [109]
- Botta, E. et T. Koźluk (2014), « Measuring Environmental Policy Stringency in OECD Countries: A Composite Index Approach », *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, n° 1177, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/5jxrjnc45gvg-en>. [26]
- BRI (2021), *Climate-related risk drivers and their transmission channels*, Banque des Règlements Internationaux, <https://www.bis.org/bcbs/publ/d517.pdf> (consulté le 1 novembre 2022). [23]
- Brown, A. et al. (2020), « Impeding access: The frequency and characteristics of improper scooter, bike, and car parking », *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 4, p. 100099, <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100099>. [142]
- Bruxelles Mobilité (2020), *Good Move: Le Plan régional de mobilité 2020-2030*, Service public régional de Bruxelles, <https://mobilite-mobiliteit.brussels/en/good-move> (consulté le 1 novembre 2022). [169]
- Buckle, S. et al. (2020), « Addressing the COVID-19 and climate crises: Potential economic recovery pathways and their implications for climate change mitigation, NDCs and broader socio-economic goals », *OECD/IEA Climate Change Expert Group Papers*, n° 04, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/50abd39c-en>. [76]
- CEDD (2019), « Quels instruments pour la stratégie climatique? Premières leçons de la crise », *Synthèse*, n° 37, Conseil économique pour le Développement durable. [64]
- CEDEFOP (2020), « Skills forecast 2020: Luxembourg », *Cedefop skills forecast*, CEDEFOP, <https://www.cedefop.europa.eu/en/country-reports/luxembourg-2020-skills-forecast> (consulté le 1 novembre 2022). [49]

- Chetty, R., A. Looney et K. Kroft (2009), « Saliency and Taxation: Theory and Evidence », [101]
American Economic Review, vol. 99/4, pp. 1145-1177, <https://doi.org/10.1257/aer.99.4.1145>.
- Cluster for Logistics (2019), *Guide en vue de la comptabilisation de certaines mesures spécifiques liées au programme Lean & Green dans le cadre du mécanisme d'obligation en matière d'efficacité énergétique*, <https://www.clusterforlogistics.lu/lean-green/lean-and-green-eeo> (consulté le 1 novembre 2022). [124]
- Commission européenne (2022), *Factsheet – a greener and fairer CAP*, [174]
https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/key_policies/documents/factsheet-newcap-environment-fairness_en.pdf (consulté le 1 novembre 2022).
- Commission européenne (2022), « Rapport par pays 2022 – Luxembourg », *Document de travail des services de la Commission*, n° 618, [59]
[https://www.eu.dk/samling/20221/kommissionsforslag/KOM\(2022\)0618/forslag/1887030/2580518.pdf](https://www.eu.dk/samling/20221/kommissionsforslag/KOM(2022)0618/forslag/1887030/2580518.pdf) (consulté le 1 novembre 2022).
- Commission européenne (2021), *Long-distance cross-border passenger rail services*, [126]
 Commission européenne, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/34244751-6ea3-11ec-9136-01aa75ed71a1> (consulté le 1 novembre 2022).
- Commission européenne (2021), *Questions et réponses – Échange de quotas d'émission – Mettre un prix sur le carbone*, [105]
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/qanda_21_3542 (consulté le 1 novembre 2022).
- Commission européenne (2021), *Stratégie de l'UE pour la protection des sols à l'horizon 2030 : Récolter les fruits de sols en bonne santé pour les êtres humains, l'alimentation, la nature et le climat*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0699&from=FR> (consulté le 1 novembre 2022). [158]
- Commission européenne (2021), « The 2021 Ageing Report. Economic and Budgetary Projections for the EU Member States (2019-2070) », [9]
<https://doi.org/10.2765/84455> (consulté le 1 novembre 2022).
- Commission européenne (2019), *Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU*, [122]
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1.final_report.pdf and
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2.annex_to_final_report.pdf (consulté le 1 novembre 2022).
- Cornago, E. (2022), *How to make the new emissions trading system work for consumers*, Centre for European Reform, [106]
<https://www.cer.eu/insights/how-make-new-ets-work-consumers> (consulté le 1 novembre 2022).
- Crozet, Y. (2020), « Cars and space consumption: Rethinking the regulation of urban mobility », [140]
International Transport Forum Discussion Papers, n° 13, ITF, Paris,
<https://doi.org/10.1787/8abaa384-en>.
- D'Arcangelo, F. et al. (2022), « A framework to decarbonise the economy », *OECD Economic Policy Papers*, n° 31, OECD Publishing, Paris, [35]
<https://doi.org/10.1787/4e4d973d-en>.

