



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Environnement, du Climat
et du Développement durable

Stratégie nationale à long terme en matière d'action climat « Vers la neutralité climatique en 2050 »

Octobre 2021

Table des matières

1	Résumé.....	4
2	Contexte.....	9
2.1	Contexte international et européen	9
2.2	Contexte national.....	11
3	Relevé de la situation nationale.....	15
3.1	Evolution des émissions sectorielles de gaz à effet de serre.....	19
4	Elaboration et mises à jour ultérieures de la stratégie.....	21
5	Vers la neutralité climatique en 2050.....	23
5.1	Vision stratégique	23
5.2	Mission.....	23
5.3	Principes directeurs	24
6	Agir pour la neutralité climatique	25
6.1	Cadre facilitateur pour la transition vers la neutralité climatique	25
6.1.1	Gouvernance et participation active de tous les acteurs de la transition	25
6.1.2	Politique fiscale : fournir les incitations nécessaires	27
6.1.3	Finances publiques durables : intégrer les aspects climatiques dans le budget de l'Etat 28	
6.1.4	Marchés publics durables : consolider le rôle précurseur de l'Etat et des communes	30
6.1.5	Exploiter la fonction coordinatrice de l'aménagement territorial et urbain	32
6.1.6	Mobiliser la recherche et favoriser l'innovation et la digitalisation	35
6.1.7	Favoriser l'engagement de la société et étoffer le rôle de l'éducation et la formation 39	
6.1.8	Renforcer le cadre UE en faveur de l'action pour le climat	42
6.2	Système énergétique	44
6.2.1	Principe de primauté de l'efficacité énergétique	44
6.2.2	Maximiser le déploiement des énergies renouvelables	45
6.2.3	Au sujet du rôle potentiel de l'hydrogène renouvelable.....	48
6.2.4	Options de stockage de l'énergie facilitant l'expansion des énergies renouvelables ..	49
6.2.5	Réseau électrique intelligent : épine dorsale de l'approvisionnement énergétique ...	51
6.2.6	Exploiter des synergies par couplage sectoriel.....	52
6.3	Bâtiments.....	54
6.3.1	Nouvelles constructions décarbonisées, durables, circulaires, résilientes et intelligentes 55	
6.3.2	Rénovations énergétiques profondes et durables.....	57
6.3.3	Quartiers à énergie positive, durables et denses	60

6.4	Mobilité.....	62
6.4.1	Planification de la mobilité favorisant les transports publics et la mobilité active	63
6.4.2	Déploiement accéléré de véhicules à zéro émissions.....	64
6.4.3	Décarboniser le transport de marchandises et le secteur logistique	67
6.4.4	Secteurs aérien et maritime.....	68
6.5	Economie	69
6.5.1	Economie circulaire.....	72
6.5.2	Eco-innovation et écotechnologies.....	74
6.5.3	Modèles d'entreprise.....	76
6.6	Alimentation et agriculture.....	78
6.7	Sylviculture et puits de carbone	82
6.8	Finances durables	84
6.8.1	Mobilisation du capital privé et réorientation des flux financiers.....	84
6.8.2	Financement climatique international : solidarité internationale.....	86
7	Adaptation au changement climatique	88
8	Financement de la transition vers la neutralité climatique	91
9	Garantir une transition juste.....	94
	Liste des abréviations.....	97

1 Résumé

Les constats du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) sont univoques¹. Le changement climatique causé par les émissions de gaz à effet de serre (GES) est en train de transformer notre environnement à une vitesse sans précédent dans l'histoire de l'humanité. A défaut de contrecarrer cette évolution, l'humanité sera confrontée à de graves conséquences sur les systèmes économiques et alimentaires, la santé publique, la biodiversité, la stabilité politique, bref sur la prospérité au sens large. Agir maintenant et de manière résolue pour le climat est donc essentiel. Il s'agit à la fois d'un défi urgent et d'une opportunité de construire un avenir meilleur pour tous.

Sur cette toile de fonds, l'**Accord de Paris**, adopté en décembre 2015, constitue le fondement de l'action climatique au niveau mondial. L'accomplissement de l'objectif principal de cet accord requiert l'atteinte de la neutralité climatique (zéro émissions nettes de GES) d'ici la moitié du 21^e siècle, ce qui exige une transformation rapide et profonde de l'économie et de la société. Voilà pourquoi, en décembre 2019, la Commission européenne a présenté « **Le pacte vert pour l'Europe** »², une stratégie pour une croissance durable et inclusive visant à transformer l'Union européenne (UE) en une société équitable et prospère, dotée d'une économie moderne, compétitive et efficace dans l'utilisation des ressources, caractérisée par l'absence d'émissions nettes de GES d'ici 2050 et la dissociation de la croissance de l'utilisation des ressources. La mise en œuvre du pacte vert est en cours. Ainsi, la **loi européenne sur le climat**³, arrêtant l'objectif de neutralité climatique à l'horizon 2050 (ainsi qu'une réduction nette des émissions de GES dans l'UE d'au moins 55 % d'ici 2030), fut adoptée en date du 30 juin 2021.

Anticipant le développement au niveau européen, la **loi relative au climat**⁴ visant en particulier la neutralité climatique au Luxembourg d'ici 2050 au plus tard est entrée en vigueur en décembre 2020. **Dès lors, la présente stratégie nationale à long terme en matière d'action climat définit la vision stratégique et identifie les lignes directrices ainsi que les principaux champs d'action et mesures stratégiques pour réussir la transition vers la neutralité climatique.** Elle servira d'**orientation à la politique climatique nationale à l'horizon 2050** tel que convenu à l'accord de coalition 2018-2023⁵. En outre, elle permettra de satisfaire les **obligations** en matière de stratégie à long terme **au niveau européen et international**. En effet, le règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat⁶ exige l'établissement, par les Etats membres, de stratégies à long terme en matière d'action pour le climat, sur trente ans au minimum. Par ailleurs, toutes les parties de l'Accord de Paris sont tenues de présenter des stratégies à long terme de développement à faibles émissions de GES à la Convention-Cadre des Nations-Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).

Vu le caractère transversal de l'action pour le climat, une **coopération étroite et coordonnée** est indispensable entre les différents départements ministériels compétents dans les secteurs concernés.

¹ Voir notamment le rapport spécial du GIEC (2018) sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté, <https://www.ipcc.ch/sr15/>

² Communication de la Commission européenne (COM(2019) 640 final) : Le pacte vert pour l'Europe

³ Règlement (UE) 2021/1119 du 30 juin 2021 établissant le cadre requis pour parvenir à la neutralité climatique et modifiant les règlements (CE) no 401/2009 et (UE) 2018/1999 (« loi européenne sur le climat »), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=FR>

⁴ Loi modifiée du 15 décembre 2020 relative au climat

⁵ Accord de coalition 2018-2023, p. 171

⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02018R1999-20210101&from=EN>

Ainsi, suite à l'appel du ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable et dans le but d'assurer la cohérence des politiques sectorielles avec l'objectif de la neutralité climatique, les ministères ont fourni leurs **contributions** relatives aux lignes directrices et principaux champs d'action et mesures stratégiques dans leurs domaines respectifs. Suite à la finalisation de l'ébauche de l'avant-projet de la stratégie à long terme, celle-ci a été concertée et révisée en vue de son adoption par le Conseil de gouvernement, qui a marqué son accord avec l'avant-projet en date du 30 juillet 2021. Ensuite, le projet de la stratégie a été soumis à une **consultation** de toutes les parties prenantes et du grand public. Il était rendu accessible sur le portail national des enquêtes publiques et sur le portail du ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable. Tous les intéressés étaient invités à transmettre leurs observations et suggestions jusqu'au 12 octobre 2021. Le projet final de la stratégie fut adopté par le Conseil de gouvernement en date du 29 octobre 2021.

La stratégie couvrant une période étendue de trente ans, elle fera l'objet de **prises à jour à intervalles réguliers**. A noter que le règlement (UE) 2018/1999 précité prévoit, si nécessaire, une actualisation tous les cinq ans, à l'instar du cycle de révision quinquennal ancré dans l'Accord de Paris. Les mises à jour permettront de compléter et d'affiner la stratégie, tout en tenant compte des développements et innovations en la matière ainsi que des conclusions émanant du **dialogue** qui est établi dans le cadre de la gouvernance de la politique climatique, telle qu'instaurée par la loi relative au climat.

Atteindre la neutralité climatique implique une **transformation profonde de l'économie et de la société**. Ce processus comporte des **défis considérables**, mais offre également des **opportunités uniques** en termes socio-économiques et environnementaux : création d'emplois, innovation, compétitivité, utilisation des ressources, qualité de l'air et de l'eau, santé publique, biodiversité, qualité de vie, etc. Il ne s'agit pas seulement d'un défi technologique, mais aussi d'un défi social, structurel et économique. La **transition** devra donc être **socialement juste et économiquement efficace** et aspirer à une valorisation maximale des co-bénéfices, tout en garantissant la stabilité des finances publiques.

Ce n'est qu'avec la **participation de tous** qu'il sera possible de réussir un tel projet de société. La réussite de la transition dépend essentiellement de l'**acceptation** qu'elle rencontrera **auprès de la population**. Il convient dès lors de travailler sur une **perspective attractive pour tous** en suivant une approche intégrée et d'établir la base de **confiance** au sein de notre société et parmi tous les acteurs économiques que ce changement est nécessaire, possible et opportun. **Il s'agit de saisir maintenant l'occasion de concevoir activement le changement, au lieu de le subir plus tard.**

Principes directeurs pour guider la transition vers la neutralité climatique au Luxembourg :

1. Exploiter le potentiel de réduction des émissions anthropiques de GES afin de ne devoir compenser par des absorptions que les émissions résiduelles, inévitables ;
2. Transition socialement juste : ne laisser personne derrière ;
3. Transition économiquement efficace et financièrement viable : préserver voire améliorer la compétitivité du Luxembourg, tout en assurant à tout moment des finances publiques durablement saines et équilibrées ;
4. Impliquer la société et les acteurs économiques dans la conception de la transition ;
5. Approche intégrée : favoriser une approche respectant les objectifs de développement durable de l'Agenda 2030, tout en maîtrisant la complexité administrative ;
6. Cadre législatif et politique clair, cohérent et stable respectivement prévisible : assurer la cohérence du cadre législatif et politique luxembourgeois (y compris stratégies, plans, instruments et investissements) avec l'objectif de la neutralité climatique ;
7. Cadre UE facilitateur : œuvrer pour et tirer parti d'un cadre européen favorable qui est indispensable pour réussir la transition d'une petite économie ouverte vers la neutralité climatique ;

8. Coopération régionale et avec les autres Etats membres : coopérer dans la Grande Région et avec les autres Etats membres pour améliorer l'efficacité et la rapidité de la transition ;
9. Finance verte : exploiter les atouts de l'écosystème de Place financière luxembourgeoise pour réussir le financement de la transition verte à l'échelle nationale et au niveau mondial ;
10. Relance verte post-COVID-19 : profiter des programmes de relance économiques post-COVID-19 pour accélérer la transition ;
11. Réduction intégrée des nuisances environnementales : ne pas agir au détriment de la santé humaine, de la biodiversité, de la qualité de l'air, de l'eau ou d'autres composantes de l'environnement et valoriser au mieux les co-bénéfices, notamment en termes de santé humaine ;
12. Renonciation à la promotion de l'énergie nucléaire ;
13. Amélioration de la résilience : ne pas nuire à, mais améliorer la capacité d'adaptation et la résilience de l'environnement naturel au changement climatique.

Réussir la transition vers la neutralité climatique du Luxembourg d'ici 2050 au plus tard demande une action engagée, diversifiée et ciblée. Après la définition de la **vision stratégique** et des **principes directeurs** guidant la transition, la présente stratégie expose le **cadre facilitateur** nécessaire pour (Entre parenthèses est évoquée une sélection des leviers et instruments décrits dans la stratégie.) :

- une **gouvernance** efficace et la **participation** active de tous les acteurs de la transition (loi relative au climat, pacte climat) ;
- fournir les incitations nécessaires par le biais de la **politique fiscale** (principe du pollueur-payeur, taxe CO₂, taxation de l'énergie et des ressources) ;
- intégrer les aspects climatiques dans le budget de l'Etat et garantir des **finances publiques durables** (investissements dans les infrastructures clés, flux financiers compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de GES) ;
- consolider le **rôle précurseur de l'Etat et des communes** en développant les **marchés publics durables** (bâtiments publics durables, sains et circulaires, véhicules électriques, stratégie de décarbonisation à l'horizon 2040) ;
- exploiter la fonction coordinatrice intersectorielle de l'**aménagement territorial et urbain** (programme directeur d'aménagement du territoire, centres de développement et d'attraction et déconcentration concentrée, consultation « Luxembourg in Transition ») ;
- mobiliser la **recherche** et favoriser l'**innovation** et la **digitalisation** (stratégie nationale de la recherche et de l'innovation, télétravail) ;
- favoriser l'**engagement de la société** et étoffer le rôle clé de l'**éducation** et de la **formation** (participation des citoyens et des consommateurs, transfert de connaissances et développement de compétences) ; ainsi que
- consolider le **cadre UE** en faveur de l'action pour le climat (paquet législatif « Delivering the European Green Deal », normes de performance des véhicules, exigences en matière d'écoconception).

En bref, la **cohérence du cadre législatif et politique avec l'objectif de la neutralité climatique à l'horizon 2050** devra être assurée.

Ensuite, sont présentés les **lignes directrices** et les **principaux champs d'action et mesures stratégiques** pour guider la transformation dans tous les secteurs concernés (Entre parenthèses est évoquée une sélection des leviers et instruments décrits dans la stratégie.) :

1. Système énergétique

1. Principe de primauté de l'efficacité énergétique (réduction de la consommation énergétique, mécanisme d'obligations en matière d'efficacité énergétique)
2. Déploiement maximisé des énergies renouvelables (énergie solaire et éolienne, coopération européenne) et rôle potentiel de l'hydrogène renouvelable (stratégie hydrogène, décarbonisation d'activités difficiles à électrifier)
3. Options de stockage de l'énergie (options de flexibilité et stockage), réseau électrique intelligent (intégration des énergies renouvelables) et synergies par couplage sectoriel (électrification)

2. Bâtiments

1. Nouvelles constructions décarbonisées, durables, circulaires, résilientes et intelligentes (approche holistique, bâtiments à consommation d'énergie quasi nulle, pompes à chaleur)
2. Rénovations énergétiques profondes et durables (stratégie de rénovation à long terme, feuilles de route de rénovation de bâtiments, réseaux de chaleur)
3. Quartiers à énergie positive, durables et denses (aménagement d'éco-quartiers, communautés énergétiques, densification du parc immobilier)

3. Mobilité (planification territoriale et urbaine, diminution des écarts de prix de carburants avec les pays voisins)

1. Planification de la mobilité favorisant les transports publics et la mobilité active (plan national de mobilité, pistes cyclables dédiées, attractivité des transports publics, réseau ferroviaire transeuropéen avec connexion appropriée)
2. Déploiement accéléré de véhicules à zéro émissions (électrification du parc automobile, infrastructure de recharge)
3. Décarbonisation du transport de marchandises et du secteur logistique (stratégie de décarbonisation du secteur logistique)
4. Secteur aérien et maritime (solutions à l'échelle européenne et mondiale, systèmes d'échange de quotas d'émission)

4. Economie (stratégie de décarbonisation de l'industrie, système d'échange de quotas d'émission de l'UE, efficacité énergétique, électrification, hydrogène)

1. Economie circulaire (stratégie pour une économie circulaire Luxembourg, stratégie « Null Offfall Lëtzebuerg »)
2. Eco-innovation et écotecnologies (cadre propice à l'innovation et l'entrepreneuriat, marché de solutions zéro/bas carbone)
3. Modèles d'entreprise (modèle « produit comme service », économie du partage)

5. Alimentation et agriculture (production et commercialisation alimentaires durables, mise en pratique de la PAC en cohérence avec les objectifs climatiques, réduire la fertilisation azotée, favoriser la réduction du cheptel et mieux valoriser les effluents d'élevage, régimes alimentaires sains et durables, réduction des pertes et du gaspillage alimentaires)

6. Sylviculture et puits de carbone (amélioration de la résilience et gestion durable des forêts, bois comme matériau de construction, carbone organique dans les terres agricoles, restauration de biotopes, plantation de haies et d'arbres, minimisation de l'imperméabilisation des sols)

7. Finances durables (place financière comme centre international de la finance verte et durable, taxonomie)

1. Mobilisation du capital privé et réorientation des flux financiers (Luxembourg Sustainable Finance Initiative, stratégie nationale de la finance durable)
2. Financement climatique international (stratégie d'attribution des fonds pour le financement climatique international)

Après un aperçu des effets du changement climatique et des mesures d'**adaptation** à ce dernier dans une perspective nationale, la stratégie conclut sur le **financement** de la transition vers la neutralité climatique et sur des éléments importants à prendre en compte pour garantir une **transition juste et socialement équitable**.

Concernant le financement, le défi consiste à **mobiliser les flux d'investissement en faveur des priorités de l'action climat**, en impliquant pleinement le système financier, et à rendre ainsi les flux financiers compatibles avec l'objectif de la neutralité climatique, aussi afin d'éviter des actifs irrécupérables. Les investissements dans la modernisation verte de l'économie luxembourgeoise seront indispensables au maintien voire à l'amélioration à long terme de la compétitivité du pays et nécessiteront une planification conforme à la trajectoire budgétaire et aux exigences du pacte de stabilité et de croissance, afin d'assurer le maintien de finances publiques durablement saines et équilibrées. En ce sens, et à l'instar notamment du « Plan pour la reprise et la résilience » du Grand-Duché de Luxembourg⁷, il convient de continuer à **mettre à profit la réponse économique à la pandémie COVID-19 pour accélérer la transformation verte et durable de l'économie**.

⁷ https://gouvernement.lu/fr/dossiers/gouv_mfin%2Bfr%2Bdossiers%2B2021%2Bplanderelance.html

2 Contexte

Les constats du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) sont univoques. Le changement climatique causé par les émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) est en train de transformer notre environnement à une vitesse sans précédent dans l'histoire de l'humanité. A défaut de contrecarrer cette évolution, l'humanité sera confrontée à de graves conséquences sur les systèmes économiques et alimentaires, la santé publique, la biodiversité, la stabilité politique, bref sur la prospérité au sens large, et il sera impossible d'atteindre les objectifs de développement durable convenus à l'échelle mondiale dans le cadre des Nations unies.

Agir maintenant et de manière résolue pour le climat est donc essentiel. Il s'agit à la fois d'un défi urgent et d'une opportunité de construire un avenir meilleur pour tous.

