

7.3

Scénarios de décarbonation de l'économie luxembourgeoise

Le STATEC a élaboré les projections pour la mise à jour du Plan national intégré en matière d'énergie et de climat (PNEC). Les modèles du STATEC ont permis de simuler les grandes tendances économiques et de quantifier les mesures, passées et futures, qui impactent la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre (GES). Cette étude compare les trajectoires respectives par rapport aux objectifs en matière d'émissions, d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables.

Il en ressort que les trois objectifs globaux seraient atteints à l'horizon 2030, alors que les sous-objectifs ne le seraient pas nécessairement. Le Luxembourg s'approcherait aussi progressivement de la neutralité carbone à l'horizon 2050, sans que cette dernière se matérialise complètement dans les projections actuelles.

Découplage entre croissance et émissions directes¹

Le Luxembourg, comme tous les pays de l'Union européenne, s'est engagé à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) conformément aux objectifs de l'Accord de Paris sur le climat de 2015. Pour atteindre les objectifs nationaux, près de 200 mesures ont été élaborées par les ministères lors de la récente mise à jour du Plan national intégré en matière d'énergie et de climat (PNEC). L'impact des principales mesures a été quantifié dans un scénario WEM ("With Existing Measures") et un scénario WAM ("With Additional Measures"). Le premier consiste en une projection tendancielle qui intègre les mesures adoptées jusqu'au 31 décembre 2021. Le scénario WAM inclut en plus les mesures adoptées depuis 2022 ainsi que les mesures futures qui ont été annoncées avec cette mise à jour du PNEC.

Graphique A

L'objectif climatique à l'horizon 2030 serait atteint



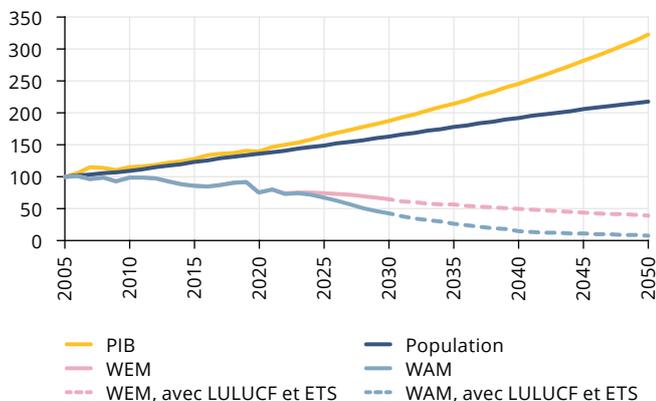
Sources: STATEC, SER, AEV, Inventaire des GES, loi climat

¹ Le périmètre du PNEC est celui de l'inventaire des émissions de GES et de la répartition de l'effort de réduction des émissions au sein des pays de l'UE. Il exclut par conséquent les émissions indirectes importées, qui sont de la responsabilité des pays producteurs de ces biens importés.

Graphique B

Découplage entre l'activité et les émissions

Indices 2005 = 100



Sources: STATEC, SER, AEV, Inventaire des GES

Les scénarios élaborés illustrent que l'efficacité économique et les technologies de décarbonation vont jouer un rôle primordial pour atteindre les objectifs climatiques, d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables. Les gains d'efficacité permettraient ainsi de découpler la consommation d'énergie de la croissance économique et démographique². La consommation d'énergie stagnerait à long terme, alors que le PIB augmenterait au rythme de la croissance potentielle³. En même temps, le déploiement des technologies décarbonées, notamment les pompes à chaleur ou encore les véhicules à zéro émission désormais produites à une échelle industrielle au niveau mondial, permettrait de réduire les émissions de GES en substituant l'électricité à l'énergie fossile. Les énergies renouvelables continueraient leur essor: la hausse de la production d'électricité serait plus rapide que celle de sa consommation, avec à la clé une amélioration de l'indépendance énergétique dans les années à venir.

2 Il s'agit d'une mise à jour des projections macrodémographiques décrites dans Haas et Peltier (2017) avec la croissance économique potentielle légèrement révisée vers le bas, de 3% à 2.75% par année. <https://statistiques.public.lu/fr/publications/series/bulletin-statec/2017/bulletin-03-17.html>

3 Notons que l'impact de la croissance économique sur les émissions est marginal dans de tels scénarios de décarbonation. Une croissance annuelle du PIB réduite de 0.5 point de % (à 2.25%) diminuerait de seulement 0.6 point de % supplémentaire les émissions du scénario WAM d'ici 2050 (soit -89.6% au lieu de -89.0% par rapport à 2005). Sans déploiement de technologies propres, il en irait tout autrement: les émissions croîtraient avec la croissance de l'activité, de l'emploi et de la population.

Transport: réduction rapide et prononcée des émissions

Au Luxembourg, le secteur du transport était responsable de plus de 60% des émissions en 2021. Vu le poids et les spécificités de ce secteur, il convenait d'analyser quelles mesures de réduction permettraient d'atteindre non seulement l'objectif sectoriel pour le transport (-57% à l'horizon 2030), mais également l'objectif global pour tous les secteurs⁴ pris ensemble (-55%).

Une spécificité du secteur du transport est que la majorité des émissions correspondantes attribuées au Luxembourg est générée par les non-résidents: deux tiers des ventes de carburants se font ainsi à des transporteurs internationaux ou des personnes privées en transit ou résidant dans la région frontalière. Ces ventes s'expliquent principalement par des prix à la pompe plus faibles au Luxembourg que dans les pays voisins⁵.