- D'Arcangelo, F. et al. (2022), « A framework to decarbonise the economy », *OECD Economics Policy Papers*, n° 31, OECD, Paris, <https://doi.org/10.1787/4e4d973d-en>. [40]
- D'Arcangelo, F. et al. (2022), « Estimating the CO2 emission and revenue effects of carbon pricing: new evidence from a large cross-country dataset », *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*. [90]
- Davies, P. et al. (2022), *ISSB Publishes Long-Awaited Exposure Drafts of Global Sustainability Standards*, <https://www.globalelr.com/2022/04/issb-publishes-long-awaited-exposure-drafts-of-global-sustainability-standards/> (consulté le 1 novembre 2022). [53]
- Dechezleprêtre, A. et al. (2022), « Fighting climate change: International attitudes toward climate policies », *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, n° 1714, OECD Publishing, <https://doi.org/10.1787/3406f29a-en>. [57]
- Dechezleprêtre, A. et al. (2019), « Do Environmental and Economic Performance Go Together? A Review of Micro-level Empirical Evidence from the Past Decade or So », *International Review of Environmental and Resource Economics*, vol. 13/1-2, pp. 1-118, <https://doi.org/10.1561/101.00000106>. [31]
- Delera, M. (2021), « Is production in global value chains (GVCs) sustainable? A review of the empirical evidence on social and environmental sustainability in GVCs », *PEGNet Policy Studies*, Kiel Institute for the World Economy (IfW), Poverty Reduction, Equity and Growth Network (PEGNet), Kiel, <https://www.econstor.eu/handle/10419/234422> (consulté le 1 novembre 2022). [32]
- Delles, L. (2022), *Le secteur des PME reste très dynamique*, Le Quotidien, https://gouvernement.lu/fr/actualites/toutes_actualites/interviews/2022/05-mai/17-delles-lequotidien.html (consulté le 1 novembre 2022). [137]
- Di Stefano, M. et al. (2022), *Luxembourg: Recent legal developments in Real Estate*, <https://www.dsm.legal/en/luxembourg-recent-legal-developments-in-real-estate/> (consulté le 1 novembre 2022). [163]
- Dornelles, A. et al. (2020), « Towards a bridging concept for undesirable resilience in social-ecological systems », *Global Sustainability*, vol. 3, p. e20, <https://doi.org/10.1017/sus.2020.15>. [13]
- Duany, A. et R. Steuteville (2021), *Defining the 15-minute city*, <https://www.cnu.org/publicsquare/2021/02/08/defining-15-minute-city> (consulté le 1 novembre 2022). [165]
- Dussaux, D., F. Vona et A. Dechezleprêtre (2020), « Carbon Offshoring: Evidence from French Manufacturing Companies », *Sciences Po OFCE Working Paper*, n° 23, Sciences Po, <http://www.ofce.sciences-po.fr/pdf/dtravail/WP2020-23.pdf> (consulté le 1 novembre 2022). [33]
- Edde, I. (2021), « Estimated cost of flood damage doubles to €120 million », *Luxembourg Times Online*, <https://www.luxtimes.lu/en/luxembourg/estimated-cost-of-flood-damage-doubles-to-120-million-60fa9275de135b9236cb0e6f> (consulté le 1 novembre 2022). [72]
- EIT (2022), *Examining the Impact of a Sustainable Electric Micromobility Approach in Europe*, EIT KIC publications, Eindhoven, <https://eit.europa.eu/library/examining-impact-sustainable-electric-micromobility-approach-europe> (consulté le 1 novembre 2022). [143]