2.1 Contexte international et européen

L'**Accord de Paris**, adopté le 12 décembre 2015, constitue le fondement de l'action climatique au niveau mondial. Au cœur de cet accord figure l'objectif de contenir la hausse de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels, et de poursuivre les efforts afin de la limiter à 1,5°C, reconnaissant que cela réduirait considérablement les risques et les impacts du changement climatique. L'Accord de Paris demande donc une action forte et rapide au niveau mondial.

En effet, le **rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C⁸** du GIEC illustre la taille du défi et l'urgence d'agir: seule une réduction de moitié d'ici 2030 des émissions anthropiques mondiales nettes de CO₂ par rapport à 2010, suivie de la neutralité carbone (zéro émissions nettes de CO₂) à l'échelle planétaire vers 2050 et une forte réduction de tous les autres GES plus tard au cours du 21^e siècle, permettra de limiter le réchauffement global à 1,5°C sans dépassement ou avec un dépassement minime. L'atteinte de cet objectif est toujours possible, mais exige des transformations rapides et profondes dans tous les domaines, y compris un renforcement des absorptions par les puits de carbone pour compenser les émissions résiduelles.

La limitation de la hausse de la température moyenne globale à 1,5°C est cruciale, car elle peut éviter des impacts irréversibles du changement climatique et réduire les coûts associés à l'adaptation de notre société et économie à ces impacts. La différence entre une augmentation de 1,5°C et 2°C est significative en termes d'impacts et de conséquences pour les écosystèmes et l'économie. Finalement, plus nous agissons tardivement, plus les coûts seront élevés, et plus les réductions de GES et le renforcement des absorptions par les puits de carbone devront être importantes et rapides dans la période après 2030.

Toutes les parties de l'Accord de Paris sont tenues de présenter des stratégies à long terme de développement à faibles émissions de GES à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). L'Union européenne (UE) a soumis sa stratégie à long terme en mars 2020 sur base des conclusions du Conseil européen du 12 décembre 2019 qui a approuvé l'objectif de la **neutralité climatique de l'UE jusqu'en 2050**. L'approbation de cet objectif a été obtenue à la suite d'un débat institutionnel et sociétal basé sur la **vision européenne stratégique à**

⁸ GIEC, 2018 : Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté, <https://www.ipcc.ch/sr15/>

long terme « Une planète propre pour tous »⁹ proposée par la Commission européenne en novembre 2018.

Cette stratégie présente une vision des transformations économiques et sociétales nécessaires pour parvenir d'ici 2050 à un niveau zéro d'émissions nettes de GES à l'issue d'une transition qui soit socialement juste et économiquement viable. Elle comporte les priorités stratégiques afférentes, expose un cadre facilitateur européen pour réussir la transition et met en avant les opportunités qu'offre cette transition pour l'économie et les citoyens européens, tout en dressant la liste des défis à relever pour la mener à bien.

En décembre 2019, la Commission européenne a présenté « **Le pacte vert pour l'Europe** »¹⁰, une stratégie pour une croissance durable et inclusive visant à transformer l'UE en une société équitable et prospère, dotée d'une économie moderne, compétitive et efficace dans l'utilisation des ressources, caractérisée par l'absence d'émissions nettes de GES d'ici 2050 et la dissociation de la croissance de l'utilisation des ressources. Le pacte vert tend à guider et accélérer la transition inévitable en convertissant les défis climatiques et environnementaux en chances à saisir par tous les acteurs de la société et de l'économie.

Il contient les politiques et mesures prioritaires et une feuille de route avec des actions clés couvrant les aspects suivants : renforcer l'ambition climatique de l'UE pour 2030 et 2050 ; un approvisionnement énergétique propre, abordable et sûr ; mobiliser les acteurs de l'industrie en faveur d'une économie circulaire et propre ; construction et rénovation économes en énergie et en ressources ; accélérer la transition vers une mobilité durable et intelligente ; concevoir un système alimentaire juste, sain et respectueux de l'environnement ; préserver et rétablir les écosystèmes et la biodiversité ; une ambition « zéro pollution » pour un environnement exempt de substances toxiques ; promouvoir la finance et l'investissement verts et assurer une transition juste ; verdir les budgets nationaux et envoyer les bons signaux de prix ; mobiliser la recherche et favoriser l'innovation ; activer l'éducation et la formation.

La mise en œuvre du pacte vert est en cours. Ainsi, suite à la présentation par la Commission européenne, en mars 2020, d'une proposition de règlement établissant le cadre requis pour parvenir à la neutralité climatique (loi européenne sur le climat) permettant d'ancrer dans la loi l'objectif de neutralité climatique à l'horizon 2050, suivi, en septembre 2020, d'un plan¹¹ assorti d'une analyse d'impact pour porter l'objectif de l'UE en matière de réduction des émissions nettes de GES pour 2030 à au moins 55 % par rapport aux niveaux de 1990, le Conseil européen lors de sa réunion du 10 et 11 décembre 2020 a en particulier adopté les conclusions suivantes :

- « Pour atteindre l'objectif de neutralité climatique de l'UE à l'horizon 2050, conformément aux objectifs de l'accord de Paris, l'UE doit relever son niveau d'ambition pour la décennie à venir et actualiser son cadre d'action en matière de climat et d'énergie. À cet effet, le Conseil européen approuve un objectif contraignant consistant en une réduction nette des émissions de gaz à effet de serre dans l'UE d'au moins 55 % d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 1990.

⁹ Communication de la Commission européenne (COM(2018) 773 final) : Une planète propre pour tous – Une vision européenne stratégique à long terme pour une économie prospère, moderne, compétitive et neutre pour le climat

¹⁰ Communication de la Commission européenne (COM(2019) 640 final) : Le pacte vert pour l'Europe

¹¹ Communication de la Commission européenne (COM(2020) 562 final) : Stepping up Europe's 2030 climate ambition – Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people (Plan cible en matière de climat à l'horizon 2030)

Il invite les co-législateurs à tenir compte de ce nouvel objectif dans la proposition de loi européenne sur le climat et à adopter cette dernière rapidement.

- [L'UE relèvera ses] ambitions en matière de climat d'une manière qui stimulera une croissance économique durable, créera des emplois, sera bénéfique aux citoyens de l'UE sur les plans de la santé et de l'environnement et contribuera à la compétitivité mondiale à long terme de l'économie de l'UE en promouvant l'innovation dans les technologies vertes. »

Le **règlement (UE) 2021/1119 établissant le cadre requis pour parvenir à la neutralité climatique** et modifiant les règlements (CE) no 401/2009 et (UE) 2018/1999 (« **loi européenne sur le climat** »)¹², entérinant l'objectif de neutralité climatique à l'horizon 2050 et de réduction nette des émissions de gaz à effet de serre dans l'UE d'au moins 55 % d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 1990, fut adopté en date du 30 juin 2021. Pour tenir compte de l'ambition climatique renforcée, la Commission a présenté le 14 juillet 2021 un paquet législatif¹³, ensemble avec un examen approfondi des incidences environnementales, économiques et sociales au niveau des États membres. Ce paquet comprend notamment des propositions concernant le partage de l'effort entre les États membres, le système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre de l'UE (ETS), le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie (LULUCF) ou encore l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables, la taxation de l'énergie et les normes de performance en matière d'émissions de CO₂ pour les véhicules.

2.2 Contexte national

A la lumière du rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C du GIEC publié en octobre 2018, le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg s'est résolu, dans le cadre de l'**accord de coalition 2018-2023** signé le 3 décembre 2018, à « mettre tout en œuvre pour respecter cet Accord [de Paris] et tenir compte des conclusions du rapport spécial 1,5°C du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) »¹⁴. En outre, l'accord de coalition précise que « pour atteindre cet objectif [objectif de contenir le réchauffement climatique en-dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels, et de poursuivre les efforts pour le limiter à 1,5°C] et parvenir à un équilibre entre émissions et absorptions (art. 4 de l'Accord de Paris), l'UE et ses États membres se sont engagés à œuvrer pour l'objectif d'émissions nettes nulles de GES d'ici à 2050 »¹⁵ et que « afin d'atteindre cet objectif, il est impératif de viser et atteindre les objectifs de zéro émissions en 2050 »¹⁶.

En exécution de l'accord de coalition et à l'instar du règlement (UE) établissant le cadre requis pour parvenir à la neutralité climatique (loi européenne sur le climat), la **loi relative au climat**¹⁷ vise l'objectif à long terme de la **neutralité climatique, qui consiste à atteindre le « zéro émissions nettes » au Luxembourg, d'ici 2050 au plus tard**. La loi définit cet objectif par « l'état dans lequel toute émission anthropique résiduelle de gaz à effet de serre est contrebalancée par des absorptions anthropiques équivalentes ».

¹² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=FR>

¹³ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en

¹⁴ Accord de coalition 2018-2023, p. 170

¹⁵ Accord de coalition 2018-2023, p. 170

¹⁶ Accord de coalition 2018-2023, p. 185

¹⁷ Loi modifiée du 15 décembre 2020 relative au climat

La présente **stratégie à long terme** identifie les lignes directrices et les principaux champs d'action et mesures stratégiques pour réussir la transition vers la neutralité climatique. Elle servira d'orientation à la politique climatique à l'horizon 2050 tel que convenu à l'accord de coalition précité¹⁸.

L'objectif de la neutralité climatique en 2050 implique une trajectoire de réduction des émissions de GES appropriée. Ainsi, tenant compte du rapport spécial précité du GIEC, le **plan national intégré en matière d'énergie et de climat du Luxembourg pour la période 2021-2030** (PNEC)¹⁹ et la loi relative au climat fixent comme objectif intermédiaire **en 2030 une réduction de 55 % par rapport aux niveaux de 2005** des émissions attribuées au Luxembourg au titre du règlement (UE) 2018/842²⁰.

Le PNEC, adopté par le Gouvernement luxembourgeois en mai 2020, en exécution du règlement (UE) 2018/1999²¹ et de la loi relative au climat, définit le cadre de la politique climatique et énergétique du Luxembourg à l'horizon 2030. Il s'agit de l'instrument de planification et de suivi principal en la matière et adresse les cinq dimensions suivantes: la décarbonisation, y compris le volet des énergies renouvelables, l'efficacité énergétique, la sécurité d'approvisionnement énergétique, le marché intérieur de l'énergie ainsi que la recherche, l'innovation et la compétitivité.

Outre l'objectif susmentionné de réduire les émissions de GES hors ETS de 55 % d'ici 2030 par rapport à l'année 2005, le PNEC contient également les objectifs d'améliorer l'efficacité énergétique de 40 à 44 % en termes d'énergie finale par rapport au scénario de référence européen de 2007 et d'augmenter la part des énergies renouvelables à 25 % de la consommation d'énergie finale brute à l'horizon 2030. Il décrit les politiques et mesures permettant d'atteindre ces objectifs et constitue dès lors une feuille de route qui est mise en œuvre par l'adoption de lois et règlements, de programmes et projets ainsi que d'autres mesures entre 2020 et 2030.

Il s'agit à présent d'accélérer davantage une transition initiée au cours des dernières années. Dans ce contexte, trois initiatives méritent d'être mentionnées. Fin 2016 fut publiée l'« **Etude stratégique de Troisième Révolution Industrielle pour le Grand-Duché de Luxembourg** »²². Réalisée selon une approche participative et en collaboration avec l'expert américain Jeremy Rifkin et son équipe, le résultat du processus se présente sous forme d'une étude détaillée proposant une panoplie de mesures stratégiques, actions, outils et projets, permettant de préparer le pays, sa société et son économie à entamer le processus de la « Troisième Révolution Industrielle ». Au total, plus de 300 personnes issues de tous les secteurs socio-économiques se sont impliquées activement en participant aux groupes de travail articulés autour des défis concernant l'énergie, la mobilité, la construction, l'alimentation, l'industrie, la finance, la « smart economy », l'économie circulaire ainsi que les prosommateurs et le modèle social.

En amont de l'élaboration du PNEC et de la présente stratégie à long terme, plusieurs **consultations** furent **organisées par le Département de l'Environnement du Ministère du Développement durable et des Infrastructures** en 2018 avec des acteurs de la société civile, du monde économique et scientifique et les administrations publiques. Ces consultations étaient accompagnées par l'expert allemand Reinhard Loske. Lors d'un premier atelier de co-création, une centaine de participants ont

¹⁸ Accord de coalition 2018-2023, p. 171

¹⁹ Plan national intégré en matière d'énergie et de climat du Luxembourg pour la période 2021-2030, <https://environnement.public.lu/fr/actualites/2020/05/pnec.html>

²⁰ Règlement (UE) 2018/842 relatif aux réductions annuelles contraignantes des émissions de gaz à effet de serre par les États membres de 2021 à 2030 contribuant à l'action pour le climat afin de respecter les engagements pris dans le cadre de l'accord de Paris et modifiant le règlement (UE) n° 525/2013

²¹ Règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat

²² <https://www.troisiemerevolutionindustrielle.lu/etude-strategique/>

identifié des innovations sociales permettant d'atténuer le changement climatique. Un deuxième atelier a surtout permis d'élaborer les principes fondamentaux d'une gouvernance de la politique climatique nationale. En juin 2018, le résultat du processus fut présenté et discuté avec les parties prenantes.

En juin 2020, le Département de l'aménagement du territoire du Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire a lancé la consultation urbano-architecturale et paysagère « **Luxembourg in Transition – Visions territoriales pour le futur décarboné et résilient de la région fonctionnelle luxembourgeoise** »²³. Elle s'inscrit dans le cadre de la refonte en cours du programme directeur d'aménagement du territoire (PDAT), l'instrument phare prévu par la loi du 17 avril 2018 concernant l'aménagement du territoire, et des résultats du processus de participation citoyenne relatif à la refonte du PDAT menée entre 2017 et 2018 et publiés sous le titre « Changement collaboratif, Approches participatives pour la révision du programme directeur d'aménagement du territoire ».

Finalement, il y a lieu de souligner la **forte interdépendance entre la politique du développement durable et la politique climatique** qui ont un formidable potentiel de se renforcer mutuellement. En effet, le développement durable appuie, voire favorise souvent, les transformations fondamentales de la société et des systèmes qui contribuent à limiter le réchauffement planétaire à 1,5°C. Dans cette perspective, le 3^{ème} Plan National pour un Développement Durable²⁴, élaboré dans le cadre de l'Agenda 2030 des Nations Unies avec ses 17 objectifs de développement durable (ODD)²⁵, comporte certains champs d'action prioritaires qui soutiennent directement l'action pour le climat, notamment :

- Promouvoir une consommation et une production durables
- Planifier et coordonner l'utilisation du territoire
- Assurer une mobilité durable
- Protéger le climat, s'adapter au changement climatique et assurer une énergie durable
- Garantir des finances durables

Vice versa les actions utiles pour faire avancer la transition vers la neutralité climatique, telle qu'exposée dans la présente stratégie à long terme, permettent une contribution importante à la réalisation des objectifs de développement durable en général et en particulier l'ODD 13 – Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques ou encore l'ODD 7 – Énergie propre et d'un coût abordable.

²³ Voir aussi le chapitre « Exploiter la fonction coordinatrice de l'aménagement territorial et urbain »

²⁴ Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, 2019 : Luxembourg 2030 – 3^{ème} Plan National pour un Développement Durable, <https://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/developpement-durable/PNDD.pdf>

²⁵ <https://environnement.public.lu/fr/developpement-durable.html>

La **pandémie COVID-19** place le monde entier, l'Europe et le Grand-Duché de Luxembourg face à des défis sanitaires, sociaux et économiques sans précédent. Les impacts de la pandémie sur la santé publique, la vie quotidienne, le bien-être des citoyens, l'économie et les finances publiques ont déjà été considérables. Or, cette crise est également une opportunité, notamment en terme de la **relance verte** à laquelle le Gouvernement s'est entièrement souscrite. En ce sens, le programme de stabilité et de croissance 2021²⁶ précise que « [Le Gouvernement] continuera en 2021, et au-delà, à orienter sa politique budgétaire pleinement en faveur d'une croissance qualitative et créatrice d'emplois, en favorisant l'innovation et l'inclusion sociale ainsi qu'en accordant la plus grande priorité aux investissements permettant de relever les défis issus de la double transition écologique et numérique. ». Il est évident que l'action pour le climat doit être une pierre angulaire de la relance permettant de faire face à la menace du changement climatique dont les effets sont bien plus lourds à surmonter et à plus long terme aussi. **Une relance verte offre l'opportunité d'accélérer la transition convoitée vers une économie à zéro émissions nettes de GES.** A cet égard, le Conseil européen lors de sa réunion du 10 et 11 décembre 2020 a notamment retenu que « la réponse économique à la pandémie COVID-19 offre la possibilité d'accélérer la transformation et la modernisation durables de nos économies et d'obtenir un avantage concurrentiel ». Et encore qu'« il convient de tirer le meilleur parti de l'ensemble de mesures CFP [cadre financier pluriannuel] /Next Generation EU, y compris le mécanisme pour une transition juste, afin de réaliser nos ambitions en matière de climat ». C'est pourquoi le Luxembourg a notamment élaboré un « Plan pour la reprise et la résilience »²⁷ (PRR) dont 61% des investissements sont dédiés à la contribution aux efforts dans la lutte contre le changement climatique, soit largement au-dessus des 37% requis par la réglementation applicable et plaçant ainsi le PRR luxembourgeois parmi les plus ambitieux en la matière.

²⁶ Ministère des Finances, 2021 : Programme de Stabilité et de Croissance du Grand-Duché de Luxembourg 2021 > 2025, <https://gouvernement.lu/dam-assets/documents/actualites/2021/04-avril/27-programme-stabilite-gramegna/Programme-de-stabilite-et-de-croissance.pdf>

²⁷ https://gouvernement.lu/fr/dossiers.gouv_mfin%2Bfr%2Bdossiers%2B2021%2Bplanderelance.html

3 Relevé de la situation nationale

Lors des trois dernières décennies, le Grand-Duché de Luxembourg a déjà entamé la modernisation et la transformation de son économie dans le sens d'une décarbonisation progressive. La quantité totale des gaz à effet serre émis par le Luxembourg (hors LULUCF) est passée de 12,73 Mt CO₂eq en 1990 à 10,74 Mt CO₂eq en 2019 (voir Figure 1), ce qui correspond à une réduction de 16%. Au courant des années 1990, les émissions de GES ont connu une forte baisse résultant essentiellement de la restructuration de l'industrie sidérurgique (passage aux fours à arc électrique) et aboutissant en 1998 à la quantité minimale émise de 8,61 Mt CO₂eq. Par la suite, les émissions ont été entraînées par la vente et l'exportation croissante de carburants ainsi que la mise en opération d'une centrale électrique pour culminer en 2005, avec 13,03 Mt CO₂eq, à un niveau similaire à celui de 1990. Depuis, les émissions ont baissé de près de 2,3 Mt CO₂eq jusqu'en 2019, affichant néanmoins à nouveau une tendance à la hausse entre 2017 et 2019 nourrie principalement par la vente de carburants.