La réaction des non-résidents aux différentiels de prix est assez prononcée⁶, ce qui rend l'instrument d'une taxe comme celle sur les émissions de CO₂ particulièrement efficace. À politique inchangée dans les pays voisins, chaque augmentation de 5 EUR par tCO₂e⁷ de la taxe au Luxembourg réduit le différentiel de prix avec les pays voisins d'un peu plus de 1 centime d'EUR. La succession de hausses annuelles de la taxe⁸ réduirait progressivement les différentiels de prix et impliquerait un recul de plus en plus prononcé des ventes de carburants aux non-résidents. À l'horizon 2030, la moitié de la baisse des émissions de ce secteur seraient ainsi causée par les hausses successives de la taxe CO₂, engendrant une baisse de 60% des ventes de carburants aux non-résidents.

4 L'article 5 de la loi du 15 décembre 2020 relative au climat prévoit que si "les émissions comptabilisées d'un secteur n'atteignent pas la quantité d'émission disponible pour ce secteur en vertu du paragraphe 2, la différence peut être portée au crédit d'un autre secteur dont les émissions comptabilisées dépassent les émissions disponibles."

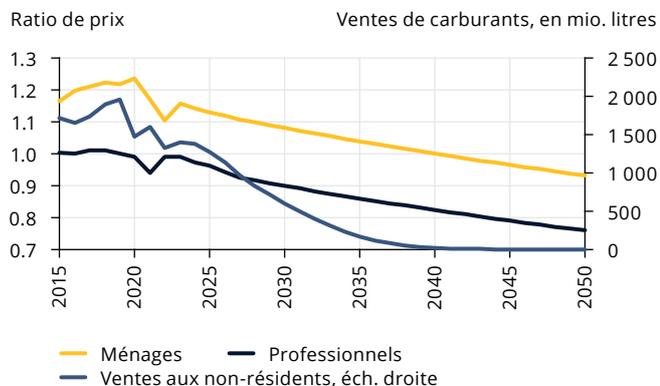
5 A contrario, en 2022, les mesures gouvernementales étrangères ont impliqué que, temporairement, certains prix étrangers étaient inférieurs aux prix luxembourgeois, ce qui a engendré une baisse des ventes de carburants de 11% sur toute l'année.

6 En économie, cette relation entre l'évolution des quantités achetées par rapport à celle des prix est modélisée par une "élasticité-prix". Si l'élasticité-prix est supérieure à l'unité, on qualifie la demande d'élastique. L'élasticité-prix des non-résidents augmenterait encore dans les années à venir, voir encadré ci-après.

7 tCO₂e signifie tonne d'équivalent dioxyde de carbone et est une mesure permettant d'exprimer le potentiel de réchauffement climatique de tous les gaz à effet de serre.

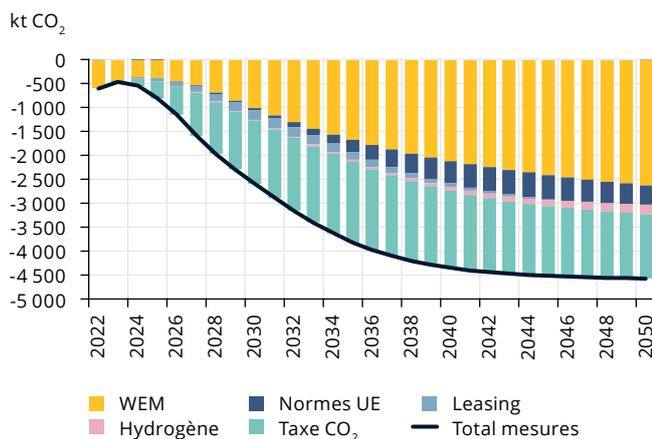
8 Dans le scénario du WAM, une hausse continue de la taxe CO₂ a été supposée, de 30 EUR en 2023 à 165 EUR à l'horizon 2050.

Graphique C Les ventes de carburants aux non-résidents disparaîtraient



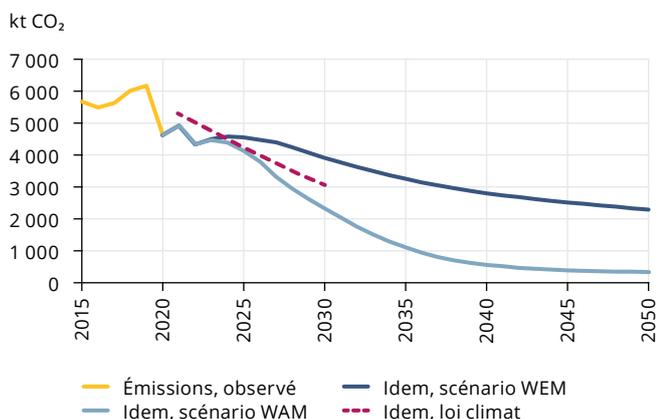
Source: STATEC

Graphique D L'impact des différentes mesures dans le secteur du transport



Source: STATEC

Graphique E Réduction accélérée des émissions dans le transport



Source: STATEC

Une autre particularité du secteur du transport est le renouvellement rapide de la flotte de voitures⁹. La pénétration accrue de véhicules électriques et hybrides contribuerait déjà à réduire de manière substantielle les émissions dans le scénario à politique inchangée¹⁰ (WEM). Cet effet serait renforcé par les nouvelles normes de performances des véhicules décidées au niveau européen¹¹ ainsi que par la réforme des avantages liés aux voitures de fonction. Les régimes de taxation et de subsides, vraisemblablement adaptés au cours des années notamment à l'évolution des prix des voitures à zéro émission directe, devraient déboucher sur une part de l'électrique de près de 40% dans le stock de véhicules à l'horizon 2030 (et près de 50% si on y rajoute les voitures plug-in hybrides). Cette électrification requiert une percée rapide des voitures électriques, dont la part de marché dans les nouvelles immatriculations augmenterait de 15% en 2022 à 65% d'ici 2025. Cette progression s'expliquerait notamment par une électrification complète des voitures de fonction qui représentent près de la moitié des nouvelles immatriculations.