- Eliasson, J. (2016), « Is congestion pricing fair?: Consumer and citizen perspectives on equity effects », *Documents de travail du Forum international des transports*, n° 13, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/79123657-en> (consulté le 1 novembre 2022). [150]
- Eurobaromètre (2022), *SMEs, resource efficiency and green markets*, <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2287> (consulté le 1 novembre 2022). [63]
- Eurostat (2021), *Passenger cars in the EU*, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_cars_in_the_EU (consulté le 1 novembre 2022). [151]
- EY (2021), *Global Climate Risk Disclosure Barometer June 2021: If climate disclosures are improving, why isn't decarbonization accelerating?*, https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/assurance/ey-if-the-climate-disclosures-are-improving-why-isnt-decarbonization-accerlerating.pdf (consulté le 1 novembre 2022). [48]
- Fan, J. et al. (2021), « Statistical physics approaches to the complex Earth system », *Physics Reports*, vol. 896, pp. 1-84, <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2020.09.005>. [22]
- Femenia, F. (2019), « A meta-analysis of the price and income elasticities of food demand », *Working Papers SMART*, n° 19-03, INRAE UMR SMART, <https://ideas.repec.org/p/rae/wpaper/201903.html> (consulté le 1 novembre 2022). [91]
- Fischel, W. (2002), « The Homevoter Hypothesis: How Home Values Influence Local Government Taxation, School Finance, and Land-Use Policies <i>by William Fischel</i> Cambridge: Harvard University Press, 2001. \$45.00 cloth; 344 pp. », *Land Economics*, vol. 78/4, pp. 627-630, <https://doi.org/10.2307/3146859>. [160]
- FIT (2021), *Perspectives des transports FIT 2021*, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/3dd41b17-fr>. [123]
- FIT (2019), *Regulating App-Based Mobility Services: Summary and Conclusions*, Les rapports de table ronde du FIT, n° 175, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/94d27a3a-en>. [134]
- FIT (2018), *The Social Impacts of Road Pricing: Summary and Conclusions*, Les rapports de table ronde du FIT, n° 170, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/d6d56d2d-en>. [139]
- FloodRe (s.d.), *Build Back Better*, <https://www.floodre.co.uk/buildbackbetter/> (consulté le 1 novembre 2022). [86]
- Forzieri, G. et al. (2018), « Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe », *Global Environmental Change*, vol. 48, pp. 97-107, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.007>. [71]
- Franco, S. (2020), « Parking Prices and Availability, Mode Choice and Urban Form », *Documents de travail du Forum international des transports*, n° 3, Édition OCDE, <https://doi.org/10.1787/04ae37c3-en> (consulté le 1 novembre 2022). [146]
- Franco, S. et N. Khordagui (2019), « Commute mode choices and the role of parking prices, parking availability and urban form: Evidence from Los Angeles County », *UCI Working Paper*, University of California, Irving. [145]
- Freebairn, J. (2020), « A Portfolio Policy Package to Reduce Greenhouse Gas Emissions », *Atmosphere*, vol. 11/4, p. 337, <https://doi.org/10.3390/atmos11040337>. [117]

- Frohman, E. et al. (s.d.), « Environmental Policy Stringency, CO₂-emissions and employment - Evidence from cross-country sector-level data », (*forthcoming*). [28]
- FTI (2020), « Safe Micromobility », *International Transport Forum Policy Papers*, n° 85, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/0b98fac1-en>. [141]
- Fulton, L. (2018), « Three Revolutions in Urban Passenger Travel », *Joule*, vol. 2/4, pp. 575-578, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.03.005>. [154]
- Fulton, L., J. Mason et D. Meroux (2017), *Three Revolutions in Urban Transportation: How to Achieve the Full Potential of Vehicle Electrification, Automation, and Shared Mobility in Urban Transportation Systems Around the World by 2050*, University of California, Institute for Transportation and Development Policy New York, https://steps.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2017/05/STEPS_ITDP-3R-Report-5-10-2017-2.pdf (consulté le 1 novembre 2022). [153]
- Gallagher, J. (2014), « Learning about an Infrequent Event: Evidence from Flood Insurance Take-Up in the United States », *American Economic Journal: Applied Economics*, vol. 6/3, pp. 206-233, <https://doi.org/10.1257/app.6.3.206>. [83]
- GIEC (2022), « Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II . », dans Pörtner, H. et al. (dir. pub.), *IPCC Sixth Impact Assessment Report*, Cambridge University Press, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2> (consulté le 1 novembre 2022). [1]
- GIEC (2020), *Special Report: Climate Change and Land*, GIEC, <https://www.ipcc.ch/srccl/> (consulté le 1 novembre 2022). [172]
- GIEC (2020), « The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: a summary of cross-working group discussions », dans *Sixth Assessment Report*, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/02/Risk-guidance-FINAL_15Feb2021.pdf (consulté le 1 novembre 2022). [24]
- GIEC (2018), « Annex I: Glossary, Global Warming of 1.5 », dans *Special report : Global warming of 1.5 °C*, <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/> (consulté le 1 novembre 2022). [12]
- Gillingham, K. et J. Stock (2018), « The Cost of Reducing Greenhouse Gas Emissions », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 32/4, pp. 53-72, <https://doi.org/10.1257/jep.32.4.53>. [65]
- Ginbo, T., L. Di Corato et R. Hoffmann (2021), « Investing in climate change adaptation and mitigation: A methodological review of real-options studies », *Ambio*, vol. 50/1, pp. 229-241, <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01342-8>. [75]
- Goulder, L. et I. Parry (2008), « Instrument Choice in Environmental Policy », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 2/2, pp. 152-174, <https://doi.org/10.1093/reep/ren005>. [66]
- Grunfelder, J., D. Huynh et J. Lidmo (2020), *Transit-oriented development in the Greater Copenhagen Region*, Nordregio, Stockholm, <https://doi.org/10.6027/R2020:15.1403-2503>. [127]
- Gyourko, J. et R. Molloy (2015), « Regulation and Housing Supply », dans *Handbook of Regional and Urban Economics*, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59531-7.00019-3>. [161]