En 2020, la pandémie COVID-19 a provoqué un ralentissement abrupt de l'activité économique menant à une chute des émissions de quelque 1,5 Mt CO₂eq²⁸ par rapport à l'année précédente. Evidemment, une telle façon de diminuer les émissions n'est ni souhaitable, ni durable, et il faut s'attendre à un rebond des émissions avec la reprise des activités, tout en œuvrant en faveur d'une relance verte afin de limiter le rebond. Vu le caractère exceptionnel de l'année 2020, la description de la situation qui suit se réfère principalement à l'année 2019.

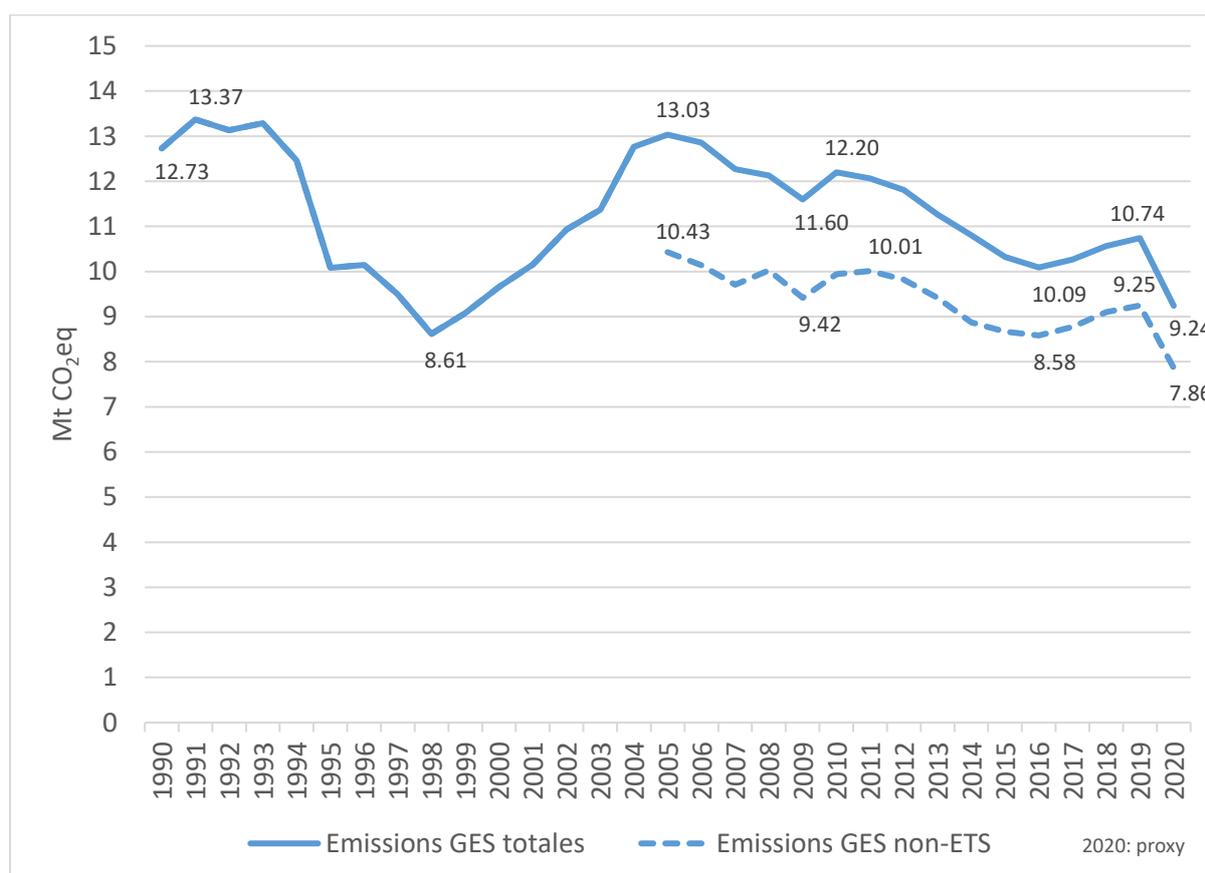


Figure 1: Evolution historique des émissions de GES du Luxembourg entre 1990 et 2020²⁹

²⁸ Administration de l'Environnement, 2021 : Approximated greenhouse gas inventory 2020

²⁹ Administration de l'Environnement, 2021 : Luxembourg's National Inventory Report 1990-2019 ; Administration de l'Environnement, 2021 : Approximated greenhouse gas inventory 2020 & calculs MECDD

Depuis 2005, une partie des émissions de GES portant essentiellement sur les secteurs industriels à forte intensité énergétique est régie par le système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet serre de l'UE (ETS)³⁰. Il en résulte que les émissions comptabilisées aux bilans nationaux des Etats membres sont réduites en conséquence. Les émissions attribuées au Luxembourg au titre de la décision 406/2009/CE³¹ (émissions hors ETS) ont évolué de 10,43 Mt CO₂eq en 2005 à 9,25 Mt CO₂eq en 2019, suivant une tendance analogue à celle des émissions totales (voir Figure 1).

Entre 1990 et 2019, le Luxembourg a donc diminué de 16% les émissions totales de GES (hors LULUCF), et ce malgré un développement démographique et économique très dynamique du pays durant la même période.

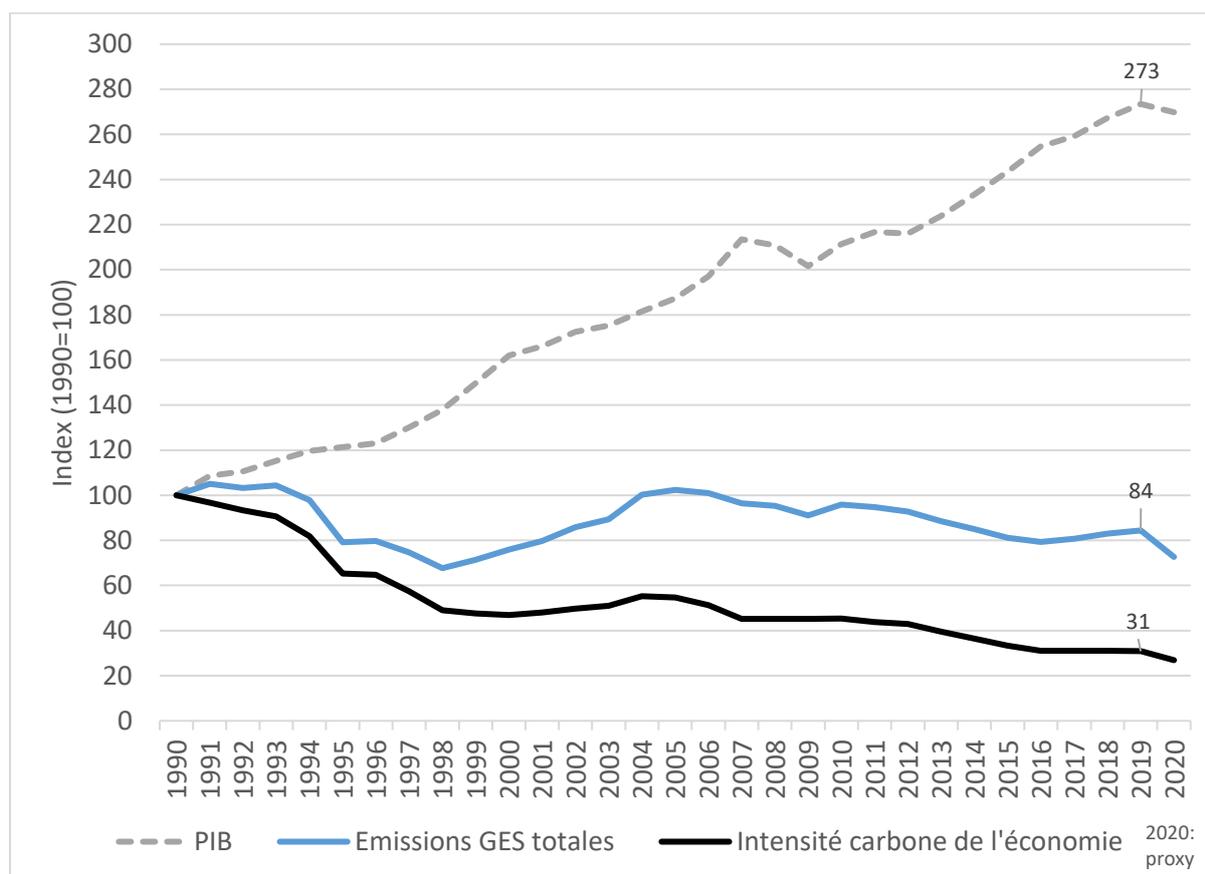


Figure 2: Evolution du PIB et de l'intensité carbone de l'économie luxembourgeoise entre 1990 et 2020³²

En effet, la Figure 2 met en évidence que le produit intérieur brut (PIB) a presque triplé en l'espace de 30 ans. Par conséquent, **l'intensité carbone de l'économie luxembourgeoise s'est améliorée d'environ 70% entre 1990 et 2019**. Le Luxembourg a donc réussi à initier le découplage de la croissance économique et des émissions de GES.

³⁰ Directive 2003/87/CE (modifiée) établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet serre dans l'Union ; dernière modification : Directive (UE) 2018/410

³¹ Décision 406/2009/CE relative à l'effort à fournir par les États membres pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre afin de respecter les engagements de la Communauté en matière de réduction de ces émissions jusqu'en 2020

³² STATEC, 2021 : <https://statistiques.public.lu> & calculs MECDD

Pendant la même période, la population a augmenté de 384.400 en 1990 à 626.108 habitants en 2019, soit une croissance de 63% (voir Figure 3). En combinaison avec la réduction de 16% des émissions de GES, ceci a mené à une **division par deux des émissions par habitant, qui restent néanmoins élevées avec environ 17 t CO₂eq/habitant en 2019**. Ce ratio – le plus élevé parmi les Etats membres de l’UE – s’explique partiellement par les caractéristiques particulières de l’économie luxembourgeoise qui se distingue par une part importante de travailleurs frontaliers qui contribuent à la richesse du pays (voir Figure 4 indiquant une croissance sensiblement plus dynamique de l’emploi intérieur en comparaison à la population dans la période 1990 à 2019), tout en n’entrant pas dans le calcul du ratio par habitant. En 2019, cette part correspondait à 44% de l’emploi intérieur³³. D’autres facteurs structurels à considérer dans l’interprétation du ratio précité sont la vente de carburants à des non-résidents, particuliers et surtout professionnels, dont l’intégralité est comptabilisée dans le bilan de GES du Luxembourg, et aussi un important secteur de la logistique aujourd’hui presque exclusivement basé sur les énergies fossiles ainsi que des industries manufacturières (acier, verre, chimie) qui produisent largement pour un marché international³⁴.

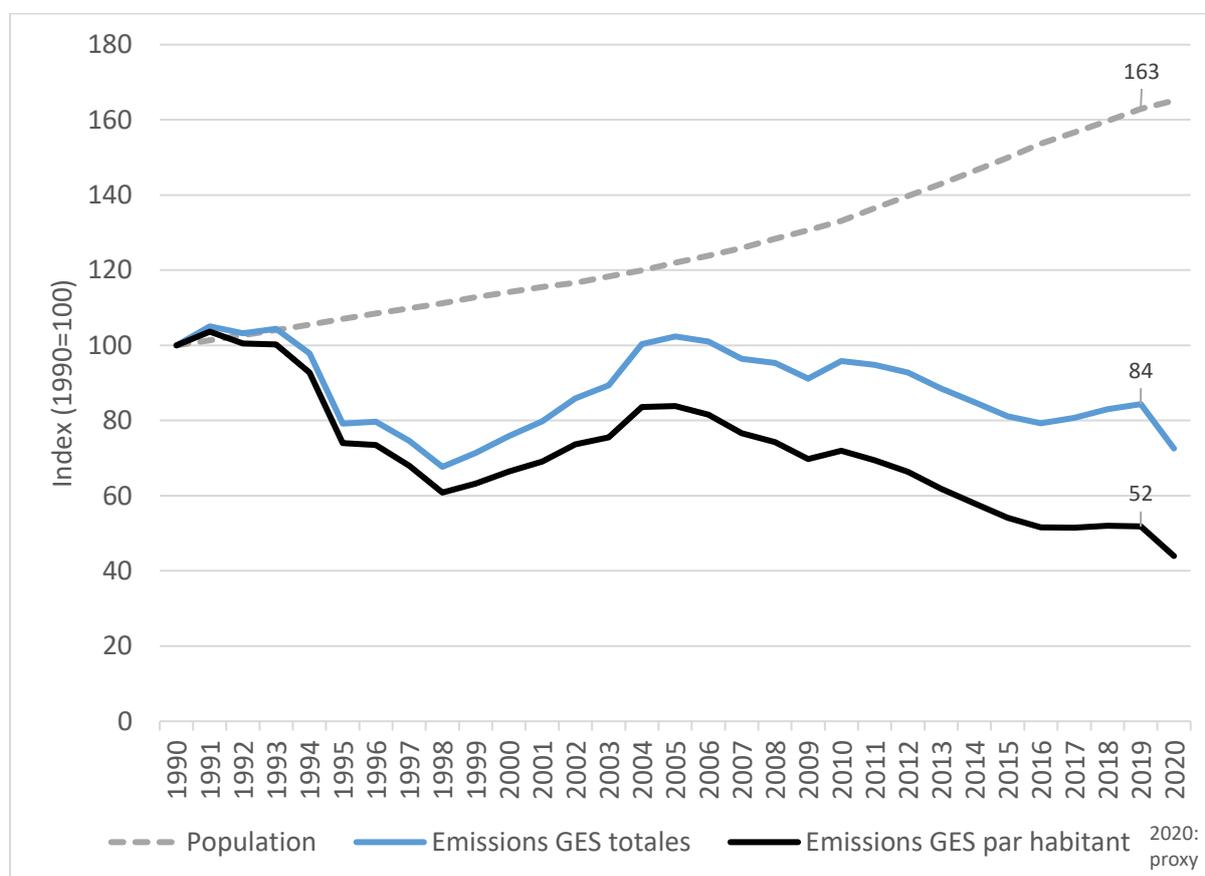


Figure 3: Evolution de la population et des émissions de GES par habitant entre 1990 et 2020³⁵

La tendance générale depuis 1990 est donc modérément encourageante. Le Luxembourg a fait des progrès indéniables en matière de politique climatique et énergétique au cours des dernières années. Toutefois, **il s’agit à présent d’amplifier les efforts et d’accélérer substantiellement le rythme de la transition initiée**. En effet, le chemin vers la neutralité climatique d’ici la fin de la première moitié du siècle implique une transformation profonde de l’économie et de la société luxembourgeoise. **Pour**

³³ STATEC, 2021 : <https://statistiques.public.lu> & calculs MECDD

³⁴ A noter que les émissions de GES résultant de l’électricité importée ne sont pas attribuées au bilan national.

³⁵ STATEC, 2021 : <https://statistiques.public.lu> & calculs MECDD

rappel, durant les 30 dernières années, la quantité de GES émise par le Luxembourg a diminué de 16%. Durant les 30 années à venir, il faudra réduire à zéro les émissions nettes de GES, tout en franchissant l'étape intermédiaire de moins 55% par rapport à 2005 d'ici 10 ans.

Le défi est d'autant plus grand quand on le place dans le contexte des projections démographiques et macroéconomiques à plus long terme, qui prévoient la poursuite d'une dynamique soutenue dans les années à venir (voir Figure 4). D'après ces projections, la population pourrait continuer à croître à un taux annuel moyen de 1,5% pour atteindre environ 980.000 habitants en 2050, ce qui correspond à une **augmentation de la population plus de 50%** par rapport à 2020. Même si les projections indiquent un développement économique quelque peu moins dynamique avec un taux de croissance moyen du PIB de 2,6% par an sur la période 2021 à 2050 par rapport à 3,6% par an entre 1990 et 2019, une telle croissance mènerait à un **doublé du PIB** durant les 30 ans à venir.

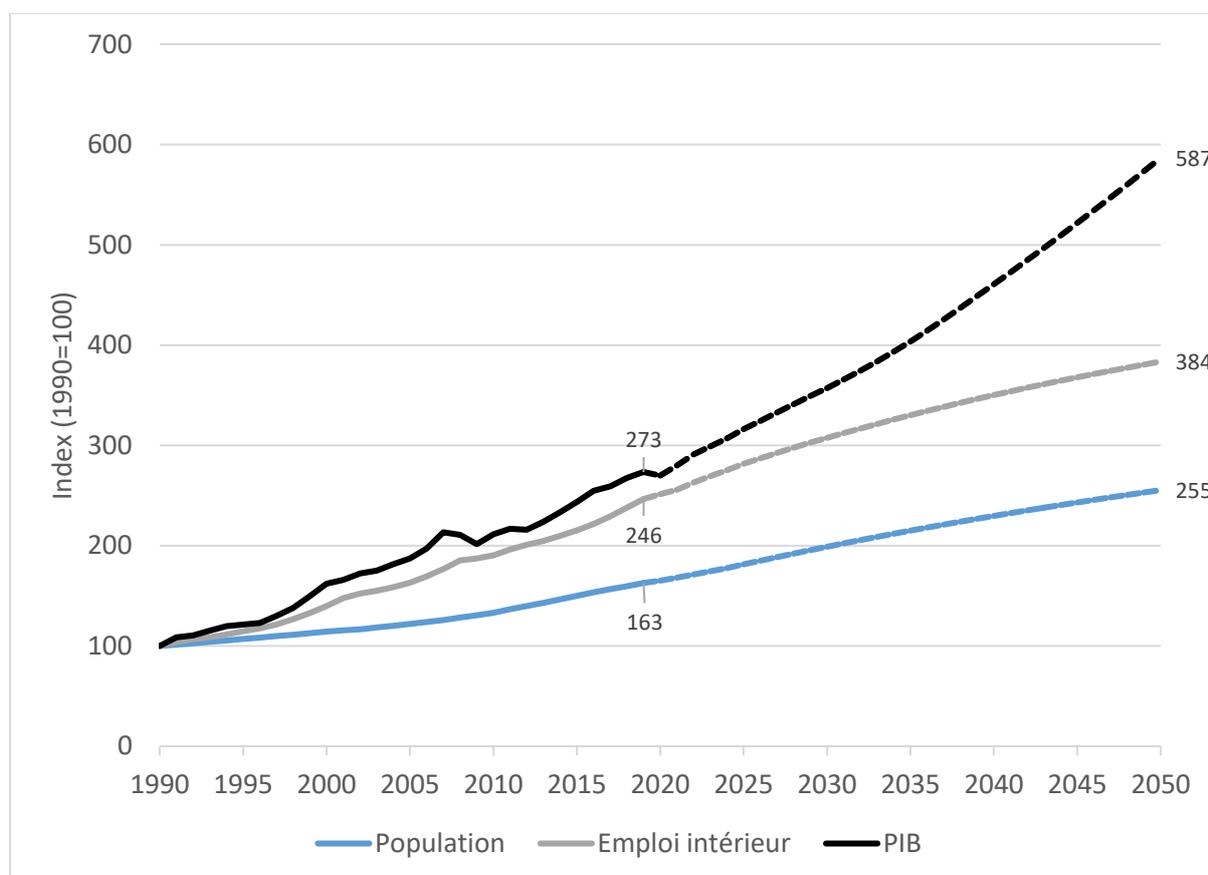


Figure 4: Evolution historique (1990-2020) et projections (jusqu'en 2050) de la population, de l'emploi intérieur et du PIB³⁶

Outre la situation globale, l'évolution des émissions sectorielles de GES mérite un examen plus approfondi.