Pour les autres types de véhicules, la décarbonation serait plus lente¹² en raison d'une offre encore insuffisante à court terme. L'électrification commencerait néanmoins timidement pour les camionnettes (5% et 15% dans le stock en 2025 et 2030 respectivement), alors que les projections tablent également sur une modeste pénétration de camions à hydrogène (respectivement 1% et 10% dans le stock en 2030 et 2050). D'ici 2040, les émissions restantes du secteur du transport seraient ainsi composées majoritairement de camions, d'autocars et d'engins de chantier et de tracteurs agricoles, alors que les voitures seraient déjà électrifiées et les ventes de carburants aux non-résidents désormais marginales.

9 Le parc automobile est plus jeune au Luxembourg qu'à l'étranger (6.7 années en moyenne contre 11.8 années dans l'UE, données ACEA). Le STATEC se base sur les données de la SNCA (Société Nationale de Circulation Automobile) pour modéliser la flotte nationale de voitures, motos, bus, camionnettes, camions et tracteurs routiers en fonction de leur type de carburant (essence, diesel, hybride, électrique, hydrogène).

10 Sous l'effet d'une gamme de modèles hybrides et électriques de plus en plus complète proposée par les constructeurs ainsi que du régime d'aides Clever fueren pour les voitures électriques et hybrides.

11 Les normes de performances des véhicules sont réglementées au niveau européen à travers les objectifs de flotte des constructeurs automobiles. Le renforcement de ces normes, ainsi que la fin prévue du moteur thermique à partir de 2035, permettraient d'accélérer la pénétration des véhicules hybrides et électriques.

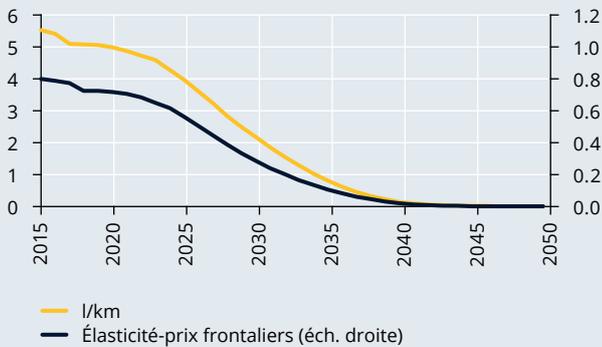
12 Mise à part la flotte de bus RGTR (Régime Général des Transports Routiers) qui serait électrifiée à 100% en 2030.

Les hausses annuelles de la taxe CO₂ de 5 EUR/tCO₂e – aussi au-delà de 2026 – et le renouvellement de la flotte de véhicules permettrait ainsi au secteur du transport d'atteindre largement l'objectif sectoriel pour 2030 (baisse de 68% contre 57% prévus par le règlement grand-ducal).

Pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, de nouvelles avancées technologiques seraient néanmoins nécessaires. S'y rajoute le défi, au niveau international, de produire de l'hydrogène vert en quantités suffisantes (avec des énergies renouvelables et à échelle industrielle).

Encadré Une baisse de plus en plus prononcée des ventes de carburants aux non-résidents?

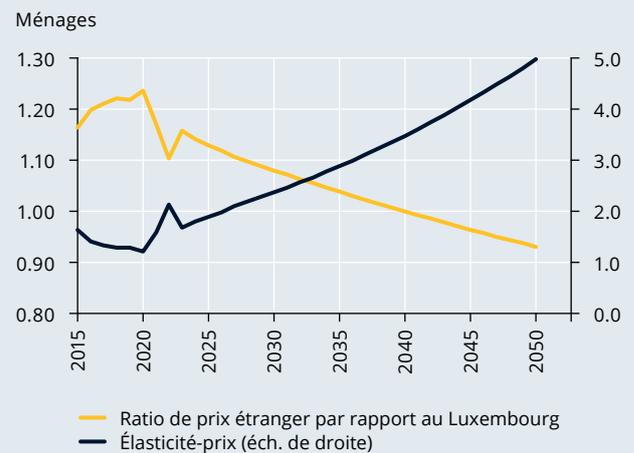
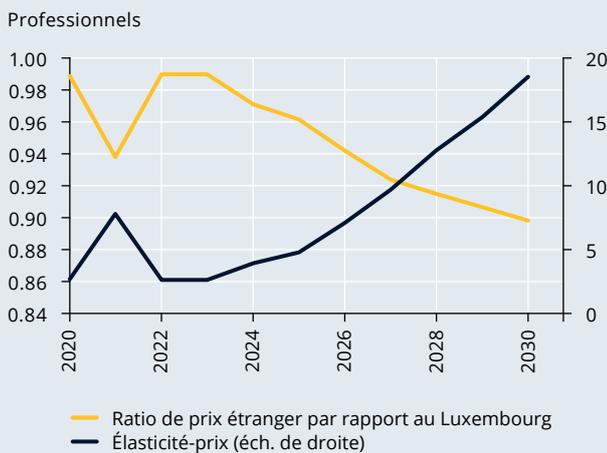
Graphique F
Efficacité des voitures



Source: STATEC

Les ventes de carburants font partie intégrante des prévisions macroéconomiques du STATEC. Les élasticités des différents déterminants, estimées empiriquement sur données historiques, ne permettent néanmoins pas de simuler des scénarios à long terme. D'une manière générale, une équation économétrique peut être utilisée uniquement pour prévoir des fluctuations de court/moyen terme (2-5 ans) ou encore pour des évaluations d'impact de mesures "marginales", c'est-à-dire de petite ampleur. Or, les hausses cumulatives de la taxe CO₂ ou encore l'électrification du parc de véhicules sont des changements structurels importants, qui tendent à invalider les élasticités de l'équation empirique¹³.