- Haas, T. et F. Peltier (2017), « Projections macroéconomiques et démographiques de long terme: 2017-2060 », *Bulletin du STATEC*, n° 3, STATEC. [8]
- Holtmark, B. et A. Skonhoft (2014), « The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries? », *Environmental Science & Policy*, vol. 42, pp. 160-168, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.06.006>. [147]
- Hudson, P. et al. (2020), « An assessment of best practices of extreme weather insurance and directions for a more resilient society », *Environmental Hazards*, vol. 19/3, pp. 301-321, <https://doi.org/10.1080/17477891.2019.1608148>. [80]
- Hudson, P. et al. (2017), « Moral Hazard in Natural Disaster Insurance Markets: Empirical Evidence from Germany and the United States », *Land Economics*, vol. 93/2, pp. 179-208, <https://doi.org/10.3368/le.93.2.179>. [82]
- IEA (2017), *Climate Policy Uncertainty and Investment Risk*, IEA, Paris, <http://tts://www.iea.org/reports/climate-policy-uncertainty-and-investment-risk> (consulté le 1 novembre 2022). [176]
- ITF (2021), *ITF Transport Outlook 2021*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/16826a30-en>. [179]
- ITF (2018), *The Social Impacts of Road Pricing: Summary and Conclusions*, ITF Roundtable Reports, n° 170, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/d6d56d2d-en>. [182]
- Jans, P. (2021), « Just over 50 percent of Luxembourgish households insured », *RTL Today*, <https://today.rtl.lu/news/luxembourg/a/1818557.html> (consulté le 1 novembre 2022). [81]
- Karagiannis, G. et al. (2019), « Climate change and critical infrastructure – floods », *Science for Policy Report*, <https://doi.org/10.2760/007069>. [17]
- Kaufman, N. et al. (2020), « A near-term to net zero alternative to the social cost of carbon for setting carbon prices », *Nature Climate Change*, vol. 10/11, pp. 1010-1014, <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0880-3>. [95]
- Klose, A. et al. (2020), « Emergence of cascading dynamics in interacting tipping elements of ecology and climate », *Royal Society Open Science*, vol. 7/6, p. 200599, <https://doi.org/10.1098/rsos.200599>. [19]
- Kousky, C. et E. Michel-Kerjan (2017), « Examining Flood Insurance Claims in the United States: Six Key Findings », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 84/3, pp. 819-850, <https://doi.org/10.1111/jori.12106>. [85]
- KPMG (2022), *EU publishes exposure drafts of sustainability standards for consultation*, <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2022/05/european-sustainability-reporting-standards-eu-esrs.html> (consulté le 1 novembre 2022). [51]
- Kruse, T. et al. (2022), « Measuring environmental policy stringency in OECD countries: An update of the OECD composite EPS indicator », *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*, n° 1703, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/90ab82e8-en>. [27]
- l'énergie, A. (dir. pub.) (2020), *Luxembourg 2020 Energy Policy Review*, Éditions OCDE, <https://www.iea.org/reports/luxembourg-2020> (consulté le 27 janvier 2022). [2]