³⁶ 1990-2020 : STATEC, 2021, <https://statistiques.public.lu> & 2021-2050 : projections macroéconomiques et démographiques préparées par le STATEC, 2021 & calculs MECDD

3.1 Evolution des émissions sectorielles de gaz à effet de serre

Entre 2005 et 2019, les émissions totales de GES ont évolué de 13,03 à 10,74 Mt CO₂eq (voir Figure 5) entraînant une baisse de près de 2,3 Mt CO₂eq. Selon l'inventaire par approximation établi en juillet 2021³⁷, la réduction supplémentaire de quelque 1,5 Mt CO₂eq en 2020, causée principalement par la pandémie COVID-19, s'est répercutée essentiellement sur le transport et, dans une moindre mesure sur l'industrie. Vu le caractère exceptionnel de l'année 2020, les descriptions sectorielles suivantes se réfèrent à l'année 2019.

A environ 57% en 2019³⁸, les émissions sont dominées par le secteur du **transport** routier, dont plus de 70% peuvent être attribués à la vente de carburants à des non-résidents, particuliers et surtout professionnels. Les causes en sont surtout la situation géographique du Luxembourg au croisement des routes de transit de l'Europe de l'Ouest, les prix généralement avantageux des carburants par rapport aux pays limitrophes et la part élevée de travailleurs frontaliers. Après une baisse supérieure à 20% des émissions résultant de la vente de carburants entre 2005 et 2016, une nouvelle tendance à la hausse est enregistrée entre 2017 et 2019. A noter que la quantité de carburants vendus et non destinés à l'exportation est en croissance constante en dépit d'une quantité totale moindre en 2019 par rapport à 2005.

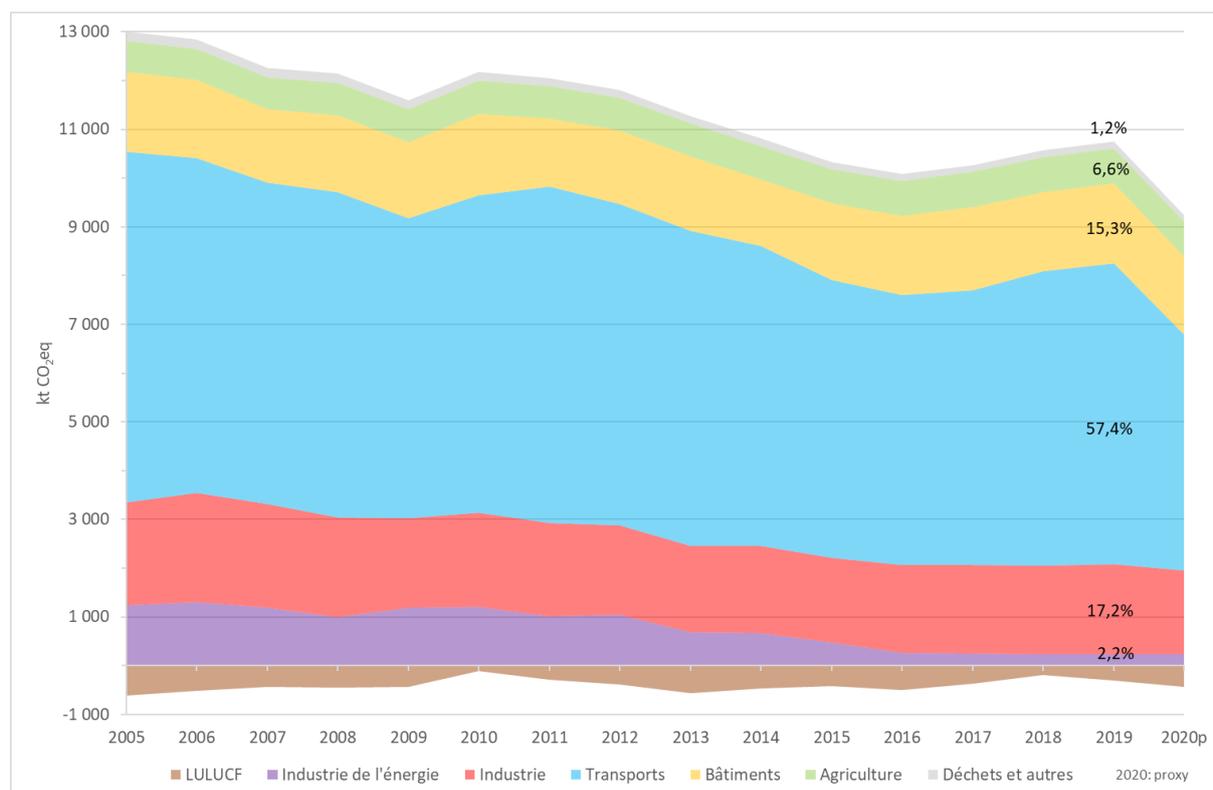


Figure 5: Evolution historique des émissions sectorielles de GES totales entre 2005 et 2020³⁹

En 2019, l'**industrie** manufacturière, y inclus les procédés industriels, produisait un peu plus de 17% des émissions totales, dont près de 80% étaient soumises au système d'échange de quotas d'émission

³⁷ Administration de l'Environnement, 2021 : Approximated greenhouse gas inventory 2020

³⁸ Environ 67% des émissions totales hors ETS

³⁹ Administration de l'Environnement, 2021 : Luxembourg's National Inventory Report 1990-2019 ; Administration de l'Environnement, 2021 : Approximated greenhouse gas inventory 2020 & calculs MECDD

de gaz à effet serre de l'UE. Sur la période de 2005 à 2019, les émissions provenant de l'industrie ont diminué de 12% avec une certaine stagnation observée pendant les dernières années.

Comme le Luxembourg ne dispose pas de grandes centrales électriques, le pays recourt principalement à des importations d'électricité⁴⁰, dont les émissions de GES ne sont pas attribuées au bilan national. Ainsi, l'**industrie de l'énergie** ne représentait qu'environ 2% des émissions totales en 2019, en baisse depuis 2010 suite au ralentissement suivi de la fermeture en 2016 de la seule grande centrale électrique thermique. Grâce au développement des sources d'énergie renouvelables (essentiellement énergie éolienne et solaire) et au remplacement systématique du gaz naturel dans les centrales de cogénération et les réseaux de chaleur urbains par des sources renouvelables, la production nationale d'électricité croît sans émettre des gaz à effet serre^{41,42}.

Malgré la croissance démographique soutenue et les activités de construction en découlant, la quantité d'émissions engendrées par les **bâtiments** en 2019 était quasiment égale à celle de 2005. En somme, les bâtiments étaient responsables en 2019 de 15,3% des émissions totales, dont à peu près 60% étaient dues aux bâtiments résidentiels. Il importe de souligner qu'alors que les émissions des bâtiments résidentiels affichent une légère tendance à la baisse, grâce notamment au très haut standard de performance énergétique pour les logements neufs, celles des bâtiments tertiaires ont récemment connu une hausse importante. Pour ces bâtiments les exigences étaient moins contraignantes, mais depuis juillet 2021 ces exigences sont renforcées.

L'**agriculture** émettait en 2019 6,6% des émissions totales, sans compter les émissions liées à la consommation de combustibles et carburants fossiles en agriculture (chauffage de bâtiments agricoles, tracteurs et autres engins agricoles, etc.)⁴³. Par rapport à 2005, le secteur agricole est le seul secteur dont les émissions de GES ont augmenté, en l'occurrence d'environ 10%. Cet accroissement s'explique principalement par une restructuration du secteur agricole luxembourgeois en relation avec l'abolition des quotas laitiers en 2015, qui menait à une augmentation du cheptel bovin. Depuis 2017, les émissions se sont toutefois stabilisées.

Finalement, sur la période de 2005 à 2019, il y a lieu de noter qu'en matière d'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie (UTCATF = **LULUCF**) les absorptions par les puits de carbone oscillaient entre 0,62 et 0,12 Mt CO₂eq et ne compensaient donc qu'une petite fraction comprise entre environ 1 et 5% des émissions de GES au Luxembourg.

⁴⁰ 80,7% de la consommation d'électricité étaient importés en 2020 (ILR, 2021 : Chiffres clés du marché de l'électricité, Année 2020 – partie I, <https://assets.ilr.lu/energie/Documents/ILRLU-1685561960-889.pdf>)

⁴¹ En 2020, le Luxembourg couvrait 15,6% de sa consommation par la production nationale basée sur les sources d'énergie renouvelables. (ILR, 2021 : Chiffres clés du marché de l'électricité, Année 2020 – partie I)

⁴² Le territoire du Luxembourg héberge aussi à Vianden une des plus grandes centrales de pompage hydraulique d'Europe qui est directement connectée au réseau d'électricité allemand où elle fournit des services d'équilibrage importants pour tous le marché de l'électricité de la zone CWE (Central West Europe).

⁴³ Ces émissions sont comptabilisées sous « Déchets et autres ».

4 Elaboration et mises à jour ultérieures de la stratégie

La **stratégie nationale à long terme en matière d'action pour le climat** définit la vision stratégique de la neutralité climatique du Luxembourg d'ici 2050 au plus tard et elle esquisse la transformation de l'économie et de la société requise pour y parvenir. Ainsi, elle identifie les lignes directrices et les principaux champs d'action et mesures stratégiques pour réussir la transition dans tous les secteurs concernés : système énergétique ; bâtiments ; mobilité ; économie ; alimentation et agriculture ; sylviculture et puits de carbone ; finances durables. Une présentation sommaire et qualitative des aspects de financement pour mettre en œuvre la transition vers la neutralité climatique et des éléments à prendre en compte pour garantir une transition juste ainsi qu'un aperçu de la stratégie en matière d'adaptation au changement climatique complètent le document.

Tel que convenu à l'accord de coalition 2018-2023⁴⁴, la présente stratégie servira d'**orientation à la politique climatique nationale à l'horizon 2050**. En outre, elle servira à satisfaire les **obligations** en matière de stratégie à long terme **au niveau européen et international**. En effet, le règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat⁴⁵ exige l'établissement, par les Etats membres, de stratégies à long terme en matière d'action pour le climat, sur trente ans au minimum. Par ailleurs, toutes les parties de l'Accord de Paris sont tenues de présenter des stratégies à long terme de développement à faibles émissions de GES à la CCNUCC.

Vu le caractère transversal de l'action pour le climat, une **coopération étroite et coordonnée** est indispensable entre les différents départements ministériels compétents dans les secteurs concernés. Ainsi, suite à l'appel du ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable et dans le but d'assurer la cohérence des politiques sectorielles avec l'objectif de la neutralité climatique, les ministères ont fourni leurs contributions relatives aux lignes directrices et principaux champs d'action et mesures stratégiques dans leurs domaines respectifs. Ultérieurement, l'avant-projet de la stratégie à long terme a été concerté en vue de son adoption par le Conseil de gouvernement. Celui-ci a marqué son accord avec l'avant-projet en date du 30 juillet 2021.

Ensuite, le projet de la stratégie a été soumis à une **consultation** de toutes les parties prenantes et du grand public. Il était rendu accessible sur le portail national des enquêtes publiques et sur le portail du ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable. Tous les intéressés étaient invités à transmettre leurs observations et suggestions jusqu'au 12 octobre 2021. Le projet final de la stratégie fut adopté par le Conseil de gouvernement en date du 29 octobre 2021.

La stratégie couvrant une période étendue de trente ans, elle fera l'objet de **mises à jour à intervalles réguliers**. A noter que le règlement (UE) 2018/1999 précité prévoit, si nécessaire, une actualisation tous les cinq ans, à l'instar du cycle de révision quinquennal ancré dans l'Accord de Paris. Les mises à jour permettront de compléter et d'affiner la stratégie, tout en tenant compte des développements et innovations en la matière ainsi que des conclusions émanant du **dialogue** qui est instauré dans le cadre de la gouvernance de la politique climatique⁴⁶.

Alors que la présente stratégie expose la transition à réaliser à long terme, le PNEC constitue l'instrument de planification principal à moyen terme, en l'occurrence à l'horizon 2030. Il décrit plus

⁴⁴ Accord de coalition 2018-2023, p. 171

⁴⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02018R1999-20210101&from=EN>

⁴⁶ Voir explications concernant la loi relative au climat dans le chapitre « Gouvernance et participation active de tous les acteurs de la transition »

en détail les politiques et mesures permettant d'embarquer le Luxembourg sur une trajectoire de réduction des émissions de GES compatible avec la neutralité climatique en 2050.

5 Vers la neutralité climatique en 2050

5.1 Vision stratégique

D'ici 2050 au plus tard, le Grand-Duché de Luxembourg aura atteint la neutralité climatique. Cet objectif à long terme consiste à réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre à zéro en compensant les émissions résiduelles, inévitables par des absorptions équivalentes moyennant des puits de carbone.

L'économie luxembourgeoise sera décarbonisée, circulaire, résiliente et compétitive. Elle contribuera au bien-être des citoyennes et citoyens, notamment en générant des emplois, en améliorant la santé publique et en appuyant l'enrayement de la perte de biodiversité.

5.2 Mission

Atteindre la neutralité climatique implique une **transformation profonde de l'économie et de la société, un changement systémique**, particulièrement de la consommation et de l'approvisionnement en énergie et ressources épuisables. Ce processus comporte des **défis considérables**, mais offre également des **opportunités uniques** en termes socio-économiques et environnementaux : création d'emplois, innovation, compétitivité, utilisation des ressources, qualité de l'air et de l'eau, santé publique, biodiversité, qualité de vie, etc.

Réussir la transition vers une économie à zéro émissions nettes de GES et tirer profit des opportunités y associées n'est pas un défi purement technologique, mais aussi un défi social, structurel et économique. La **transition** devra donc être **socialement juste et économiquement efficace** et aspirer à une valorisation maximale des co-bénéfices cités, tout en garantissant la **stabilité des finances publiques**.

Ce n'est qu'avec la **participation de tous** qu'il sera possible de réussir une tel projet de société. La réussite de la transition dépend essentiellement de l'**acceptation** qu'elle rencontrera **auprès de la population**. Il convient dès lors de travailler sur une **perspective attractive pour tous** en suivant une approche intégrée.

Pour réaliser la transformation, il faut procéder sans tarder à une **planification à long terme**, telle qu'initiée par la présente stratégie, au **renforcement du cadre facilitateur** et à établir la base de **confiance** au sein de notre société et parmi tous les acteurs économiques que ce changement est nécessaire, possible et opportun. **Il s'agit de saisir maintenant l'occasion de concevoir activement le changement, au lieu de le subir plus tard.**

Le cadre facilitateur devra comprendre les instruments adéquats pour consolider la **gouvernance** et la **participation** active de tous les acteurs de la transition, y compris des citoyens et citoyennes, pour mobiliser la **recherche** et favoriser l'**innovation**, pour mobiliser les **investissements** et assurer le **financement** et, à ne pas oublier, pour assurer la **cohésion sociale** moyennant une transition juste et socialement équitable.

La complexité de la mission et l'interdépendance des politiques et mesures en matière d'action pour le climat demandent une **gouvernance** efficace et une **coordination** intense entre tous les acteurs, notamment les départements ministériels concernés. Les **stratégies, plans, instruments et investissements** en matière d'énergie, de construction, de mobilité, d'économie (industrie, commerce, services), d'agriculture, d'alimentation et de sylviculture, d'aménagement du territoire, de budget et de finances, d'éducation et de recherche, de travail et d'emploi devront **tenir compte de l'objectif de la neutralité climatique** et par conséquent de la présente stratégie.

L'**implication** des entreprises ainsi que des citoyens et citoyennes saura promouvoir la confiance qu'ils mettront dans la transition et partant leur acceptation de cette dernière. L'**éducation**, l'**information** et la **sensibilisation** contribueront à stimuler l'action individuelle et collective.

La protection de l'environnement et la protection du climat vont de pair avec la protection de la santé de la population luxembourgeoise. Un ralentissement du changement climatique aura automatiquement un **impact positif sur la santé humaine**. L'intégration de cette notion permettra aux citoyens de mieux comprendre et accepter les mesures proposées, et renforcera leur engagement dans la mise en œuvre.

Il importe par ailleurs d'améliorer la **résilience** et les **capacités d'adaptation** de la société, de l'économie et de l'environnement naturel luxembourgeois au changement climatique.

Finalement, notre société étant confrontée, parallèlement à la crise climatique, à d'autres crises majeures, telles que la perte de la biodiversité, la pollution de l'air, de l'eau et des sols ainsi que la pénurie de ressources, une **gestion intégrée de toutes ces crises** s'impose, en particulier par le développement et l'adoption de **solutions fondées sur la nature**.