Graphique G
Réaction non linéaire des non-résidents à la hausse des prix de carburants au Luxembourg



Source: STATEC

13 Une démonstration par l'absurde peut facilement être simulée, montrant que les ventes de carburants persisteraient à un niveau élevé même dans un scénario où les prix à la pompe luxembourgeois seraient plus élevés que dans les pays voisins.

Pour cette raison une équation théorique a été spécifiée pour remédier aux défauts de l'équation empirique:

- Une désagrégation plus fine, qui distingue i) les ventes de diesel et d'essence, ii) les ventes aux ménages et aux transporteurs professionnels, iii) les consommations des résidents et des non-résidents;
- Une évolution au cours du temps des différentes élasticités et variables de l'équation, en fonction de paramètres structurels du modèle énergétique du STATEC.

Concrètement, l'efficacité énergétique des voitures et camions a été calibrée afin de prendre en compte l'électrification des véhicules (et le recours à l'hydrogène par les camions). Pour les ventes de carburants, l'efficacité est définie comme l'inverse de la consommation, en litres par kilomètre. Comme une voiture électrique consomme zéro litre, la pénétration croissante de ces voitures contribue mécaniquement à réduire les ventes de carburants. L'élasticité des ventes aux frontaliers est multipliée par ce même paramètre¹⁴, réduisant progressivement l'impact de frontaliers supplémentaires sur les ventes de carburants (voir graphique F).

L'élasticité-prix des non-résidents est définie comme une fonction du différentiel des prix à la pompe luxembourgeois et étrangers: si les prix luxembourgeois augmentent davantage que les prix étrangers – notamment via les hausses de la taxe CO₂ – l'élasticité-prix supposée augmente également. Cela engendre ainsi une réaction non linéaire des ventes aux non-résidents, à savoir de plus en plus prononcée:

$$\text{Élasticité théorique} = \text{élasticité estimée} / \left(\frac{\text{prix étrangers}}{\text{prix luxembourgeois}} \right)^{\text{paramètre de convergence}}$$

Le ratio de prix est normalisé en 2015, impliquant que l'élasticité théorique en cette période correspond à l'élasticité estimée. Le "paramètre de convergence" traduit la vitesse avec laquelle les ventes aux non-résidents baisseraient si le différentiel de prix se dégrade, et a été calibrée de sorte que les ventes aux non-résidents s'annulent progressivement si ce différentiel diminue.

Les ventes de carburants issues de l'équation théorique sont ainsi plus faibles que celles issues de l'équation empirique dans les scénarios où l'électrification progresse et la taxe CO₂ augmente. Dans le modèle, un compromis a été implémenté avec un passage progressif de la spécification empirique, jugée pertinente à un horizon de quelques années, et la spécification théorique, plus pertinente à long terme. Le poids associé aux ventes issues de l'équation théorique augmente ainsi progressivement de 20% en 2023 à 100% à partir de 2028.

L'incertitude autour des ventes futures de carburants est nécessairement élevée, vu qu'on ne peut pas prévoir la réaction des non-résidents aux hausses de prix luxembourgeois, mais également vu que des hausses d'une taxe CO₂ peuvent également être décidées dans les pays voisins¹⁵. C'est pourquoi les hausses nécessaires (pour atteindre les objectifs climatiques) de la taxe CO₂ luxembourgeoise, estimées à +5 EUR par année, doivent être considérées comme des hausses minimales, qui devraient être revues à la hausse si les pays voisins prennent des mesures qui rendent de nouveau les prix à la pompe luxembourgeois relativement plus favorables.

14 Ce qui revient à supposer une structure identique du parc automobile frontalier à celle du Luxembourg. Les voitures de fonction, incluses dans la flotte luxembourgeoise, bénéficient effectivement souvent aux travailleurs frontaliers.

15 Ceci est même probable dans un contexte où chaque pays européen doit remplir ces objectifs climatiques et mettre à jour son PNEC dans les mois à venir.

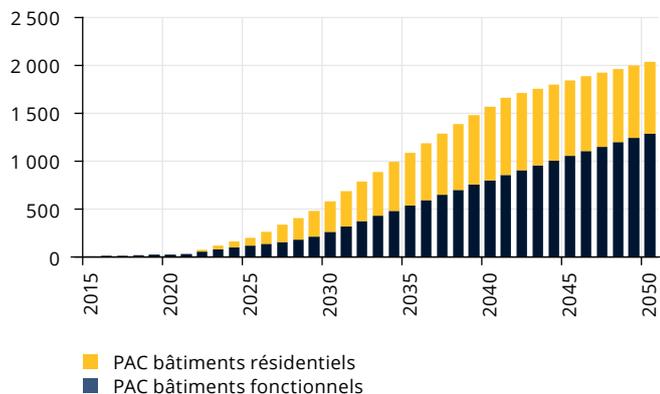
Bâtiments: une réduction plus lente mais complète des émissions

Le secteur des bâtiments¹⁶, responsable d'environ 20% des émissions totales de GES du Luxembourg en 2021, englobe les bâtiments résidentiels et fonctionnels (privés et publics). Malgré la forte croissance de la population et de l'emploi, les émissions de ce secteur diminueraient en raison des normes d'efficacité énergétique qui permettraient de limiter la consommation d'énergie, ainsi que le déploiement des pompes à chaleur (PAC), y compris dans les bâtiments existants. Le "phase-out" des chauffages fossiles, consistant en un non-remplacement des chaudières fossiles en fin de vie, permettrait ainsi de décarboner progressivement les systèmes de chauffage. Vu que leur durée de vie est estimée entre 15 et 20 années, si la dernière chaudière fossile est installée avant 2030¹⁷, cela permettrait mécaniquement d'atteindre la neutralité carbone dans ce secteur en 2050.