- Labandeira, X., J. Labeaga et X. López-Otero (2017), « A meta-analysis on the price elasticity of energy demand », *Energy Policy*, vol. 102, pp. 549-568, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.002>. [92]
- Lambotte, J., S. Marbehant et H. Rouchet (2021), « Distribution spatiale de l'emploi et des modes de transport des travailleurs actifs au Grand-Duché de Luxembourg Analyse des données de l'enquête Luxmobil 2017 », n° 11, UniGR-CBS Working Paper, <https://hdl.handle.net/2268/260723> (consulté le 1 novembre 2022). [125]
- Lamb, W. et al. (2020), « Discourses of climate delay », *Global Sustainability*, vol. 3, p. e17, <https://doi.org/10.1017/sus.2020.13>. [70]
- Latham and Watkins (2022), « What the CSRD Could Mean for Companies in the EU », *Client Alert Commentary*, n° 2953, Latham and Watkins, <https://www.jdsupra.com/legalnews/what-the-csrd-could-mean-for-companies-7272138/> (consulté le 1 novembre 2022). [52]
- Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg (2022), *Accord: Solidaritétspak 2.0*, <https://gouvernement.lu/dam-assets/documents/actualites/2022/09-septembre/28-tripartite/skm-c36822092814330.pdf> (consulté le 1 novembre 2022). [96]
- Lé, M. (2022), « The adaptation of economies to climate change: lessons from the economic research », *Bulletin de la Banque de France*, n° 239/5, Banque de France, <https://ideas.repec.org/a/bfr/bullbf/202223905.html> (consulté le 1 novembre 2022). [84]
- LISER et al. (2021), *Raum+ Zwischenbericht Siedlungsflächenreserven in Luxemburg 2020/21*, <https://logement.public.lu/fr/publications/observatoire/raumplus-1.html> (consulté le 1 novembre 2022). [159]
- Li, S., J. Linn et E. Muehlegger (2014), « Gasoline Taxes and Consumer Behavior », *American Economic Journal: Economic Policy*, vol. 6/4, pp. 302-342, <https://doi.org/10.1257/pol.6.4.302>. [103]
- Litman, T. (2021), « Smart Transportation Emission Reduction Strategies Identifying Truly Optimal Ways to Conserve Energy and Reduce Emissions », Victoria Transport Policy Institute, <https://www.vtpi.org/ster.pdf> (consulté le 1 novembre 2022). [133]
- Maes, M. et al. (2022), « Monitoring exposure to climate-related hazards: Indicator methodology and key results », *OCDE Environment Working Papers*, n° 201, Édition OCDE, <https://doi.org/10.1787/19970900>. [15]
- Marron, D. et A. Morris (2016), « How to Use Carbon Tax Revenues », *SSRN Electronic Journal*, <https://doi.org/10.2139/ssrn.2737990>. [114]
- Marten, M. et K. van Dender (2019), « The use of revenues from carbon pricing », *Documents de travail de l'OCDE sur la fiscalité*, n° 43, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/3cb265e4-en>. [111]
- Mattioli, G. et al. (2019), « Vulnerability to motor fuel price increases: Socio-spatial patterns in England », *Journal of Transport Geography*, vol. 78, pp. 98-114, <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.05.009>. [149]
- Ministère de la Mobilité et des Travaux publics (2022), *Plan national de mobilité 2035*, <https://transports.public.lu/fr/publications/strategie/pnm-2035-brochure/pnm-2035-brochure-fr.html> (consulté le 1 novembre 2022). [129]

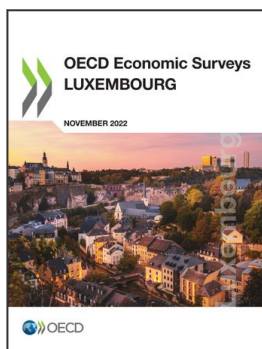
- Ministère de la Mobilité et des Travaux publics (2022), *Présentation du projet de règlement grand-ducal au sujet de la mise à jour du régime de l'avantage en nature des voitures de fonction*, https://gouvernement.lu/fr/gouvernement/francois-bausch/actualites.gouvernement%2Bfr%2Bactualites%2Btoutes_actualites%2Bcommuniques%2B2022%2B01-janvier%2B11-projet-avantage-nature-voitures-fonction.html (consulté le 1 novembre 2022). [144]
- Ministère de la Mobilité et des Travaux publics (2021), *Adaptation de la loi sur les taxis et élargissement du cadre légal aux voitures de location avec chauffeur*, https://gouvernement.lu/fr/actualites/toutes_actualites/communiques/2021/01-janvier/08-adaptation-loi-taxis.html (consulté le 1 novembre 2022). [135]
- Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire (2022), *Couverture et utilisation du sol au Grand-Duché de Luxembourg*, <https://amenagement-territoire.public.lu/dam-assets/fr/actualites/2022/dater-brochure-cartes-chiffres-21102022.pdf> (consulté le 1 novembre 2022). [157]
- Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire (2022), « Natural gas: Security of supply and emergency plan », <https://gouvernement.lu/dam-assets/documents/actualites/2022/10-octobre/19-turmes-plan-urgence/20221019-pk-plan-durgence-gaz-naturel.pdf> (consulté le 1 novembre 2022). [7]
- Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire (2020), « Long-term renovation strategy for Luxembourg », https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-09/lu_2020_ltrs_official_en_translation_0.pdf (consulté le 1 novembre 2022). [6]
- Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable (2018), « Stratégie et plan d'action pour l'adaptation aux effets du changement climatique au Luxembourg 2018-2023 », https://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/klima_an_energie/Strategie-Adaptation-Changement-climatique-Clean.pdf (consulté le 1 novembre 2022). [14]
- Ministère de l'Environnement, D. (2021), *Régime PRIME House: prolongation et réorientation des aides financières au-delà du 31 décembre 2021*, <https://environnement.public.lu/fr/actualites/2021/12/PRIMEHouse.html> (consulté le 1 novembre 2022). [121]
- Ministère de l'Intérieur (2021), « Le Baulandvertrag », Sommaire Ministry of Interior, https://gouvernement.lu/fr/dossiers.gouv_mint%2Bfr%2Bdossiers%2B2021%2BBaulandvertrag.html (consulté le 1 novembre 2022). [162]
- Ministère d'État; Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable; Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire - Département de l'aménagement du territoire (2022), « Lancement du « Bureau du Citoyen pour le Climat » (KlimaBiergerRot) », https://gouvernement.lu/fr/actualites/toutes_actualites/communiques/2022/01-janvier/05-klimabiergerrot-lancement.html (consulté le 1 novembre 2022). [60]
- Ministère d'État, D. et al. (2022), « Lancement du « Bureau du Citoyen pour le Climat » (KlimaBiergerRot) », https://gouvernement.lu/fr/actualites/toutes_actualites/communiques/2022/01-janvier/05-klimabiergerrot-lancement.html (consulté le 1 novembre 2022). [175]