5.3 Principes directeurs

Les principes directeurs suivants guideront la transition vers la neutralité climatique au Luxembourg :

1. **Exploiter le potentiel de réduction des émissions anthropiques de GES afin de ne devoir compenser par des absorptions que les émissions résiduelles, inévitables ;**
2. **Transition socialement juste : ne laisser personne derrière ;**
3. **Transition économiquement efficace et financièrement viable : préserver voire améliorer la compétitivité du Luxembourg, tout en assurant à tout moment des finances publiques durablement saines et équilibrées ;**
4. **Impliquer la société et les acteurs économiques dans la conception de la transition ;**
5. **Approche intégrée : favoriser une approche respectant les objectifs de développement durable de l'Agenda 2030, tout en maîtrisant la complexité administrative ;**
6. **Cadre législatif et politique clair, cohérent et stable respectivement prévisible : assurer la cohérence du cadre législatif et politique luxembourgeois (y compris stratégies, plans, instruments et investissements) avec l'objectif de la neutralité climatique ;**
7. **Cadre UE facilitateur : œuvrer pour et tirer parti d'un cadre européen favorable qui est indispensable pour réussir la transition d'une petite économie ouverte vers la neutralité climatique ;**
8. **Coopération régionale et avec les autres Etats membres : coopérer dans la Grande Région et avec les autres Etats membres pour améliorer l'efficacité et la rapidité de la transition ;**
9. **Finance verte : exploiter les atouts de l'écosystème de Place financière luxembourgeoise pour réussir le financement de la transition verte à l'échelle nationale et au niveau mondial ;**
10. **Relance verte post-COVID-19 : profiter des programmes de relance économique post-COVID-19 pour accélérer la transition ;**
11. **Réduction intégrée des nuisances environnementales : ne pas agir au détriment de la santé humaine, de la biodiversité, de la qualité de l'air, de l'eau ou d'autres composantes de l'environnement et valoriser au mieux les co-bénéfices, notamment en termes de santé humaine ;**
12. **Renonciation à la promotion de l'énergie nucléaire ;**
13. **Amélioration de la résilience : ne pas nuire à, mais améliorer la capacité d'adaptation et la résilience de l'environnement naturel au changement climatique.**

6 Agir pour la neutralité climatique

Réussir la transition vers la neutralité climatique du Luxembourg d'ici 2050 au plus tard demande une action engagée, diversifiée et ciblée. Cette action exige un cadre facilitateur solide pour le déploiement coordonné et efficace des politiques, stratégies et mesures sectorielles. Après la description des politiques et actions transversales primordiales formant le cadre facilitateur à mettre en place, les lignes directrices et les principaux champs d'action et mesures stratégiques sont présentés par domaine d'action, en l'état des connaissances actuelles : système énergétique ; bâtiments ; mobilité ; économie ; alimentation et agriculture ; sylviculture et puits de carbone ; finances durables.

6.1 Cadre facilitateur pour la transition vers la neutralité climatique

Le cadre facilitateur devra en particulier comprendre les instruments adéquats pour une **gouvernance** efficace et la **participation** active de tous les acteurs de la transition, fournir les incitations nécessaires à travers la **politique fiscale**, intégrer les aspects climatiques dans le budget de l'Etat et garantir des **finances publiques durables**, consolider le **rôle précurseur de l'Etat et des communes** en développant les **marchés publics durables**, exploiter la fonction coordinatrice intersectorielle de l'**aménagement territorial et urbain**, mobiliser la **recherche** et favoriser l'**innovation** et la **digitalisation**, favoriser l'**engagement de la société** et étoffer le rôle clé de l'**éducation** et de la **formation** ainsi que renforcer le **cadre UE** en faveur de l'action pour le climat, sans oublier deux conditions sine qua non de la transition : la mise en œuvre d'une **transition juste** et la mise à disposition d'un **financement** adéquat⁴⁷.

6.1.1 Gouvernance et participation active de tous les acteurs de la transition

La **gouvernance** nationale en matière de l'action pour le climat doit être **renforcée** à terme pour assurer le succès d'une mission d'une telle envergure. Le modèle de gouvernance doit notamment être outillé des organes, des processus et des instruments adéquats.

Il doit assurer une **approche coordonnée, intégrée et ciblée** entre les différents acteurs, secteurs et niveaux et permettre ainsi la **cohérence** des politiques, stratégies et mesures transversales et sectorielles avec l'objectif de la neutralité climatique **dans un cadre prévisible**. Afin de faciliter le soutien et l'engagement de la société entière un **dialogue** multiniveaux permanent sur l'action pour le climat entre toutes les parties prenantes, notamment les acteurs du monde économique et scientifique, les organisations de la société civile et les citoyens et citoyennes, les institutions et administrations publiques, est indispensable. En complément aux deux organes instaurés par la loi relative au climat⁴⁸, à savoir la **plateforme pour l'action climat et la transition énergétique** et l'**observatoire de la politique climatique**, le **comité de coordination interministériel pour l'action climat** contribue à assurer la cohérence de l'action climat, compte tenu des compétences et obligations légales de tous les départements ministériels et administrations impliqués.

Conjointement à l'ancrage de l'objectif national à long terme de la neutralité climatique et de l'objectif national intermédiaire à l'horizon 2030⁴⁹, la loi relative au climat introduit la notion des **objectifs climatiques sectoriels** dans le but de responsabiliser les secteurs dans leur rôle de contribuer à la réalisation des réductions des émissions de GES nécessaires. En effet, la transition ne pourra réussir que si la **responsabilité** est **partagée** et **assumée** par tous les secteurs et acteurs concernés. Un

⁴⁷ Voir les chapitres « Financement de la transition vers la neutralité climatique » et « Garantir une transition juste »

⁴⁸ Loi modifiée du 15 décembre 2020 relative au climat

⁴⁹ Voir le chapitre « Contexte national »

règlement grand-ducal détermine les allocations annuelles respectives des secteurs pour une première période allant jusqu'à 2030 et pour chaque période ultérieure.

Le modèle de gouvernance doit reposer sur un **monitoring** continu et des **évaluations** ex-ante et ex-post régulières afin de surveiller le respect de la trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet serre, de promouvoir des politiques et mesures efficaces et, le cas échéant, de pouvoir entreprendre sans délai les ajustements utiles. Il faut donc se doter d'**instruments de suivi** et d'**outils analytiques** performants et organiser le support de **partenaires** compétents.

En particulier, au niveau du processus législatif, l'évaluation et la prise en compte de l'impact d'un projet législatif sur les émissions de GES, voire le développement durable⁵⁰, peut favoriser la cohérence des actes législatifs avec les objectifs climatiques.

Le **pacte climat** avec les communes⁵¹ constitue une pierre angulaire de la gouvernance climatique nationale. Il pose le cadre pour une participation active des autorités locales, des citoyens et citoyennes et des entreprises locales à la transition.

En effet, l'instrument ancré légalement depuis 2012 est destiné à promouvoir l'orientation, la conception et la mise en œuvre de la politique climatique et énergétique au niveau local. Les communes bénéficient d'une assistance technique et d'un soutien financier qui dépend notamment du niveau de certification atteint sur base d'un catalogue de mesures structuré en 6 catégories principales (couvrant par ailleurs les thèmes de l'économie circulaire et de la qualité de l'air). Toutes les communes luxembourgeoises sont engagées dans le pacte et, fin 2020, 93 % avaient atteint un des trois niveaux de certification.

En vertu de la loi du 25 juin 2021 portant création d'un pacte climat 2.0 avec les communes, le pacte climat, dont la première période se terminait en 2020, est prolongé et élargi, tant en matière d'objectifs, de ressources et d'acteurs. Afin de satisfaire à l'objectif climatique national à l'horizon 2030, trois éléments principaux du pacte climat ont été améliorés pour la période 2021-2030 : consolidation de l'approche quantitative, meilleures conditions-cadres pour les communes (extension de l'offre de conseil et d'outils, notamment par l'introduction de conseillers spécialisés à côté des conseillers de base) et soutien accru aux communes dans leurs efforts d'intégration de la population, des entreprises et d'autres acteurs locaux. De cette façon, le pacte climat 2.0 est consolidé davantage en tant qu'instrument central pour la mise en œuvre de la politique climatique et énergétique nationale au niveau communal.

Les communes étant également des partenaires essentiels dans la protection de la nature et des ressources naturelles et suite aux expériences positives recueillies par le pacte climat, le **pacte nature** fondé sur le modèle du pacte climat est instauré par la loi du 30 juillet 2021 portant création d'un pacte nature avec les communes. Par le biais du pacte nature, un cadre de référence législatif, financier, technique et consultatif est mis en place pour encourager et faciliter les interventions communales en faveur de la préservation et du rétablissement de la biodiversité et des services écosystémiques. L'interaction entre les deux pactes fournira un élément précieux de la gestion intégrée au niveau local des crises environnementales. A titre d'exemple, les mesures d'adaptations aux effets du changement climatique, la promotion de solutions fondées sur la nature ou encore les initiatives en faveur des zones humides – stocks et puits de carbone importants – profiteront aussi bien à la protection du climat qu'à la protection de la nature.

⁵⁰ Accord de coalition 2018-2023, p. 168

⁵¹ <https://www.pacteclimat.lu/fr/accueil>

6.1.2 Politique fiscale : fournir les incitations nécessaires

La politique fiscale est un instrument puissant pour inciter les consommateurs et les producteurs à adopter un comportement durable, en incluant les externalités – notamment environnementales – dans les prix et en fournissant les incitations nécessaires. Dans le contexte présent de la transition vers la neutralité climatique, il est donc essentiel **d’assurer la cohérence de la fiscalité avec les objectifs climatiques**. En parallèle, des réformes fiscales bien conçues peuvent **stimuler la croissance économique verte** et **contribuer à une transition socialement juste**. Il s’agit en l’occurrence de revoir progressivement les taux d’imposition des combustibles et carburants fossiles (notamment moyennant la taxe CO₂ décrite ci-dessous) et de gérer de façon plus responsable les ressources naturelles entre autres par une meilleure prise en compte du **principe pollueur-payeur**⁵², tout en prenant en compte les considérations sociales.

Actuellement, le niveau des taxes sur l’énergie et des écotaxes reste faible au Luxembourg par rapport aux pays voisins. En relation avec le pouvoir d’achat, les prix de l’énergie sont les plus bas de tous les Etats membres de l’UE. Cette situation pose des défis certains en matière de politique climatique et énergétique. Le Gouvernement en est conscient et, par conséquent, l’accord de coalition⁵³ prévoit l’élaboration et la mise en œuvre d’une **politique fiscale prévisible et cohérente, répondant de manière appropriée aux réalités et aux défis en matière de politique sociale, économique et environnementale. La taxation de l’énergie et des ressources devra progressivement et de façon prévisible être revue à la hausse**, en tenant pleinement compte des externalités liées à leur consommation et en privilégiant les ressources renouvelables. De manière générale, il s’impose de **développer et valoriser les effets incitatifs de la fiscalité en matière de mobilité, de logement, d’activités économiques ou encore d’agriculture**, tout en **renonçant progressivement à des dispositions pouvant mener à des incitatifs contraires à la protection de l’environnement**⁵⁴.

Une politique fiscale réussie est **socialement juste et économiquement efficace**. Elle génère les recettes pour financer la politique convoitée tout en promouvant l’équité sociale. A cet égard, l’accord de coalition⁵⁵ mentionne notamment que « les recettes générées par une augmentation de la taxation énergétique permettront de financer les efforts sociétaux nécessaires pour réussir la transition écologique et d’en renforcer l’équité sociale ».

Sachant que les émissions de GES attribuées au Luxembourg sont dominées pour deux tiers par le secteur du transport routier, une baisse conséquente et continue de la vente et de l’exportation de carburants est inéluctable pour atteindre une trajectoire compatible avec l’objectif de la neutralité climatique. Conformément à l’accord de coalition⁵⁶, « **l’imposition des produits pétroliers (carburants et mazout) sera adaptée dans le but d’atteindre les objectifs souscrits par le Luxembourg dans le cadre des Accords de Paris** » (notamment par le biais de la taxe CO₂ instaurée dans le cadre du PNEC). En particulier, afin de réduire l’exportation de carburants, il est essentiel de diminuer progressivement les écarts de prix avec les pays voisins.

Un instrument fiscal apte à guider l’économie et la société vers la neutralité climatique de façon économiquement efficace est une **tarification du carbone**. Une tarification effective du carbone pourra encourager les changements dans le comportement des consommateurs et des entreprises et

⁵² Accord de coalition 2018-2023, voir chapitre « Fiscalité écologique » p. 121

⁵³ Accord de coalition 2018-2023, p. 117

⁵⁴ A considérer, dans ce contexte, l’étude « Auswirkungen von Subventionen und Steuervergünstigungen auf die nachhaltige Entwicklung – Umweltschädliche Subventionen in Luxemburg »

⁵⁵ Accord de coalition 2018-2023, p. 121

⁵⁶ Accord de coalition 2018-2023, p. 121

stimuler les investissements durables. En complément du système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet serre de l'UE (ETS)⁵⁷ portant essentiellement sur les secteurs industriels à forte intensité énergétique, la tarification du carbone hors ETS joue déjà un rôle important dans de nombreux États membres de l'UE. Evidemment, les outils de tarification doivent se compléter mutuellement et fournir ensemble un cadre cohérent.

L'introduction d'une tarification nationale du carbone a été décidée dans le cadre du PNEC. **Dès 2021, les émissions de CO₂ résultant de l'utilisation énergétique des carburants et combustibles fossiles hors ETS sont soumises à une taxe CO₂ fixée à 20 euros par tonne de CO₂ pour l'année 2021.** Une augmentation annuelle de 5 euros par tonne de CO₂ est prévue pour 2022 et 2023. En effet, la tarification du carbone devra être **progressivement adaptée pour atteindre et maintenir une trajectoire conforme à la neutralité climatique en 2050.** La part non fossile des biocarburants et des biocombustibles est exempte de la taxe. Dans un souci d'équité sociale les **recettes** de la taxe CO₂ sont **utilisées d'une manière équilibrée entre des mesures concrètes de lutte contre le changement climatique et des mesures fiscales et sociales en vue d'un allègement des charges ciblé en faveur des ménages à faible revenu**⁵⁸.

Finalement, la politique fiscale permet de produire des effets incitatifs utiles en matière de mobilité, de logement/rénovation, d'activités économiques ou encore d'agriculture. En plus d'un transfert modal vers les transports en commun et la mobilité active, la décarbonisation du transport doit être accélérée par une **amplification de l'effet incitatif de la taxation des véhicules favorisant les véhicules électriques et autres véhicules à zéro ou faibles émissions de CO₂.** L'accord de coalition⁵⁹ dispose que par une **mise à jour de l'avantage fiscal des voitures de fonction** (représentant actuellement environ 40% des nouvelles immatriculations), les véhicules à zéro ou faibles émissions de CO₂ seront davantage privilégiés, et que pour ne pas pénaliser les employés qui choisissent de se déplacer par d'autres moyens que la voiture, un **avantage fiscal « budget mobilité » équivalent et alternatif à celui pour les voitures de fonction** sera introduit. A partir de l'année fiscale 2021, **pour inciter les propriétaires d'un logement mis en location à procéder à une rénovation énergétique durable, un taux d'amortissement de 6% est accordé pendant 10 ans** pour des dépenses d'investissement en rénovation bénéficiant des aides financières PRIME House. Afin de promouvoir l'économie circulaire, l'accord⁶⁰ prévoit également l'analyse de **l'application du taux super-réduit de 3% sur les travaux de réparation** éligibles en vertu du droit européen.

6.1.3 Finances publiques durables : intégrer les aspects climatiques dans le budget de l'Etat

La transition vers la neutralité climatique exige des **investissements publics et privés importants.** Le défi financier consiste à **mobiliser les flux d'investissement** en faveur des priorités vertes en vue d'assurer la cohérence avec les objectifs climatiques. A l'instar de la fiscalité qui en constitue une composante centrale, les finances publiques jouent un rôle essentiel dans cette mobilisation et doivent elles-mêmes être rendues compatibles avec la neutralité climatique, tout en préservant des finances publiques durablement saines et équilibrées à travers une budgétisation conformément à la trajectoire budgétaire et aux règles du pacte de stabilité et de croissance. **La politique budgétaire va de pair avec les engagements climatiques.** A noter dans ce contexte que les dépenses budgétaires

⁵⁷ Directive 2003/87/CE (modifiée) établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans l'Union

⁵⁸ PNEC, p. 62

⁵⁹ Accord de coalition 2018-2023, p. 40

⁶⁰ Accord de coalition 2018-2023, p. 119

notamment en matière de transports publics ont augmenté de manière notable aux cours des dernières années au Luxembourg. Cette politique d'investissement sera poursuivie.

D'une part, le budget de l'Etat finance des **investissements publics croissants dans des infrastructures et projets clés** liés à la mobilité, l'énergie ou encore la digitalisation⁶¹. D'autre part, les finances publiques doivent contribuer à **mobiliser les investissements privés** requis pour réussir la transition, et ceci notamment par le biais d'une politique fiscale qui crée les effets incitatifs appropriés⁶² et de régimes d'aides.

Les fonds publics et régimes d'aides existants, concernés doivent prendre en compte les défis de la neutralité climatique, par l'intégration des innovations technologiques, économiques et sociales qui se présentent. De nouveaux instruments pourront compléter le dispositif pour combler les lacunes voire valoriser les opportunités émergentes. Il s'agit de **créer des incitatifs renforcés et socialement justes** en matière de mobilité, de construction, d'activités économiques, d'agriculture ou bien de sylviculture, et de viser à terme la **renonciation aux subventions nuisibles à l'environnement et au climat**⁶³.

Deux autres développements récents méritent d'être cités. En exécution de l'accord de coalition, la loi relative au climat, en se basant sur l'acquis du fonds, procède à une actualisation du **Fonds Climat et Energie** tant du côté de l'alimentation que des investissements éligibles. Les modifications rendent le fonds encore plus apte à faire face aux défis actuels et futurs, tout en élargissant son champ d'action. Par ailleurs, à partir du projet de budget de l'Etat 2021, l'**impact financier des politiques et mesures en matière d'énergie et de climat** inscrites au PNEC est **quantifié** par les départements ministériels concernés **au niveau du budget de l'Etat et du programme pluriannuel**⁶⁴.

L'intégration des aspects climatiques dans les finances publiques concerne forcément tant le côté des dépenses que celui des recettes. Sachant qu'une baisse conséquente et continue de la vente et de l'exportation de carburants est requise pour atteindre les objectifs climatiques, il faut « **réduire la dépendance des finances publiques des ressources émanant de la vente des carburants en prenant des mesures de façon continue** », tel que convenu à l'accord de coalition⁶⁵. A noter que les normes de performance européennes en matière d'émissions de CO₂ pour les véhicules⁶⁶ conduiront de toute manière à une réduction des besoins en carburants. En règle générale, il y a lieu de veiller, tel que stipulé par l'article 2.1 c) de l'Accord de Paris, à « **[rendre] les flux financiers compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilient aux changements climatiques** ».