Graphique H

La pénétration des pompes à chaleur dans les bâtiments

Consommation d'électricité en GWh



Source: STATEC

16 Sur base des données du recensement de la population et des statistiques des bâtiments achevés, le STATEC modélise le stock des bâtiments résidentiels en tenant compte de la date de construction ainsi que du type de logement et du chauffage. S'y rajoutent des données sur les transformations, l'intensité de rénovation et une hypothèse sur le taux de démolition. La modélisation des bâtiments fonctionnels se limite en revanche à l'intensité énergétique (kWh par employé) et l'évolution projetée de l'emploi, vu que des données exhaustives sur les caractéristiques des bâtiments fonctionnels font défaut.

17 Concrètement, les hypothèses de travail consistent en un non-remplacement de chaudières fossiles défectueuses dans les bâtiments fonctionnels à partir de 2025. Dans le résidentiel, les chaudières à mazout ne seraient plus remplacées à partir de 2027 et les chaudières à gaz à partir de 2029.

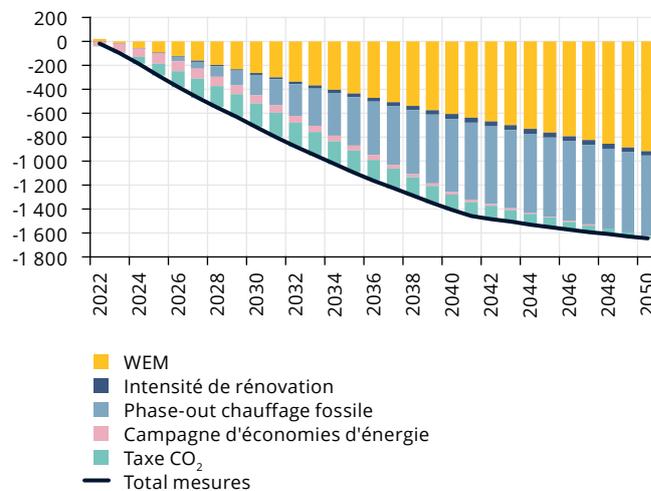
Environ sept mille PAC devraient en revanche être installées annuellement dans les seuls bâtiments résidentiels, voire le double dans la décennie suivante. S'y rajoutent les PAC pour les bâtiments fonctionnels, dont la puissance installée serait similaire.

L'objectif sectoriel à l'horizon 2030 semble malgré tout être hors de portée: les installations de chaudières à gaz étaient encore très répandues (en 2019, environ 30% des bâtiments achevés) jusqu'à récemment, ce qui implique que les émissions en 2021 étaient de 10% supérieures à la trajectoire cible. Selon les projections effectuées, les émissions resteraient supérieures aux émissions allouées sur toute la période, même si 2022-23 serait le point culminant, les émissions baissant ensuite tendanciellement (cf. graphique J). Malgré une hausse supposée de l'intensité de rénovation, l'impact des rénovations énergétiques serait faible, notamment en raison d'un taux de rénovation qui aurait tendance à baisser¹⁸.

Graphique I

Impact des mesures dans le secteur des bâtiments

kt CO₂



Source: STATEC

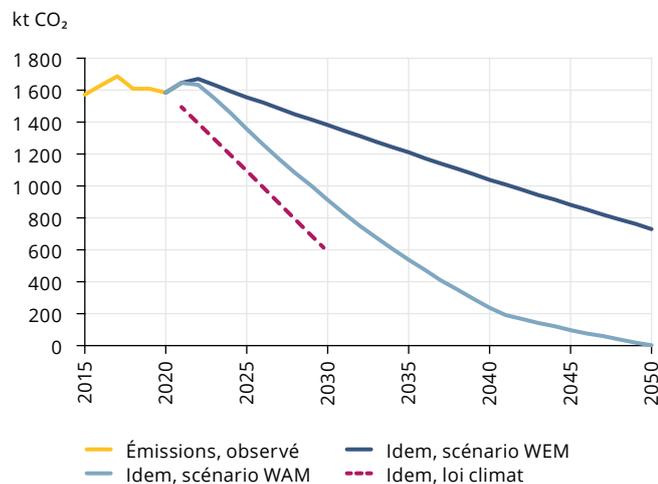
18 Le STATEC maintient les taux de rénovation par type de logement constants, ce qui engendre une baisse structurelle du taux de rénovation vu la part croissante des appartements qui sont moins souvent rénovés que les maisons. Les projections du dernier PNEC, élaborées par un consortium autour du Fraunhofer Institut, tablaient en revanche sur un triplement du taux de rénovation. Dans ce sens, le potentiel de réduction des émissions a vraisemblablement été surestimé, impliquant également que l'objectif sectoriel des bâtiments apparaît trop ambitieux.

La récente crise de l'énergie a également eu un impact baissier sur la consommation d'énergie et les émissions. La flambée des prix des énergies fossiles jusqu'à l'été 2022 a favorisé la transition énergétique. Sur les marchés internationaux, ces prix ont néanmoins retrouvé les niveaux de 2021, ce qui va se répercuter également sur les prix à la consommation. L'augmentation continue de la taxe CO₂ devrait, à une moindre échelle, contribuer à renchérir de nouveau les combustibles fossiles une fois que les boucliers tarifaires auront pris fin.

Au-delà des niveaux des prix fossiles, ce sont les prix relatifs de l'énergie qui déterminent la transition énergétique: un renchérissement du prix de l'électricité par rapport aux énergies fossiles (voir étude 7.2) freinerait ainsi le déploiement des technologies décarbonées. Au-delà de la taxation et du mécanisme de compensation, l'évolution des frais de réseaux joue potentiellement un rôle important. Alors qu'une réforme est en cours pour répartir différemment les charges des réseaux d'électricité, l'évolution des frais de réseaux du gaz est hautement incertaine, dans un contexte où le nombre de raccordements baisserait progressivement et significativement (-5% en 2030 et -50% en 2040).