- Ministère Ecologie (2021), *Suivi de la Convention citoyenne pour le climat*, [61]
<https://www.ecologie.gouv.fr/suivi-convention-citoyenne-climat/> (consulté le 1 novembre 2022).
- Ministry of Finance, S. (2018), *Lessons Learned from 25 Years of Carbon Taxation in Sweden*, [115]
<https://www.government.se/48e9fb/contentassets/18ed243e60ca4b7fa05b36804ec64beb/lessons-learned-from-25-years-of-carbon-taxation-in-sweden.pdf> (consulté le 1 novembre 2022).
- Misch, F. et P. Wingender (2021), « Revisiting Carbon Leakage », *Working Paper Series*, [29]
 n° 207, IMF, <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2021/08/06/Revisiting-Carbon-Leakage-462148> (consulté le 1 novembre 2022).
- NGFS (2021), *Guide on climate-related disclosure for central banks*, Network for Greening the [11]
 Financial System,
https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/guide_on_climate-related_disclosure_for_central_banks.pdf (consulté le 1 novembre 2022).
- NGFS (2020), *Overview of Environmental Risk Analysis by Financial Institutions*, Network for [10]
 Greening the Financial System,
https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/overview_of_environmental_risk_analysis_by_financial_institutions.pdf (consulté le 1 novembre 2022).
- Observatoire de l'environnement naturel (2022), *Rapport de l'Observatoire de l'environnement [170]
 naturel 2017-2021*, Observatoire de l'environnement naturel, <https://www.mnhn.lu/wp-content/uploads/2022/03/Rapport-de-lObservatoire-de-lenvironnement-naturel-2017-2021.pdf>
 (consulté le 1 novembre 2022).
- OCDE (2021), *Assessing the Economic Impacts of Environmental Policies: Evidence from a [89]
 Decade of OECD Research*, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/bf2fb156-en>.
- OCDE (2021), « De-risking institutional investment in green infrastructure: 2021 progress [73]
 update », *OECD Environment Policy Papers*, n° 28, Éditions OCDE,
<https://doi.org/10.1787/357c027e-en>.
- OCDE (2021), *Effective Carbon Rates 2021: Pricing Carbon Emissions through Taxes and [93]
 Emissions Trading*, OECD Series on Carbon Pricing and Energy Taxation, Éditions OCDE,
<https://doi.org/10.1787/0e8e24f5-en>.
- OCDE (2021), *Études économiques de l'OCDE : France 2021*, Éditions OCDE, [62]
<https://doi.org/10.1787/80013359-fr>.
- OCDE (2021), « The inequalities-environment nexus: Towards a people-centred green [34]
 transition », *OCDE Green Growth Papers*, n° 01, Édition OCDE,
<https://doi.org/10.1787/ca9d8479-en>.
- OCDE (2021), *Transport Strategies for Net-Zero Systems by Design*, Éditions OCDE, [132]
<https://doi.org/10.1787/0a20f779-en>.
- OCDE (2020), *Examens environnementaux de l'OCDE : Luxembourg 2020*, Examens [4]
 environnementaux de l'OCDE, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/91951f4d-fr>.
- OCDE (2020), *L'ascenseur social en panne ? Comment promouvoir la mobilité sociale*, Éditions [43]
 OCDE, <https://doi.org/10.1787/bc38f798-fr>.