Finalement, il convient de souligner que le Luxembourg a mis en place en septembre 2020 un **cadre de référence pour les obligations durables souveraines**, respectant la taxonomie européenne en matière de financement vert. L'émission d'obligations durables permet au Gouvernement de financer des dépenses publiques qui contribuent positivement aux objectifs environnementaux et sociaux et

⁶¹ A cet égard, l'accord de coalition 2018-2023 (p. 115) note que « le Gouvernement poursuivra un rythme d'investissement ambitieux pour améliorer encore les infrastructures et la qualité de vie. »

⁶² Voir le chapitre « Politique fiscale : fournir les incitations nécessaires »

⁶³ A considérer, dans ce contexte, l'étude « Auswirkungen von Subventionen und Steuervergünstigungen auf die nachhaltige Entwicklung – Umweltschädliche Subventionen in Luxemburg »

⁶⁴ Ministère des Finances, 2020 : Circulaire aux départements ministériels pour le budget 2021 et le programme pluriannuel 2020-2024

⁶⁵ Accord de coalition 2018-2023, p. 173

⁶⁶ Règlements (UE) 2019/631 établissant des normes de performance en matière d'émissions de CO₂ pour les voitures particulières neuves et pour les véhicules utilitaires légers neufs ainsi que Règlement (UE) 2019/1242 établissant des normes de performance en matière d'émissions de CO₂ pour les véhicules utilitaires lourds neufs

agissent ainsi en tant que catalyseur pour respecter les engagements du Luxembourg dans le cadre de l'Accord de Paris et de l'Agenda 2030 des Nations Unies. Le cadre aide par ailleurs à instaurer un niveau plus élevé de transparence sur les dépenses durables dans le budget de l'Etat. Il permet l'émission de trois types d'obligations : des obligations purement vertes, purement sociales ou durables (à savoir vertes et sociales). Les recettes résultant de ces obligations sont uniquement affectées au financement ou au refinancement de dépenses éligibles concernant notamment la transition énergétique, le développement d'un transport à faible émission de carbone, la construction de bâtiments verts, le financement climatique ou encore la protection de l'environnement en général et l'accès aux services essentiels tels que santé, éducation et logement abordable.

Conformément à l'accord de coalition⁶⁷, la politique d'investissement du **Fonds souverain intergénérationnel du Luxembourg** (FSIL) sera orientée selon les critères de la finance responsable. Selon la « Luxembourg Sustainable Finance Roadmap »⁶⁸, il en est de même pour le **Fonds de compensation**. A noter que depuis 2020, des travaux sont en cours afin d'intégrer davantage les principes de la finance durable dans la stratégie d'investissement du FSIL⁶⁹.

6.1.4 Marchés publics durables : consolider le rôle précurseur de l'Etat et des communes

Les pouvoirs publics, en l'occurrence l'Etat et les communes, peuvent faire progresser la transition en montrant l'exemple. Leur poids sur le marché permet de stimuler le développement et l'offre de produits et solutions innovants et durables. En vue de valoriser pleinement ce levier, **le rôle précurseur du secteur public doit être consolidé**, notamment dans la construction et la rénovation des bâtiments, la mobilité, la digitalisation ou encore l'alimentation. **L'application de critères de durabilité appropriés dans les appels d'offres publics** renforcera l'effet de levier souhaité. Dans ce contexte, l'accord de coalition stipule que « les marchés publics seront utilisés pour promouvoir les écotecnologies »⁷⁰ et que « la loi sur les marchés publics sera valorisée pour promouvoir l'économie circulaire »⁷¹. En effet, la loi du 8 avril 2018 sur les marchés publics crée un cadre permettant de favoriser la prise en compte d'autres critères que le prix lors de l'attribution du marché, tels que des critères écologiques ou des critères sociaux. Les critères particulièrement importants en vue de la neutralité climatique, également dans le contexte de l'économie circulaire, sont :

- Prise en compte du **coût total sur tout le cycle d'utilité du produit ou service**, intégrant les coûts de fonctionnement (tel que l'énergie), de maintenance ou de gestion de déchets ;
- Prise en compte des **émissions de gaz à effet de serre sur tout le cycle d'utilité de produits ou services**, y inclus en fin de vie, par le biais d'outils comme l'empreinte carbone ou l'analyse de cycle de vie ;
- Caractère renouvelable des produits pour éviter de mobiliser des ressources fossiles, préférant des matériaux capables de stocker le carbone, tel que le bois dans la construction ;
- Prise en compte de **propriétés qui permettent de maintenir ou récupérer la valeur des produits**, comme la réparabilité, la démontabilité, le recyclage des matériaux (avec un accent sur leur séparabilité), l'absence de substances toxiques, etc. Ces propriétés doivent pouvoir être vérifiées à travers des registres de données électroniques, tels que des **passesports de matériaux** ;

⁶⁷ Accord de coalition 2018-2023, p. 116

⁶⁸ Voir le chapitre « Finances durables »

⁶⁹ Luxembourg Sustainable Finance Strategy, 2021, https://lsfi.lu/wp-content/uploads/2021/02/Luxembourg-Sustainable-Finance-Strategy_EN.pdf

⁷⁰ Accord de coalition 2018-2023, p. 134

⁷¹ Accord de coalition 2018-2023, p. 177. L'accord précise par ailleurs qu'un « outil sera développé dans une approche « cycle de vie » qui prendra notamment en compte l'empreinte carbone. »

- Promotion de nouveaux **modèles de service** tels que le concept « produit comme service » ou le partage, pour garantir une meilleure utilisation des produits, composants et ressources.

En vue de la neutralité climatique, **les critères d’attribution de tous les marchés publics seront progressivement renforcés pour imposer les solutions zéro/bas carbone voire à émissions négatives**, en s’appuyant notamment sur les principes holistiques de l’économie circulaire et des bilans environnementaux complets.

Dans la construction, aussi bien l’Etat que les communes ont commencé à intégrer des critères de durabilité et de circularité dans leurs cahiers des charges, avec le recours à des modes de construction durables et des matériaux biosourcés tels que le bois⁷². Tirant parti des expériences des dernières années et des meilleures pratiques disponibles, des efforts intensifiés conduiront à **des bâtiments publics durables, confortables, sains et circulaires**, et ceci **aussi bien au niveau des nouvelles constructions que de la rénovation du patrimoine immobilier**. Tout en poursuivant une approche holistique intégrant la panoplie des aspects de la durabilité et de l’économie circulaire et garantissant la santé des occupants, une priorité est donnée à **l’efficacité énergétique**. Dans le souci de l’acceptation par les utilisateurs, il s’avère nécessaire de garantir le confort et la fonctionnalité des bâtiments construits ou rénovés. Les besoins en énergie minimisés sont entièrement couverts par des **énergies renouvelables**, de préférence disponibles localement, y compris l’énergie photovoltaïque intégrée sur tous les bâtiments. Pour couvrir les besoins restants, les bâtiments sont alimentés en électricité verte à 100% renouvelable et de haute qualité environnementale. Dans l’esprit d’une approche intégrée, il importe de permettre aux utilisateurs et visiteurs des bâtiments un **accès en transport public, à vélo ou à pied**. Des points de recharge pour les véhicules électriques sont à installer en nombre suffisant.

La **gestion efficace du parc immobilier** est essentielle afin de profiter intégralement des efforts consentis. L’**exploitation des bâtiments individuels** doit être optimisée. A cet égard, l’accord de coalition prévoit que « **les bâtiments publics seront soumis à un système de management et d’audit écologique** »⁷³. Par ailleurs, une gestion rationnelle des surfaces par une **utilisation flexible et multifonctionnelle des surfaces disponibles** et le recours au **télétravail** aident à limiter les besoins en surface supplémentaires. Les **bâtiments scolaires** méritent une attention particulière, notamment par l’utilisation de matériaux non toxiques et d’une ventilation efficace, garantissant une qualité de l’air intérieur irréprochable.

Les promoteurs publics ont un rôle important à jouer dans le développement de projets de **logements exemplaires** et dans l’aménagement d’**éco-quartiers décarbonisés, circulaires, favorisant l’inclusion sociale et une qualité de vie élevée**. Les mêmes promoteurs publics sont amenés à **rénover progressivement leur patrimoine locatif**.

Outre les bâtiments, l’Etat, les communes ou certains établissements publics disposent de **parcs automobiles** importants, qu’il convient de **gérer de façon efficace**. Depuis 2018, l’**acquisition de véhicules électriques** ou, le cas échéant, plug-in hybrides est **prescrite**, sauf dans des cas très exceptionnels ou pour des véhicules spécifiques.

⁷² A noter qu’une nouvelle version du guide de la construction et de la rénovation durables (<http://www.crtib.lu/fr/guide-construction-durable>) sera élaborée.

⁷³ Accord de coalition 2018-2023, p. 168

Concernant les **biens de consommation, l'achat de produits zéro/bas carbone, écologiques, circulaires et locaux ou régionaux**⁷⁴ est à favoriser par l'application systématique de critères de durabilité et de qualité appropriés dans les appels d'offres publics. La **normalisation des critères pour les différents groupes de produits** ainsi que des **outils d'appel d'offres** permettront de renforcer l'effet de levier exercé par les marchés publics. Dans ce contexte, l'accord de coalition cite la mise en place d'un « centre de compétences – marchés publics »⁷⁵ et l'élaboration d'un cahier de charges modèle⁷⁶. Une **gestion centralisée des marchés publics** pourrait faciliter davantage une approche cohérente et en améliorer l'efficacité.

Dans le but de renforcer le rôle précurseur de l'Etat, une **stratégie de décarbonisation** sera élaborée en concertation avec tous les ministères, **poursuivant l'objectif de la neutralité climatique de l'administration étatique dès 2040**⁷⁷.

A souligner que le **pacte climat avec les communes**⁷⁸ complété notamment par des aides financières octroyées à des projets communaux spécifiques soutient celles-ci techniquement et financièrement dans leur rôle précurseur au niveau local. Un **outil facilitant la mise en œuvre de critères durables et circulaires** dans l'achat de certains types de produits est mis à disposition des communes. Ces critères sont également renforcés directement par le pacte climat 2.0.

A noter que les marchés publics sont également identifiés comme outils clés dans la stratégie « Null Offall Lëtzebuerg »⁷⁹ ou encore la stratégie en matière d'économie circulaire « Strategie Kreeslafwirtschaft Lëtzebuerg »⁸⁰ et que la loi sur les déchets et les ressources exige la prise en compte du concept de la pyramide des déchets lors de l'attribution des marchés.

6.1.5 Exploiter la fonction coordinatrice de l'aménagement territorial et urbain

Les politiques d'aménagement du territoire jouent un rôle central dans la transition vers la neutralité climatique. Aux côtés des politiques énergétiques, économiques, de construction et de la mobilité, l'aménagement du territoire exerce une **fonction coordinatrice intersectorielle**.

En effet, la forme d'urbanisation du territoire a un impact majeur sur le bilan climatique. Une urbanisation diffuse en milieu rural impose aux résidents un recours aux différents modes de transport, généralement motorisés, et contribue à l'imperméabilisation des sols. Il importe donc de rapprocher les citoyens de leurs lieux de travail pour limiter les déplacements tout en développant des **formes urbaines décarbonisées, circulaires et résilientes**. Une urbanisation mélangeant intelligemment les différentes fonctions de logement – travail – commerces – loisirs et adaptée à la mobilité active permet de réduire les émissions résultant des besoins de mobilité et d'améliorer la

⁷⁴ Comme exemple, on peut citer l'achat de produits biologiques, régionaux et saisonniers pour les cantines, notamment dans les écoles, les maisons relais, les crèches, les hôpitaux et les maisons de retraite et de soins (Accord de coalition 2018-2023, p. 196).

⁷⁵ Accord de coalition 2018-2023, p. 160

⁷⁶ Accord de coalition 2018-2023, p. 168

⁷⁷ Motion au sujet de la neutralité climatique adoptée à la Chambre des Députés en date du 29.04.2021, https://chd.lu/wps/portal/public/Accueil/TravailALaChambre/Recherche/RoleDesAffaires?action=doMotionDetails&id=3513&backto=p0/IZ7_KHCC1240N8KQ10AN3G1BK33084=CZ6_D2DVRI420G7Q402JEJ7USN3847=M/#Z7_KHCC1240N8KQ10AN3G1BK33084

⁷⁸ Voir le chapitre « Gouvernance et participation active de tous les acteurs de la transition »

⁷⁹ MECDD, 2020 : Stratégie « Null Offall Lëtzebuerg », <https://environnement.public.lu/fr/offall-ressourcen/null-offall-letzebuerg.html>

⁸⁰ MEA, MECDD, MECO, 2021: Stratégie pour une économie circulaire Luxembourg « Strategie Kreeslafwirtschaft Lëtzebuerg », <https://gouvernement.lu/dam-assets/documents/actualites/2021/02-fevrier/08-strategie-economie-circulaire/20210208-Strategie-economie-circulaire-Luxembourg.pdf>

qualité de vie des citoyens. Dans cet objectif, les politiques d'aménagement du territoire s'articulent sur trois échelles : nationale, locale et transfrontalière, cette dernière étant imposée par l'exiguïté du territoire combinée à une attractivité économique extrêmement forte.

Système des centres de développement et d'attraction et la déconcentration concentrée à l'échelle nationale

A l'échelle nationale et tel que proposé dans le cadre de la refonte du programme directeur d'aménagement du territoire (PDAT) actuellement en cours de finalisation, le **système des centres de développement et d'attraction** (CDA) est l'un des principaux outils de l'aménagement du territoire. En définissant une hiérarchie entre centres urbains, il vise à guider les actions concrètes et les investissements de la politique de l'aménagement du territoire au niveau national. Il a pour double objectif d'orienter la politique des investissements publics et de fournir l'armature urbaine nécessaire à la mise en œuvre d'une politique de déconcentration concentrée, donc d'un transfert d'autorités administratives représentant l'Etat vers des CDA majeurs (sans transfert de compétences). Le système constitue par ailleurs un **cadre de référence de logique territoriale** pour les politiques sectorielles à impact territorial, **répondant ainsi aux exigences du développement durable**.

Une des stratégies à poursuivre doit consister à maintenir une **armature urbaine bien équilibrée**, c'est-à-dire un réseau de villes capables de pourvoir en équipements, services, biens et emplois leurs espaces environnants, afin de réduire la vulnérabilité des espaces les moins accessibles. Le principe d'une armature urbaine équilibrée permet, lorsqu'il est couplé à une politique volontariste de l'aménagement du territoire, de réguler les dynamiques de développement territorial pour les rendre compatibles avec les exigences de la société en termes de durabilité sociale, économique et environnementale.

La **déconcentration concentrée**, dont l'objectif est de soulager l'administration centrale et de favoriser une proximité physique entre l'Etat et le citoyen, peut permettre de contribuer à lutter contre les nuisances occasionnées par le processus de métropolisation, qui consiste en une concentration toujours plus importante des personnes et des activités dans la Ville de Luxembourg. Cette métropolisation génère des problèmes et des externalités négatives en matière de congestion des axes routiers, de hausse des prix immobiliers, ou encore de manque de places dans les locaux, alors même que les périphéries ou zones rurales peuvent être confrontées à des déficits d'attractivité ou à des dynamiques de croissance négative.

Couplé à une déconcentration concentrée, le développement du pays selon le système des CDA concourt à structurer le territoire national et à organiser les flux et les nouvelles implantations. En agissant sur ces lieux centraux, les politiques d'aménagement structurent également les zones d'influence de ces derniers et contribuent, par extension, à réorganiser l'ensemble du territoire en évitant notamment un éparpillement des polarités ou une trop grande dilution dans l'espace de la fonction résidentielle, source d'étalement urbain, de dépendance automobile et de dégradation du paysage.

Le système des CDA et la déconcentration concentrée sont des instruments clés pour rapprocher, voire regrouper les fonctions résidentielles, de travail, d'approvisionnement et de loisirs dans les différents CDA. Ce regroupement réduit la nécessité de déplacements motorisés, limite la congestion des principaux axes routiers en redirigeant sur d'autres axes routiers que les axes pénétrant vers la capitale les flux de travailleurs **et contribue à l'amélioration de l'attractivité résidentielle et professionnelle des CDA**, ainsi que de retombées économiques de ces actifs sur le tissu économique local, à travers la restauration, les commerces et services à la personne.

Ainsi, contrairement au développement territorial non structuré privilégiant le développement résidentiel des régions rurales et concentrant l'essentiel des activités dans la capitale luxembourgeoise, un développement selon les principes du système des centres de développement et d'attraction et de la déconcentration concentrée permet un développement territorial durable, respectueux du climat et résilient.

Les visions territoriales et l'éco-urbanisme à l'échelle locale

Dans le cadre de la refonte du programme directeur d'aménagement du territoire (PDAT) qui définit une stratégie intégrée des programmations sectorielles ayant des répercussions sur le développement territorial et arrête les orientations, les objectifs politiques ainsi que les mesures du Gouvernement et des communes, l'élaboration de **visions territoriales** (« landesplanerische Leitbilder ») a été entamée **pour les trois agglomérations urbaines du pays: la Nordstad, l'agglomération du Centre et la région Sud**. Pour faciliter la mise en œuvre ultérieure des objectifs, mesures et projets identifiés dans les visions territoriales, elles sont élaborées en concertation avec les communes concernées dans le cadre des conventions de coopération territoriale Etat-Communes. Elles devront promouvoir un développement urbain durable et innovateur et veiller à proposer une utilisation rationnelle du sol en conciliant développement urbain et économique, offre en services adaptés, mixité sociale et fonctionnelle, mais aussi à **accompagner les grandes transitions : climatique, énergétique, numérique et écologique**. Les orientations stratégiques et les objectifs fixés dans les visions territoriales seront intégrés dans le prochain PDAT en cours d'élaboration.

En outre, un **guide éco-urbanisme** est élaboré, traduisant la volonté du Gouvernement de renforcer la démarche d'**éco-urbanisme à impacts positifs à l'échelle des quartiers** en promouvant la construction durable, les énergies renouvelables, l'économie circulaire, une utilisation rationnelle des ressources et la neutralité carbone ainsi que des processus collaboratifs et participatifs. Ce guide s'adresse à tous les acteurs impliqués dans le développement de quartiers et qui souhaitent réaliser des quartiers pouvant être qualifiés d'éco-quartiers en proposant un cadre de référence et des concepts innovateurs. La démarche d'éco-urbanisme doit jouer un rôle central dans la **réhabilitation des friches industrielles**.

Une consultation urbano-architecturale et paysagère axée sur la région fonctionnelle du Luxembourg, le schéma de développement territorial de la Grande Région et plusieurs projets bilatéraux au niveau international

Pour le Luxembourg, dont le bassin d'emploi dépasse largement les frontières nationales, il est essentiel de prendre en compte la dimension transfrontalière dans le cadre de la définition de ses orientations stratégiques et de ses politiques de développement territorial. Avec une part très élevée de travailleurs frontaliers, le développement économique du Luxembourg est largement tributaire du développement, notamment démographique, des régions limitrophes. Les déplacements journaliers des travailleurs frontaliers soulèvent des enjeux majeurs en matière de mobilité, qui doivent être appréhendés dans une approche transfrontalière concertée. Ce même principe vaut pour beaucoup d'autres thématiques telles que par exemple les zones d'activités économiques.