Graphique J

Neutralité carbone en 2050 dans le secteur des bâtiments



Source: STATEC

Industrie: des améliorations, mais difficile de décarboner complètement

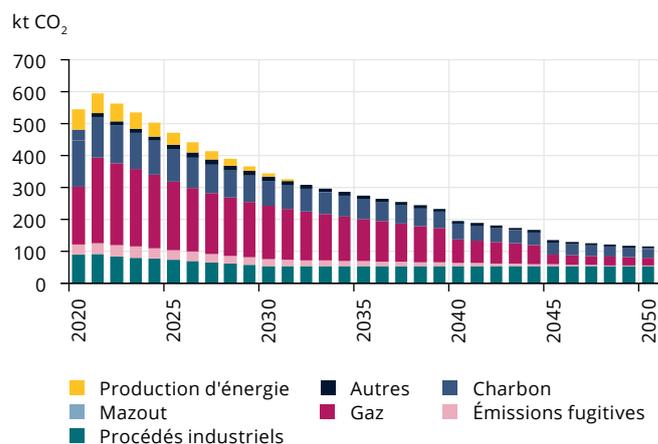
Le secteur de l'industrie se compose de l'industrie manufacturière, du secteur de la construction et du secteur de la production d'énergie. L'industrie à forte consommation d'énergie fait partie du système d'échange de quotas d'émissions de l'Union européenne (SEQE, ou encore EU-ETS en anglais) et les émissions produites par ces entreprises¹⁹ ne sont dès lors pas couvertes par les objectifs nationaux.

Les émissions restantes, non couvertes par l'ETS, représentent près de 10% des émissions du Luxembourg. La modélisation de ce secteur s'appuie sur deux sources principales, à savoir la balance énergétique et la production des différentes branches issue de la comptabilité nationale. Pour l'industrie manufacturière et la construction, l'évolution de la production, de l'intensité énergétique et du changement de vecteurs énergétiques a été prolongée en fonction des tendances historiques auxquelles se rajoutent les impacts supposés de la feuille de route sur la décarbonation de l'industrie.

Pour la production d'énergie, des projections par type de technologie ont été réalisées. La production de l'électricité photovoltaïque et éolienne devrait augmenter considérablement sur le restant des années 2020 (+15% en moyenne annuelle), mais la croissance serait moins marquée après 2030 (+3% en moyenne annuelle).

Graphique K

Recul des émissions dans l'industrie



Source: STATEC

¹⁹ Les quotas d'émissions sont réduits progressivement en fonction des objectifs d'émissions au niveau européen (le nombre total de quotas d'émissions diminuerait de 2.2% par an jusqu'en 2030). Le prix du marché pour échanger ces droits d'émissions fluctue autour de 90 EUR par tonne de CO₂, soit trois fois le niveau actuel de la taxe CO₂.

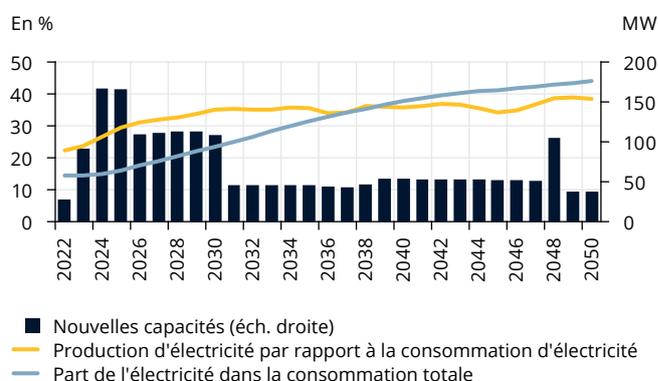
L'industrie manufacturière en dehors des secteurs les plus consommateurs d'énergie (hors acier, ciment, verre et aluminium) a affiché une croissance annuelle moyenne de la production de 4.3% entre 2001 et 2020. Malgré cette hausse, une baisse des émissions a pu être constatée grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique et au recours accru à l'électricité comme source d'énergie principale. L'intensité énergétique fossile s'est ainsi améliorée en moyenne de 7.6% par an. En prolongeant cette tendance, les émissions de l'industrie manufacturière continueraient sur une trajectoire baissière, achevant une réduction des émissions de respectivement 10% et 55% en 2030 et 2050 (par rapport à 2005).

Une feuille de route pour la décarbonation de l'industrie a été élaborée par les ministères avec les entreprises industrielles²⁰. Celle-ci couvre principalement les entreprises soumises à l'ETS et souligne, entre autres, la volonté d'électrifier les processus et de déployer l'hydrogène pour remplacer le gaz naturel ainsi que d'apporter le soutien nécessaire à la mise en place d'une infrastructure adaptée.

Dans les projections du STATEC, les projets identifiés dans la feuille de route ont été mis en cohérence avec la stratégie hydrogène du gouvernement²¹, selon laquelle le Luxembourg serait connecté à un réseau transfrontalier de l'hydrogène à partir de 2035. Ce serait à partir de ce moment que le recours plus poussé à l'utilisation de l'hydrogène serait possible, notamment si les aides nécessaires pour rendre ces projets rentables sont mises en place.

Les émissions liées à la production d'énergie proviennent exclusivement des centrales de gaz. Le scénario WAM anticipe que les centrales de gaz seraient démantelées ou transformées (en recourant par exemple à la biomasse) après l'expiration des tarifs d'injection pour les cogénérations gazeuses en 2032²². Le secteur de la production d'énergie serait ainsi neutre en carbone dès les années 2030.