- OCDE (2019), *Sous pression : la classe moyenne en perte de vitesse*, Éditions OCDE, [42]
<https://doi.org/10.1787/2b47d7a4-fr>.
- OCDE (2018), *Rethinking Urban Sprawl: Moving Towards Sustainable Cities*, Éditions OCDE, [152]
<https://doi.org/10.1787/9789264189881-en>.
- OCDE (2017), *Green Growth Indicators 2017*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, [3]
 Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/9789264268586-en>.
- OCDE (2017), « Reforming agricultural subsidies to support biodiversity in Switzerland: Country Study », *OECD Environment Policy Papers*, n° 8, Éditions OCDE, [173]
<https://doi.org/10.1787/53c0e549-en>.
- OCDE (2016), *Financial Management of Flood Risk*, Éditions OCDE, [78]
<https://doi.org/10.1787/9789264257689-en>.
- OCDE (2015), *Disaster Risk Financing: A global survey of practices and challenges*, Éditions OCDE, [87]
<https://doi.org/10.1787/9789264234246-en>.
- OCDE / FIT (2015), *Le vélo, santé et sécurité*, Les rapports de recherche du FIT, Éditions OCDE/FIT, [130]
<https://doi.org/10.1787/9789282105979-fr>.
- OCDE / FTI (2018), *Policy Priorities for Decarbonising Urban Passenger Transport*, [148]
<https://www.itf-oecd.org/policy-priorities-decarbonising-urban-passenger-transport> (consulté le 1 novembre 2022).
- OECD (2021), *OECD Regulatory Policy Outlook 2021*, OECD Publishing, Paris, [58]
<https://doi.org/10.1787/38b0fdb1-en>.
- OECD (2021), *Transport Strategies for Net-Zero Systems by Design*, OECD Publishing, Paris, [181]
<https://doi.org/10.1787/0a20f779-en>.
- OECD (2021), *Transport Strategies for Net-Zero Systems by Design*, OECD Publishing, Paris, [183]
<https://doi.org/10.1787/0a20f779-en>.
- OECD (2021), *Transport Strategies for Net-Zero Systems by Design*, OECD Publishing, Paris, [166]
<https://doi.org/10.1787/0a20f779-en>.
- OECD (2020), *Examens environnementaux de l'OCDE : Luxembourg 2020*, Examens environnementaux, Éditions OCDE, [185]
<https://doi.org/10.1787/91951f4d-fr>.
- OECD (2020), *OECD Environmental Performance Reviews: Luxembourg 2020*, OECD Environmental Performance Reviews, OECD Publishing, Paris, [177]
<https://doi.org/10.1787/fd9f43e6-en>.
- OECD (2020), *OECD Environmental Performance Reviews: Luxembourg 2020*, OECD Environmental Performance Reviews, OECD Publishing, Paris, [180]
<https://doi.org/10.1787/fd9f43e6-en>.
- OECD (2016), *Financial Management of Flood Risk*, OECD Publishing, Paris, [178]
<https://doi.org/10.1787/9789264257689-en>.
- OECD / ITF (2018), *Policy Priorities for Decarbonising Urban Passenger Transport*, OECD Publishing, Paris, [184]
<https://www.itf-oecd.org/policy-priorities-decarbonising-urban-passenger-transport> (consulté le 1 novembre 2022).

- Office fédéral de l'environnement (Suisse) (2020), *Taxe sur le CO2*, [116]
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/mesures-reduction/taxe-co2.html> (consulté le 13 juin 2021).
- Phylipsen, D., A. Anger-Kraavi et C. Mukonza (2020), *CPLC Executive Brief: Distributional Impacts of Carbon Pricing On Households*, [36]
<https://climatestrategies.org/publication/cplc-distributional-impacts/>.
- Proost, S. (2018), « Reforming private and public urban transport pricing », *Documents de travail du Forum international des transports*, n° 15, Éditions OCDE, [138]
<https://doi.org/10.1787/3567dda4-en>.
- PWC (2021), *Teleworking and cross-border workers*, [128]
<https://www.pwc.lu/en/newsletter/2021/teleworking-cross-border-workers.html> (consulté le 1 novembre 2022).
- Reguant, M. (2019), « The Efficiency and Sectoral Distributional Impacts of Large-Scale Renewable Energy Policies », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 6/S1, pp. S129-S168, [41]
<https://doi.org/10.1086/701190>.
- Ren, X., Y. Shi et C. Jin (2022), « Climate policy uncertainty and corporate investment: evidence from the Chinese energy industry », *Carbon Neutrality*, vol. 1/1, p. 14, [99]
<https://doi.org/10.1007/s43979-022-00008-6>.
- Ritchie, P. et al. (2021), « Overshooting tipping point thresholds in a changing climate », *Nature*, [20]
vol. 592/7855, pp. 517-523, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03263-2>.
- Rowe, H. (2013), *Smarter ways to change: learning from innovative practice in road space reallocation*, [168]
<https://apo.org.au/node/59916> (consulté le 1 novembre 2022).
- Sartor, O. (2021), *What policy priorities need to be met to kickstart the EU industry transition*, [120]
Agora Energiewende and Wuppertal Institute, https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_Clean_Industry_Package/2021-06-01_Presentation_State_of_Play_EU_Industry.pdf (consulté le 1 novembre 2022).
- Schnuer, C. (2021), « Taxi reform opens path for rideshares », *Delano online newspaper*, [136]
https://delano.lu/article/delano_taxi-reform-opens-path-rideshares (consulté le 1 novembre 2022).
- Sims, C. et D. Finnoff (2016), « Opposing Irreversibilities and Tipping Point Uncertainty », [21]
Journal of the Association of Environmental and Resource Economists, vol. 3/4, pp. 985-1022, <https://doi.org/10.1086/688499>.
- STATEC (2020), « Évaluation de l'impact de la taxe CO2 », *Analyses*, n° 8, [67]
<https://statistiques.public.lu/dam-assets/catalogue-publications/analyses/2020/analyses-08-20.pdf> (consulté le 1 novembre 2022).
- Stiglitz, J. (2019), « Addressing climate change through price and non-price interventions », [56]
European Economic Review, vol. 119, pp. 594-612,
<https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2019.05.007>.
- Stráský, J. (2020), « Policies for a more efficient and inclusive housing market in Luxembourg », [155]
Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE, n° 1594, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/85ae6967-en>.