C'est dans cette optique qu'en 2020, dans le cadre de la refonte du PDAT, le Département de l'Aménagement du territoire a lancé une consultation urbano-architecturale et paysagère « **Luxembourg in Transition – Visions territoriales pour le futur décarboné et résilient de la région fonctionnelle luxembourgeoise** »⁸¹. La consultation vise à collecter des propositions stratégiques d'aménagement du territoire et à produire des scénarios territoriaux de transition écologique à

⁸¹ <https://luxembourgtransition.lu/>

l'horizon 2050 pour le Grand-Duché de Luxembourg et son espace transfrontalier. Par ce biais, la politique d'aménagement du territoire sera en mesure de préciser sa contribution à la stratégie vers la neutralité climatique.

La **consultation « Luxembourg in Transition »** est basée sur une approche pluridisciplinaire réunissant des équipes constituées d'architectes, d'urbanistes, de géographes et de paysagistes, soutenus par des experts dans les domaines de l'environnement, des sciences humaines et sociales, ainsi que sur une participation citoyenne par le biais du « Biergerkommittee Lëtzebuerg 2050 ». Elle est organisée en trois étapes destinées à fournir des scénarios territoriaux de transition écologique, traduits en propositions de projets-pilotes concrets. Pour esquisser ces scénarios, les équipes sélectionnées à chaque étape développent des outils, méthodes et dispositifs visionnaires et efficaces par un travail interdisciplinaire avec la région fonctionnelle du Luxembourg comme étude de cas et objet principal.

Le processus est piloté par un Comité interministériel rassemblant, outre le Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, le Ministère de l'Économie, le Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, le Ministère du Logement ainsi que le Ministère de la Mobilité et des Travaux publics. Il est accompagné par un Comité scientifique pluridisciplinaire de 15 personnalités de renommée internationale et par un Comité consultatif composé des entités institutionnelles compétentes en termes territoriaux, économiques et professionnels ainsi qu'en ingénierie territoriale transfrontalière, élargi aux partenaires politiques de la Grande Région pour promouvoir l'échange régional de connaissances et d'expériences. Un Comité de citoyens « Biergerkommittee Lëtzebuerg 2050 » de 30 personnes représentatif des résidents du Grand-Duché et de sa région transfrontalière apporte sa propre vision de l'organisation du territoire pour atteindre la neutralité climatique d'ici 2050.

Les résultats attendus de la consultation ont une double vocation, à moyen terme et à long terme :

1. Orienter les politiques en matière d'aménagement du territoire en proposant des visions pour le développement territorial du Grand-Duché de Luxembourg à l'horizon 2050, dans le cadre des travaux de la refonte du PDAT ; et
2. Initier des projets-pilotes destinés à fonctionner comme démonstrateurs de la capacité de la société luxembourgeoise à s'engager sur le chemin de la transition écologique.

La coopération transfrontalière au niveau de la Grande Région et, plus précisément, le **schéma de développement territorial de la Grande Région (SDT-GR)**⁸² poursuit des objectifs similaires. Le SDT-GR a pour objectif de doter la Grande Région d'une stratégie commune de développement territorial durable et se décline autour de quatre axes, dont le développement de territoires ruraux et urbains décarbonés et résilients.

Au niveau bilatéral, il convient de poursuivre la **coopération transfrontalière renforcée au sein des agglomérations transfrontalières**⁸³ et des parcs naturels.

6.1.6 Mobiliser la recherche et favoriser l'innovation et la digitalisation

Bien que de nombreuses solutions existent dans tous les secteurs et suggèrent ainsi qu'une décarbonisation de la société est à notre portée d'ici le milieu du siècle, la recherche et l'innovation restent des prérequis à la réalisation de la neutralité climatique. De meilleures voire de nouvelles solutions sont indispensables pour relever les défis persistants et exploiter des potentiels

⁸² <https://amenagement-territoire.public.lu/fr/grande-region-affaires-transfrontalieres/SDT-GR.html>

⁸³ A titre d'exemple, la coopération franco-luxembourgeoise dans le cadre de l'agglomération transfrontalière d'Alzette-Belval et le concept de développement territorial le long de la frontière germano-luxembourgeoise.

supplémentaires de réduction des émissions de GES. La transition vers une économie à zéro émissions nettes requiert d'un côté la **continuation du développement et de l'innovation technologique** et de l'autre le **renforcement des approches systémiques et des innovations environnementales, sociales et économiques**. Afin de faciliter le déploiement technologique et le transfert de l'innovation, un **lien étroit** doit être établi **entre la recherche et l'innovation et les mesures stratégiques sectorielles**.

Les solutions transformatrices à mettre au point ou bien à perfectionner comprennent notamment les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique de produits et systèmes dans les domaines du bâtiment et de la mobilité, les réseaux énergétiques intelligents et le stockage de l'énergie (notamment les batteries), l'hydrogène renouvelable et les technologies à zéro carbone pour les industries grandes consommatrices d'énergie ou encore les technologies agro-environnementales et la séquestration de carbone dans les sols. Les approches systémiques sont à développer par le biais de **couplages et de coopérations intersectoriels**. L'économie circulaire en est un bon exemple.

Tout en tirant parti de la recherche et de l'innovation au niveau européen et mondial, le Luxembourg est amené à consolider et intensifier ses efforts en la matière pour servir la mise en œuvre de la transition dans le contexte national. Ceci implique un **soutien public ciblé**, un **fort engagement entrepreneurial** et la **mobilisation de l'ensemble du système d'innovation**, englobant les centres de recherche publics LIST⁸⁴ et LISER⁸⁵ ainsi que l'Université du Luxembourg⁸⁶, Luxinnovation⁸⁷ et ses clusters d'innovation comme le Luxembourg CleanTech Cluster⁸⁸ et les centres de recherche et d'innovation privés. La taille restreinte du Luxembourg lui permet le déploiement rapide et la démonstration de technologies et d'innovations clés et de jouer ainsi un **rôle de pionnier à l'échelle d'un pays**.

Les investissements dans l'innovation et la recherche au Luxembourg doivent guider les acteurs économiques dans la transformation profonde en cours. Il s'agit de saisir les opportunités offertes par la transition pour le développement et la diversification économique du pays. Les écotechnologies forment déjà une des priorités de la stratégie de diversification économique luxembourgeoise. **Le développement et le transfert de solutions, produits et services innovants et favorisant la transition vers la neutralité climatique doivent être soutenus davantage afin d'assurer la compétitivité à long terme de l'économie.** En l'occurrence, un **programme promouvant les start-ups et de nouveaux modèles d'entreprise visant à offrir des services et produits diminuant l'empreinte carbone** est à envisager, tel que préconisé par l'« **Etude stratégique de Troisième Révolution Industrielle pour le Grand-Duché de Luxembourg** »⁸⁹.

Dans son ensemble, cette étude, publiée fin 2016, fournit une orientation générale pour le processus de transformation et d'innovation de la société et de l'économie luxembourgeoise. Elle est articulée autour des défis concernant l'énergie, la mobilité, la construction, l'alimentation, l'industrie, la finance, la « smart economy », l'économie circulaire ainsi que les prosommateurs et le modèle social.

En vue de consolider l'expertise des institutions publiques de recherche au Luxembourg et d'accompagner les activités de recherche et d'innovation de manière à servir la mise en œuvre de la vision Luxembourg 2030 d'une société de la connaissance durable, le Gouvernement a adopté, en

⁸⁴ Luxembourg Institute of Science and Technology : <https://www.list.lu/>

⁸⁵ Luxembourg Institute of Socio-Economic Research : <https://www.liser.lu/>

⁸⁶ <https://wwwfr.uni.lu/>

⁸⁷ Agence nationale pour la promotion de l'innovation et de la recherche : <https://www.luxinnovation.lu/fr/>

⁸⁸ <https://www.luxinnovation.lu/cluster/luxembourg-cleantech-cluster/>

⁸⁹ <https://www.troisiemerevolutionindustrielle.lu/etude-strategique/>

décembre 2019, la **stratégie nationale de la recherche et de l'innovation** pour le Luxembourg⁹⁰. Selon cette stratégie, la recherche au Luxembourg devrait contribuer activement à relever les défis liés aux objectifs de développement durable des Nations Unies (en cohérence avec les 10 champs d'action prioritaires du 3^{ème} Plan National pour un Développement Durable) ainsi qu'aux orientations politiques de la Commission européenne, et notamment au pacte vert pour l'Europe. La stratégie définit quatre domaines prioritaires de recherche, qui revêtent une importance particulière pour le développement sociétal, environnemental et économique du pays, dont le **domaine prioritaire « Développement durable et responsable »**.

Ce domaine est décliné en quatre sous-thèmes, dont deux sont particulièrement pertinents dans le présent contexte : « **changement climatique : efficacité énergétique et gestion intelligente de l'énergie / éco- et agrosystèmes résilients** » et « **développement économique : finance verte et durable / économie circulaire et du partage** ». Dans la mise en œuvre de la stratégie, un accent particulier est mis sur l'**interdisciplinarité**, qui est certainement primordiale pour réussir la transition, en combinant l'expertise de différentes disciplines et de différentes institutions. En ce sens, la stratégie vise aussi à renforcer la coordination entre les différents acteurs du secteur de la recherche et de l'innovation. Les priorités de recherche incluent :

- **Construction durable** intégrant l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables, la circularité et les aspects santé-environnement (dans les constructions neuves et existantes) et « développement durable et **villes intelligentes** » ;
- **Systèmes de gestion/Réseaux de l'électricité intelligents** intégrant les énergies renouvelables et l'électromobilité (favorisant donc le couplage intersectoriel) ;
- « **Comportements durables** » : aspects sociologiques autour de l'émergence de modes de vie « climat positif » et **conséquences sociales** de l'évolution de la transition énergétique ;
- Instruments et modèles économiques consommant moins de ressources et produisant moins d'effets négatifs sur l'environnement, en particulier dans les domaines de la **finance verte et durable** et de l'**économie circulaire** et de l'**économie du partage** ;
- Mise au point de technologies pour le **suivi permanent des effets du changement climatique** et modélisation de **scénarios permettant de s'adapter** au mieux à un environnement changeant. Une attention particulière doit être portée aux activités agricoles et forestières, mais également à la prévention des événements extrêmes ou à la disponibilité de l'eau.

La **digitalisation** est un des sujets clés de l'innovation et de la recherche capable de supporter la transition dans tous les secteurs concernés : **réseaux d'énergie** intelligents, **bâtiments et quartiers** intelligents, **mobilité** intelligente, connectée et automatisée, **gestion de la chaîne logistique**, **industrie 4.0**, **économie circulaire**, **économie du partage**, **agriculture de précision**, etc. A ce propos, Digital Luxembourg⁹¹ est une initiative gouvernementale multidisciplinaire collaborant avec les acteurs publics, privés et académiques dans le but d'exploiter la transformation digitale de façon positive. La « Data-Driven Innovation Strategy » du Luxembourg⁹² présente une feuille de route de la numérisation des secteurs prioritaires pour le développement économique.

⁹⁰ Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2019 : <https://gouvernement.lu/dam-assets/documents/actualites/2020/02-fevrier/25-mesr-strategie-recherche-innovation/mesr-strategie-recherche-innovation.pdf>

⁹¹ <https://digital-luxembourg.public.lu/>

⁹² Ministère de l'Economie, 2019 : Data-Driven Innovation Strategy for the development of a trusted and sustainable economy in Luxembourg, <https://gouvernement.lu/fr/publications/rapport-etude-analyse/minist-economie/intelligence-artificielle/data-driven-innovation.html>

Le défi consiste à **bénéficier de la transformation numérique tout en minimisant les besoins énergétiques** de l'infrastructure (notamment des centres de données) et des applications connectées. En effet, les technologies digitales sont responsables pour une consommation croissante d'électricité. Des progrès considérables dans l'efficacité énergétique de ces technologies doivent être réalisés.

Grâce à la digitalisation progressive du travail facilitant le découplage de l'activité professionnelle et de l'espace de travail, le **télétravail** est en train de s'établir comme bonne pratique accompagnant une société en transition, renforçant la résilience de l'économie et ayant le potentiel de **diminuer considérablement les besoins de mobilité et toutes les nuisances y associées**. Le travail à distance, y compris les visioconférences, permettent en effet de réduire le trafic pendulaire et les déplacements professionnels aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du pays.

Le fait que l'économie luxembourgeoise repose largement sur les services, favorise l'expansion du télétravail. Ainsi, au Luxembourg, le travail à distance a su se développer plus rapidement que dans la majorité des Etats membres de l'UE. La crise sanitaire liée à la pandémie COVID-19 a encore accéléré l'acceptation de cette forme de travail⁹³. Selon un avis du Conseil économique et social, le télétravail régulier et alterné deviendra vraisemblablement pour la moitié de la population luxembourgeoise la normalité dans les années à venir⁹⁴. Afin d'exploiter les avantages indéniables du travail à distance, l'objectif doit être son **ancrage comme instrument permanent dans la culture de travail** aussi bien dans le secteur privé que dans l'administration publique. A cette fin, il importe de clarifier tous les aspects afférents du **droit du travail** et de continuer à promouvoir et à faciliter le télétravail pour ses citoyens et ses frontaliers, **ensemble avec ses trois pays voisins**. Les entreprises doivent mettre en place les **workflows** permettant et favorisant le travail à distance et développer les **compétences** nécessaires de leurs employés. Le télétravail demande également des **infrastructures informatiques performantes, robustes et sûres** à développer au niveau public et privé. Enfin, le secteur de la construction et le marché de l'immobilier doivent anticiper en développant des concepts d'immeubles flexibles et modulaires, permettant de créer des **espaces de travail adaptés**.

Dans ce contexte, il faut prendre en considération que le télétravail ne présente pas que des avantages. Il est indéniable que le télétravail, à côté de ses bienfaits, peut aussi avoir des désavantages au niveau de la santé physique et psychique des salariés. Le télétravail rend également l'organisation interne au sein des entreprises plus difficile et peut avoir des effets négatifs sur le développement de l'économie et de l'emploi. A titre d'exemple on peut citer le manque d'interaction entre collègues, l'effritement des relations sociales de travail, des problèmes physiques suite à des stations de travail qui ne sont pas adaptés, moins de clients dans les commerces et restaurants, ce qui peut avoir comme conséquence une perte d'emplois, des inégalités entre les personnes qui peuvent faire du télétravail et ceux pour lesquels le télétravail est impossible. Il s'agit donc tenir compte de tous ces aspects lors du développement du télétravail.

Il importe également de considérer les répercussions en matière fiscale, voire d'y remédier. Compte tenu des dispositions découlant des conventions bilatérales tendant à éviter les doubles impositions avec les pays limitrophes, des pertes de recettes fiscales pourraient en effet se matérialiser le cas échéant. En matière de sécurité sociale, et plus précisément en ce qui concerne l'affiliation des salariés ne résidant pas au Luxembourg, le règlement (UE) 883/2004 relatif à la coordination des systèmes de

⁹³ Durant le confinement en avril et en mai 2020, 69% de la population active luxembourgeoise est passée au télétravail contre 20% en 2019. (Source : STATEC, STATNEWS du 19 mai 2020, <https://statistiques.public.lu/fr/actualites/population/travail/2020/05/20200519/20200519.pdf>)

⁹⁴ Avis du Conseil économique et social, 11 septembre 2020 : « Le télétravail au Luxembourg », <https://ces.public.lu/dam-assets/fr/avis/themes-europeens/2020-teletravail.pdf>

sécurité sociale prévoit que lorsqu'un salarié effectue plus de 25% de son temps de travail dans son pays de résidence, il doit être désaffilié au Luxembourg pour être affilié dans son pays de résidence. Cette règle s'applique d'ailleurs à tous les secteurs et pays de l'espace économie européen. Dès lors, un dépassement du seuil des 25% tout en restant affilié au Luxembourg requiert soit une modification du règlement européen, soit la négociation de conventions bilatérales (ou multilatérales) avec les différents pays de résidence des salariés.

6.1.7 Favoriser l'engagement de la société et étoffer le rôle de l'éducation et la formation

La transformation profonde requise pour atteindre la neutralité climatique ne pourra être accomplie que si elle rencontre l'**acceptation de la population** et si chacun s'engage en tant que citoyen, consommateur et travailleur. Ce n'est qu'avec la **contribution de tous** qu'il sera possible de réussir. Les citoyens doivent adhérer au changement, s'impliquer activement et pouvoir largement vivre la transformation comme quelque chose de bénéfique. Par leurs choix, les consommateurs peuvent influencer les produits et services proposés de manière déterminante. Les choix faits au moment d'acheter une maison, une voiture ou d'autres équipements ont une incidence sur l'empreinte carbone pendant des années. Les choix de mode de vie au niveau individuel peuvent faire une réelle différence, tout en améliorant la qualité de vie, par exemple en optant pour un régime alimentaire plus végétal ou pour un déplacement à pied, à vélo ou en transports en commun. Aujourd'hui, une volonté croissante d'**adopter des comportements durables** est observée, et cette tendance sociétale doit être soutenue pour en faire la norme.

Pour y parvenir, **il importe d'habiliter les citoyens, les consommateurs et les travailleurs par la mise en place de solutions zéro/bas carbone** telles que décrites tout au long de la présente stratégie, **par le renforcement de leur participation active et, dernier point mais pas le moindre, par l'activation amplifiée de l'éducation et de la formation.**

Participation active des citoyens et des consommateurs

Afin de mobiliser la société, la **sensibilisation** et le **partage d'informations** à l'égard du défi posé par le changement climatique et surtout aussi en faveur des solutions, produits et services disponibles doivent être davantage développés. Il s'agit entre autres d'encourager et de soutenir les choix de consommation durables par la **mise à disposition d'informations fiables et facilement compréhensibles sur la durabilité**, notamment l'empreinte carbone, des produits et services (p.ex. par étiquetage), tout en soulignant les bénéfices pour la santé humaine. En complément aux sites existants⁹⁵, la **mise en place d'un portail d'information dédié** peut faciliter l'accès **aux options d'action pour le climat des citoyens.**

Ensuite, il est important de **créer des espaces réels et virtuels permettant aux citoyens d'exprimer leurs idées et d'élaborer des actions ambitieuses**, tant au niveau individuel que collectif. Ainsi, un dialogue multiniveaux permanent intégrant les citoyens est instauré dans le cadre de la gouvernance de la politique climatique telle que arrêtée par la loi relative au climat⁹⁶. A noter que des expériences utiles ont été recueillies lors de la participation de citoyens et d'élèves aux ateliers, débats et à la consultation publique organisés dans le cadre de l'élaboration du PNEC.