Graphique L
Électrification continue de l'économie



Source: STATEC

Les projections anticipent l'installation de nouvelles capacités de production d'énergie²³, mais le Luxembourg restera évidemment dépendant des importations d'électricité. Le rapport de l'électricité produite au Luxembourg par rapport à la consommation totale d'électricité du pays augmenterait néanmoins d'environ 20% aujourd'hui à environ 40% en 2050. Ceci est d'autant plus remarquable que la consommation d'électricité doublerait d'ici 2050 et représenterait ainsi environ 45% de la consommation énergétique totale du Luxembourg (cf. graphique L). Le marché de l'électricité en Europe fonctionne de manière intégrée entre pays partenaires, ce qui signifie qu'il n'y a pas de dépendance stratégique à l'égard d'un pays tiers pour l'électricité. En raison de son utilisation importante d'énergies fossiles, le Luxembourg est aujourd'hui fortement dépendant des pays tiers, à hauteur d'environ 75%²⁴ en 2021. Cette dépendance devrait se réduire d'ici 2050, pour se situer à hauteur de seulement 30%.

Selon les projections du STATEC, le Luxembourg n'atteindrait pas ses objectifs en termes de réduction d'émissions dans le secteur de l'industrie. Cela s'expliquerait notamment par le point de départ (2021) qui dépasse déjà de plus de 30% la trajectoire prévue par la loi climat. À l'horizon 2050, l'industrie baisserait ses émissions de 75% par rapport à 2005, plus de la moitié des émissions restantes étant imputables aux procédés industriels.

20 La feuille de route a été établie sur base d'entretiens avec 25 entreprises industrielles qui représentaient 95% des émissions (ETS inclus) de l'industrie luxembourgeoise. 61 projets potentiels ont été identifiés.

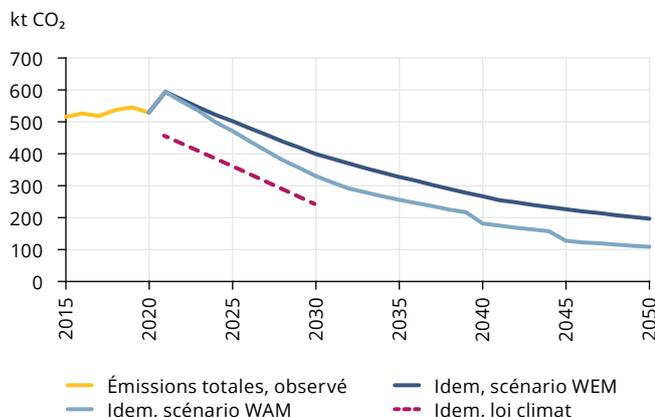
21 Stratégie hydrogène du Luxembourg – relever les défis de la décarbonation - gouvernement.lu // Le gouvernement luxembourgeois

22 Dans le scénario WEM, les centrales de gaz produiraient de l'énergie jusqu'à la fin de leur durée de vie supposée de 20 ans. La dernière centrale arrêterait alors de produire de l'énergie avec du gaz en 2041.

23 Photovoltaïque: +750 MW en 2030 et +1 500 MW en 2050. Éolien: +250 MW en 2030 et +420 MW en 2050.

24 La consommation du transport aérien ainsi que les ventes de carburants aux non-résidents sont exclues de cet indicateur.

Graphique M
Les objectifs pour 2030 ne seront pas atteints dans l'industrie



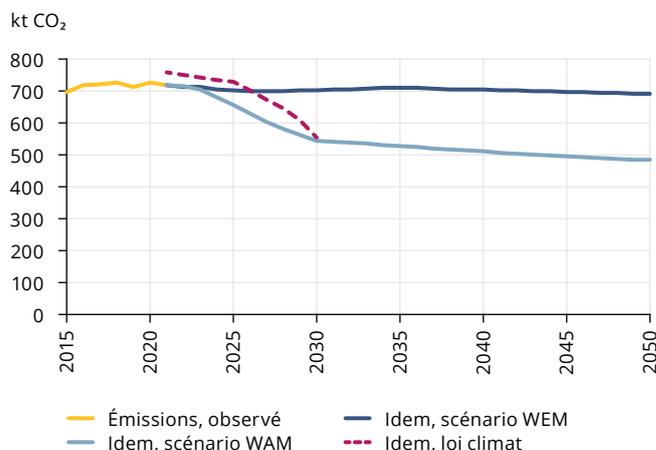
Source: STATEC

Agriculture: le bétail, source principale des émissions

Le secteur de l'agriculture représente environ 10% des émissions du Luxembourg. Contrairement aux secteurs présentés auparavant, la consommation d'énergie n'est pas le moteur principal des émissions de GES. Le STATEC n'a pas été chargé d'élaborer les projections correspondantes, ces dernières étant réalisées par le Service d'économie rurale.

Un des polluants est l'ammoniac, qui s'échappe des engrais de ferme qui sont produits lors de l'élevage d'animaux et qui peut se transformer par la suite en oxyde nitreux (N₂O), un GES presque 300 fois plus puissant que le CO₂. Un autre facteur important sont les émissions directes de méthane qui s'échappent du bétail lors de la digestion. Ainsi, une mesure clé pour réduire les émissions de l'agriculture serait la réduction du bétail, engendrant une baisse des émissions d'ammoniac et de méthane. En interaction avec des mesures additionnelles, comme par exemple l'utilisation d'additifs alimentaires dans la nourriture du bétail pour réduire les émissions de méthane, le secteur de l'agriculture atteindrait son objectif de réduction des émissions de GES en 2030 (-20%). Après 2030, les émissions baisseraient moins rapidement, de 30% à l'horizon 2050 (par rapport à 2005).