- Sud, M. (2020), « Managing the biodiversity impacts of fertiliser and pesticide use: Overview and insights from trends and policies across selected OECD countries », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 155, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/63942249-en>. [171]
- TCFD (2021), *Task Force on Climate-related Financial Disclosures Implementing the Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures*, Équipe spéciale des informations financières ayant trait au climat, https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2021/07/2021-TCFD-Implementing_Guidance.pdf (consulté le 1 novembre 2022). [50]
- Von Peter, G., S. von Dahlen et S. Saxena (2012), « Unmitigated disasters? New evidence on the macroeconomic cost of natural catastrophes », *BRI Working Papers*, n° 394, Banque des Règlements Internationaux, <http://www.bis.org/publ/work394.pdf> (consulté le 1 novembre 2022). [79]
- Waka Kotahi NZ Transport Agency (2021), *Movement and place classification*, <https://www.nzta.govt.nz/roads-and-rail/road-efficiency-group/one-network-framework/movement-and-place-classification> (consulté le 1 novembre 2022). [167]
- Wettengel, J. (2022), « Germany's carbon pricing system for transport and buildings », *Clean Energy Wire*, <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-planned-carbon-pricing-system-transport-and-buildings> (consulté le 1 novembre 2022). [110]
- Wicki, M., K. Hofer et D. Kaufman (2021), *Acceptance of densification in six metropolises. Evidence from combined survey experiments*, OFH, <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/X7GTQ>. [164]
- Williams, R. (2016), « Environmental Taxation », n° 22303, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, <https://doi.org/10.3386/w22303>. [112]
- Wolfrom, L. et M. Yokoi-Arai (2016), « Financial instruments for managing disaster risks related to climate change », *OECD Journal: Financial Market Trends*, <https://doi.org/10.1787/fmt-2015-5jrqqdkpxk5d5>. [88]
- Yamano, N. et J. Guilhoto (2020), « CO2 emissions embodied in international trade and domestic final demand: Methodology and results using the OECD Inter-Country Input-Output Database », *Documents de travail de l'OCDE sur la science, la technologies et l'industrie*, n° 11, Éditions OCDE, <https://doi.org/10.1787/8f2963b8-en>. [5]
- Zachmann, G., G. Fredriksson et G. Claeys (2018), « The distributional effects of climate policies », *Blue Print Series*, n° 28, Bruegel, https://www.bruegel.org/sites/default/files/wp_attachments/Bruegel_Blueprint_28_final1.pdf (consulté le 1 novembre 2022). [37]



Extrait de :
OECD Economic Surveys: Luxembourg 2022

Accéder à cette publication :
<https://doi.org/10.1787/9409d9b6-en>

Merci de citer ce chapitre comme suit :

MacLeod, Catherine et Paula Adamczyk (2023), « Garantir une économie verte et dynamique en 2050 », dans OCDE, *OECD Economic Surveys: Luxembourg 2022*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/cd87510d-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document, ainsi que les données et cartes qu'il peut comprendre, sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région. Des extraits de publications sont susceptibles de faire l'objet d'avertissements supplémentaires, qui sont inclus dans la version complète de la publication, disponible sous le lien fourni à cet effet.

L'utilisation de ce contenu, qu'il soit numérique ou imprimé, est régie par les conditions d'utilisation suivantes :
<http://www.oecd.org/fr/conditionsdutilisation>.