Graphique N
Légère baisse des émissions dans l'agriculture



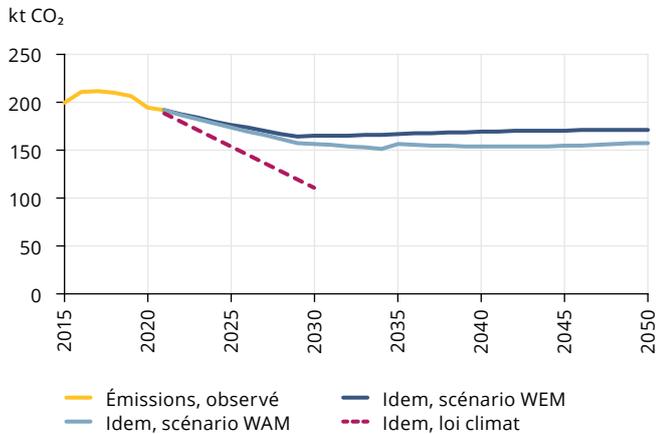
Source: SER

Déchets: découplage seulement relatif par rapport à la croissance démographique

Le secteur du traitement des déchets et eaux usées est responsable pour à peu près 2.5% des émissions attribuées au Luxembourg. Dans le cadre du PNEC, les projections pour ce secteur ont été réalisées par l'Administration de l'environnement. L'objectif sectoriel ne serait pas atteint (-40% en 2030 par rapport à 2005), notamment à cause de la croissance démographique (+63% en 2030 par rapport à 2005) qui engendre une hausse substantielle des déchets. Les mesures du PNEC, comme la stratégie zéro déchet ou d'économie circulaire, permettraient néanmoins de stabiliser les émissions à long terme, soit un découplage relatif (mais pas absolu) par rapport à la croissance démographique.

Graphique O

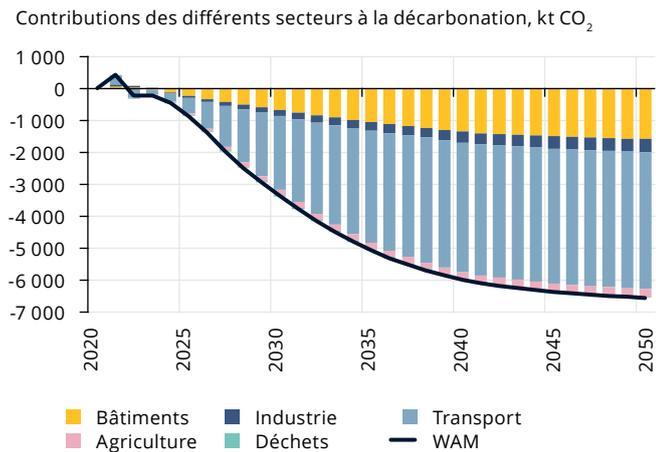
Stagnation des émissions liées au traitement des déchets



Source: AEV

Graphique P

Contributions des différents secteurs à la décarbonation



Sources: STATEC, AEV, SER, inventaire des GES

Conclusion

Les modèles de projection du STATEC permettent de simuler les grandes tendances économiques et démographiques et de quantifier les mesures, passées et futures, en matière d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre. Les gains d'efficacité énergétique et le déploiement massif de technologies décarbonées permettraient d'atteindre l'objectif de réduction des émissions: les améliorations d'efficacité engendreraient une stagnation de la consommation d'énergie, malgré une croissance économique et démographique persistante. Les technologies propres permettraient à leur tour de réduire effectivement les émissions en abandonnant les énergies fossiles.

Selon les secteurs, la vitesse et l'origine de la décarbonation diffèrent néanmoins fortement.

- Dans le secteur du transport, le facteur clé à l'origine d'une baisse rapide des émissions sont les relèvements successifs de la taxe CO₂, entraînant une baisse des ventes de carburants aux non-résidents, ainsi que l'électrification de la flotte de véhicules. Cette dernière serait accélérée par les incitations fiscales sur les voitures de fonction et définitivement acquise après l'interdiction de nouvelles voitures thermiques en 2035 au niveau européen.
- Pour le secteur des bâtiments, les principaux déterminants sont d'ordre réglementaire: la mise en place des normes d'efficacité énergétique pour les nouvelles constructions ainsi que le non-remplacement de chaudières fossiles arrivées en fin de vie. Les rénovations et les hausses de la taxe CO₂ y contribueraient également, mais dans une bien moindre mesure.
- Dans l'industrie, le principal déterminant à long terme serait l'accès à l'hydrogène vert pour pouvoir décarboner les processus à hautes températures, nécessitant ainsi un raccordement à un réseau d'hydrogène transfrontalier. Dans la mesure du possible, les processus à basses températures seraient électrifiés.

Les incertitudes qui entourent ces projections sont nombreuses, mais peuvent être résumées de la façon suivante:

- Les incertitudes sur les technologies décarbonées ont globalement diminué ces dernières années, notamment avec l'essor de la production de voitures électriques et de pompes à chaleur. La production à échelle industrielle devrait encore faire baisser significativement les prix de ces équipements à moyen terme, mais à court terme, les délais de livraison risquent de freiner leur déploiement. De grandes incertitudes persistent aussi sur la vitesse et les secteurs dans lesquels l'hydrogène serait déployé, ainsi que le défi de long terme de produire de l'hydrogène vert en quantités suffisantes et à des prix raisonnables.
- Les incertitudes sur les prix de l'énergie sont élevées, comme en témoigne la flambée des prix qui a culminé à l'été 2022. Aussi longtemps que la hausse des prix concerne davantage les énergies fossiles, cela favorise la transition énergétique. Une hausse relative des prix de l'électricité risque en revanche de la freiner (voir étude 7.2).
- Les incertitudes sur les paramètres et hypothèses sont inhérentes à toute projection de long terme. Il ne s'agit pas de prévisions, mais de projections conditionnelles (par rapport à la réalisation effective de certaines hypothèses) qui visent à quantifier l'impact de mesures, de la croissance ou encore de certaines technologies. Les données utilisées sont également révisées, notamment les dernières observations de l'inventaire des émissions, lui-même basé sur des données de comptabilité nationale qui sont révisées fréquemment. Finalement, les projections tablent sur une mise en place effective des mesures annoncées dans le PNEC.