Face à l'urgence climatique, les **initiatives citoyennes** œuvrant à réduire l'empreinte écologique de notre société se multiplient. A titre d'illustration, de plus en plus de citoyens se lancent dans des

⁹⁵ A voir en particulier le site de myenergy, la structure nationale pour la promotion d'une transition énergétique durable : <https://www.myenergy.lu/>

⁹⁶ Voir le chapitre « Gouvernance et participation active de tous les acteurs de la transition »

activités basées sur le partage ou l'échange de biens (**économie du partage**⁹⁷ / consommation collaborative) ou prennent part à la production du produit qu'ils consomment (en tant que **prosommateurs**). Des exemples concrets en sont les jardins communautaires, les services de mutualisation de biens et d'équipements, les Repair cafés et les magasins de seconde main, l'autoconsommation d'électricité renouvelable, les communautés et coopératives de producteurs-consommateurs (énergétiques). Afin de multiplier ces initiatives, il convient de **mettre en place un cadre clair, favorable et établissant la confiance dans ces modèles** et de **faciliter l'échange d'informations et de bonnes pratiques** en la matière. Une étude réalisée en 2018⁹⁸ propose des mesures en ce sens pour l'économie du partage. Un cadre juridique favorable est en train d'être créé pour l'autoconsommation individuelle/collective et les communautés énergétiques.

L'instrument du **pacte climat** avec les communes⁹⁹ est prédestiné à stimuler la participation citoyenne à large échelle. En reconnaissance de l'importance de celle-ci dans la transformation sociétale, le pacte climat 2.0 met un **accent particulier sur l'engagement des citoyens**. En effet, un soutien accru est assuré aux communes dans leurs efforts d'intégration de la population. A relever que l'**implication** des citoyens saura promouvoir la **confiance** qu'ils mettront dans la transition et partant leur **acceptation** de cette dernière.

Rôle déterminant de l'éducation et de la formation

Une action pour le climat efficace dans le sens d'une action transformatrice, façonnant le changement sociétal, nécessite non seulement les connaissances factuelles et contextuelles afférentes, mais aussi les compétences pour agir en qualité de citoyen, consommateur et travailleur. De l'enseignement fondamental à l'enseignement supérieur, de la formation professionnelle à la formation continue, **le système éducatif et de formation entier joue un rôle déterminant dans la transmission de ces connaissances et le développement des compétences**. Il est donc essentiel de **faire évoluer continuellement le système de manière à pouvoir** :

- **Outiller les jeunes et les moins jeunes pour mieux comprendre les enjeux du changement climatique ;**
- **Encourager à changer d'attitude, habiliter à modifier de comportement et à s'engager ;**
- **Qualifier les jeunes pour les profils professionnels demandés, les préparer aux défis et transitions professionnels et, selon les besoins, reconvertir la main d'œuvre active.**

L'école, au sens large du terme, doit donc servir de modèle pour inspirer la société à envisager et à dessiner pour demain. Le **point de référence pour une éducation étoffée à la protection du climat** est l'Agenda 2030 des Nations Unies avec ses 17 objectifs de développement durable, déclinés au Luxembourg par le 3^{ème} Plan National pour un Développement Durable¹⁰⁰. Le Gouvernement y a identifié ses 10 priorités, dont notamment « (1) Assurer l'inclusion sociale et une éducation pour tous » et « (6) Protéger le climat ». Le Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enfance et de la

⁹⁷ L'économie du partage vise à optimiser le taux d'utilisation des biens sous-utilisés, à favoriser l'accès plutôt que la propriété, à créer des incitations pour prolonger la longévité des biens produits et à contribuer ainsi à une réduction de la consommation de ressources.

⁹⁸ LSE Consulting and VVA Economics and Policy, 2018 : "Sharing Economy Policy in Luxembourg", <https://meco.gouvernement.lu/dam-assets/publications/rapport-etude-analyse/minist-economie/sharing-economy/Ministry-of-the-Economy-Sharing-Economy-Policy-in-Luxembourg-Final.pdf>

⁹⁹ Voir le chapitre « Gouvernance et participation active de tous les acteurs de la transition »

¹⁰⁰ Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, 2019 : Luxembourg 2030 – 3^{ème} Plan National pour un Développement Durable, <https://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/developpement-durable/PNDD.pdf>

Jeunesse prend l'interdépendance de ces priorités à cœur en se donnant des objectifs clairs dans l'accord de coalition¹⁰¹ : « L'action politique au niveau de l'Education nationale, de l'Enfance et de la Jeunesse sera en ligne avec les objectifs de l'éducation au développement durable définie dans l'Agenda 2030 des Nations Unies » et « **L'éducation au développement durable fera partie des formations de base et des formations continues des professionnels** ».

Les offres éducatives autour du changement climatique dans le sens de l'éducation au développement durable visent la complexité des thèmes et des dimensions de la vie quotidienne et développent des options d'action pour l'individu tout comme pour la société. Ainsi, l'accord de coalition¹⁰² souligne que « quant aux programmes scolaires, il s'agit de sensibiliser les jeunes – et aussi les adultes – à la **complexité des enjeux de notre société**, de les **inciter à changer leurs comportements en faveur d'un avenir durable** et d'agir en citoyens responsables pour les générations présentes et futures ». A cet égard et en se basant sur des actions en cours telles que le projet de recherche « School Futures »¹⁰³, la plateforme « Aktioun-Nohaltegkeet »¹⁰⁴, le projet « Sustainable Development Schools », le projet-pilote « Öko-check » visant à évaluer et améliorer l'empreinte écologique d'établissements d'enseignement secondaire et le réseau de jardins d'école « Schoulgäart », la **pensée systémique** (en matière de développement durable et de climat) sera encouragée comme outil méthodologique dans les curriculums et les **comportements exemplaires de la communauté scolaire** seront stimulés.

Dans la diversité du système éducatif structuré (formel et non-formel), **le réseautage et la collaboration entre les acteurs**, la volonté d'entreprendre un apprentissage organisationnel et le **transfert opportun des connaissances scientifiques dans les pratiques d'enseignement** et d'apprentissage à tous les niveaux sont des conditions préalables à une éducation efficace à la protection du climat, ainsi qu'au renforcement des stratégies de résilience et des capacités d'adaptation face aux aléas liés au changement climatique. Ainsi, les acteurs, les sites pédagogiques et les matériaux didactiques seront davantage mis en réseau, comme déjà pratiqué par la plateforme « BNE – Bildung fir nohalteg Entwécklung »¹⁰⁵, les journées d'échange « Ecoles durables » ou l'initiative « ClimateXchange »¹⁰⁶, dont une collaboration étroite est née.

Le marché du travail est en constante mutation, entraîné en particulier par la transition écologique et la transformation numérique. Les **compétences requises par la main d'œuvre** évoluent. De **nouveaux profils professionnels** émergent à un rythme accéléré. **Dans le domaine de l'éducation et de la formation, il importe de répondre en temps utile à ces exigences**. Afin d'accompagner activement ces évolutions du marché du travail, les **formations** sont à **adapter transversalement** dans les différents secteurs d'activités éducatives. **L'offre de formation sera développée en conséquence et les curriculums adaptés**. A noter dans ce contexte qu'une série de nouvelles formations ont déjà été développées ces dernières années, qu'un accent est mis sur la formation du personnel enseignant et

¹⁰¹ Accord de coalition 2018-2023, p. 55 et 67

¹⁰² Accord de coalition 2018-2023, p. 55

¹⁰³ <https://sustainabilityscience.uni.lu/school-futures/?lang=en>

¹⁰⁴ <https://www.aktioun-nohaltegkeet.lu/>

¹⁰⁵ www.bne.lu

¹⁰⁶ <https://portal.education.lu/climatexchange>: Suite à l'engagement des élèves dans le cadre des mouvements *Fridays for Future* et *Youth for Climate*, le Gouvernement a décidé de consulter intensivement les élèves. Quatre rencontres d'échange ont été organisées. La Conférence Nationale des Elèves du Luxembourg a regroupé les revendications des élèves dans un rapport (<https://www.cnel.lu/wp-content/uploads/2018/07/climateXchange-rapport-sanssign-final.pdf>) qui fut remis au Gouvernement en juin 2019.

que la Maison de l'Orientation évalue les besoins et les compétences nécessaires pour les emplois du futur, afin de guider au mieux les élèves dans leurs choix de profession et des voies de formations.

6.1.8 Renforcer le cadre UE en faveur de l'action pour le climat

Pour réussir la transition visée de l'économie luxembourgeoise – une petite économie ouverte dans l'espace économique européen – il est indispensable de pouvoir s'appuyer sur un **cadre UE solide** :

- **Cadre juridique** aligné sur les objectifs climatiques, d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables, y compris les normes européennes ;
- **Cadre financier** compatible avec l'ambition climatique, notamment un budget de l'UE contribuant de manière adéquate au financement de la transition;
- **Programmes de recherche et d'infrastructures européens** soutenant les secteurs clés de la transition.

Par conséquent, le Gouvernement luxembourgeois s'engage en faveur d'un cadre approprié au niveau européen, apte à mettre en œuvre le pacte vert pour l'Europe et en particulier à atteindre les objectifs de décarbonisation à moyen et long terme. En particulier, les **politiques sectorielles européennes** suivantes **revêtent une importance décisive pour le support des politiques nationales** et doivent être adaptées à l'ambition climatique renforcée :

- Objectifs européens d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables ;
- Système d'échange de quotas d'émission de GES de l'UE (ETS), intégrant aussi le secteur de l'aviation et le secteur maritime de manière adéquate ;
- Normes de performance en matière d'émissions de CO₂ pour les voitures particulières, les véhicules utilitaires légers et les véhicules utilitaires lourds ;
- Exigences en matière d'écoconception de produits ;
- Économie circulaire et dimension industrielle ;
- Marché de l'électricité ;
- Politique agricole commune.

A noter que la Commission européenne a présenté en date du 14 juillet 2021 un paquet législatif comprenant des propositions pour renforcer certaines de ces politiques, dont le système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre de l'UE et les normes de performance en matière d'émissions de CO₂ pour les véhicules. Dans ce contexte, un **mécanisme d'ajustement carbone aux frontières** est également proposé. En effet, les efforts déployés par l'UE et ses Etats membres pour parvenir à la neutralité climatique à l'horizon 2050 pourraient être compromis par le manque d'ambition d'autres grands émetteurs au niveau mondial. Il en résulterait un risque de fuites de carbone par la délocalisation de la production industrielle vers des pays moins exigeants en termes climatiques. Afin de contrecarrer ce risque et éviter l'importation de biens dont la production accélère le réchauffement climatique, l'introduction d'un tel mécanisme est essentielle.

Diplomatie climatique

L'effort national de la transition vers la neutralité climatique s'inscrit dans le cadre européen d'une action pour le climat ambitieuse, poursuivie par un certain nombre de pays et de régions. Ainsi, le Luxembourg s'engage dans la lutte contre le changement climatique, aussi dans une perspective de motiver d'autres pays à suivre l'exemple. En effet, un manque d'ambition d'autres pays compromettrait l'atteinte des objectifs de l'Accord de Paris.

L'objectif national de neutralité climatique rayonne donc bien au-delà de la simple dimension de politique intérieure en matière de climat et d'énergie. Dans ce contexte, il est important de noter que les objectifs climatiques nationaux impliquent forcément un changement de l'approvisionnement énergétique auprès de certains partenaires commerciaux. Les Etats qui s'engagent réellement à respecter l'Accord de Paris ont la responsabilité de choisir des solutions respectueuses du climat. Il s'agit donc de coopérer avec les pays tiers pour atténuer les risques, notamment les tensions sociales et les conflits, qui peuvent survenir lorsque les modèles d'approvisionnement changent. Cette situation ajoute par conséquent une importante dimension de politique étrangère et européenne, et la coordination interministérielle au niveau national doit en tenir compte.

Dans ce contexte, le Conseil européen, lors de sa réunion du 10 et 11 décembre 2020, soulignait « l'importance de mener une action forte et coordonnée au moyen d'une diplomatie européenne active en matière de climat » et que « l'UE [devra veiller] à ce que sa politique commerciale et ses accords commerciaux soient cohérents avec ses ambitions en matière de climat ». L'UE occupe une position unique en tant que leader mondial de l'action climatique, et le Gouvernement luxembourgeois appuie un fort leadership de l'UE en matière de diplomatie climatique.

En outre, le changement climatique contribue de plus en plus à aggraver les risques sociaux, économiques et environnementaux existants, favorisant ainsi les inégalités mondiales et les conflits en découlant. Les problèmes accentués par le changement climatique concernent notamment l'approvisionnement en nourriture et en eau, la concurrence accrue pour les ressources naturelles, la perte des moyens de subsistance, les catastrophes liées au climat, les migrations et les déplacements. Il importe donc de préserver et renforcer la dimension du changement climatique de la politique étrangère, ensemble avec nos partenaires européens.

Le Gouvernement luxembourgeois en est pleinement conscient. C'est pourquoi l'accord de coalition¹⁰⁷ prévoit le développement et la mise en œuvre d'une politique étrangère qui contribue à la paix, à la sécurité, au développement durable, à l'éradication de la pauvreté, à la lutte contre le changement climatique, à la protection et à la promotion des droits humains, à l'égalité entre les hommes et les femmes ainsi qu'à l'Etat de droit et la bonne gouvernance, dans un souci constant de préserver et de renforcer le cadre du droit international.

¹⁰⁷ Accord de coalition 2018-2023, p. 210

6.2 Système énergétique

Comme le Luxembourg ne dispose plus de grandes centrales électriques, le pays recourt principalement à des importations d'électricité¹⁰⁸, dont les émissions de GES ne sont pas attribuées au bilan national. Ainsi, l'**industrie de l'énergie** ne représentait qu'environ 2% des émissions totales en 2019, en baisse depuis 2010 suite au ralentissement suivi de la fermeture en 2016 de la seule grande centrale électrique qui était alimentée au gaz naturel. Grâce au développement des sources d'énergie renouvelables, la production nationale d'électricité croît sans émettre des gaz à effet serre. En 2020, le Luxembourg couvrait 15,6% de sa consommation par la production nationale basée sur les sources d'énergie renouvelables¹⁰⁹. La même année, la part de la production électrique à partir d'énergies renouvelables par rapport à la production nationale totale s'élevait à 81%, en forte hausse par rapport aux années précédentes¹¹⁰.

S'appuyant sur le principe de primauté de l'efficacité énergétique, et en vue de la neutralité climatique à l'horizon 2050, le système énergétique reposera intégralement sur un approvisionnement en énergies renouvelables. L'expansion des sources d'énergie renouvelables sera facilitée par le biais de **réseaux énergétiques intelligents**, l'exploitation de synergies basées sur des **couplages intersectoriels** et la mise en œuvre de diverses **options de stockage d'énergie** et de vecteurs énergétiques tels que l'**hydrogène**.

6.2.1 Principe de primauté de l'efficacité énergétique

L'énergie la plus propre, la moins chère et la plus sûre est celle que l'on ne consomme pas. **L'efficacité énergétique** doit être considérée comme une source d'énergie à part entière : elle **constitue l'une des manières les plus efficaces de soutenir la transition vers la neutralité climatique d'ici 2050, tout en générant en même temps d'innombrables possibilités d'investissement et des emplois tournés vers l'avenir.**

Le **principe de primauté de l'efficacité énergétique**, auquel le Luxembourg souscrit pleinement, a été défini au règlement (UE) 2018/1999 sur la gouvernance de l'union de l'énergie et de l'action pour le climat comme « le fait de prendre le plus grand compte, lors de la planification énergétique et des décisions concernant la politique et les investissements en matière d'énergie, des mesures d'efficacité énergétique alternatives efficaces du point de vue des coûts visant à rendre l'offre et la demande d'énergie plus efficaces, en particulier moyennant des économies d'énergie rentables au stade final, des initiatives de participation active de la demande et une conversion, un acheminement et une distribution plus efficaces de l'énergie, qui permettent tout de même d'atteindre les objectifs de ces décisions ».

Le Luxembourg s'engage à **appliquer ce principe de manière horizontale dans l'ensemble des politiques liées à la transition énergétique** et en particulier dans la planification des infrastructures. Il est ainsi nécessaire de veiller à ce que l'efficacité énergétique et l'atténuation de la demande soient traitées sur un pied d'égalité avec la capacité de production. L'efficacité énergétique doit être prise en compte lorsque des décisions de planification ou de financement sont prises concernant le système énergétique. Des améliorations de l'efficacité énergétique doivent également être réalisées en priorité chaque fois qu'elles s'avèrent plus efficaces au regard des coûts que des solutions équivalentes du côté de l'offre. Cette approche devrait contribuer à l'exploitation des nombreux

¹⁰⁸ 80,7% de la consommation d'électricité étaient importés en 2020 (ILR, 2021 : Chiffres clés du marché de l'électricité, Année 2020 – partie I, <https://assets.ilr.lu/energie/Documents/ILRLU-1685561960-889.pdf>)

¹⁰⁹ ILR, 2021 : Chiffres clés du marché de l'électricité, Année 2020 – partie I

¹¹⁰ 2015 : 32,8% ; 2016 : 60,4% ; 2017 : 69,1% ; 2018 : 73,7% ; 2019 : 76,9%

avantages qu'offre l'efficacité énergétique à la société, notamment aux citoyens et aux entreprises au Luxembourg.

Notamment au niveau du PNEC, le Luxembourg a arrêté l'efficacité énergétique selon le principe de primauté de l'efficacité énergétique comme « priorité absolue », avec un objectif d'amélioration de 40 à 44% à l'horizon 2030, objectif le plus ambitieux de tous les Etats membres de l'UE. Cela implique d'examiner, avant de prendre des décisions concernant la planification, la politique et les investissements en matière d'énergie, si d'autres mesures d'efficacité énergétique rationnelles sur le plan technique, économique et environnemental et présentant un bon rapport coût-efficacité pourraient remplacer en tout ou en partie les projets envisagés du côté de l'offre. Cela inclut, en particulier, le traitement de l'efficacité énergétique en tant qu'élément crucial et déterminant des décisions futures concernant les investissements dans les infrastructures énergétiques. Comme développé au niveau sectoriel tout au long de la présente stratégie, la **priorité** est aux rénovations énergétiques profondes et durables de bâtiments, aux nouvelles constructions à consommation d'énergie quasi nulle et circulaires, aux standards de produits les plus efficaces, aux processus de production efficaces, à la mobilité active et aux transports publics, aux véhicules électriques et à l'intégration des secteurs de l'énergie et du transport, à l'orientation des vecteurs énergétiques les plus efficaces vers les différents usages, aux initiatives de participation active de la demande, au déploiement de solutions de flexibilité sur les réseaux énergétiques et à la distribution plus efficiente de l'énergie grâce notamment aux nouvelles technologies. **La diffusion du principe de primauté de l'efficacité énergétique doit être encouragée aussi bien dans le secteur public, y compris dans les communes, que dans le secteur privé.**

En synergie avec une panoplie de politiques et mesures sectorielles, le **mécanisme d'obligations en matière d'efficacité énergétique**¹¹¹ agit comme instrument transversal de promotion de l'utilisation rationnelle de l'énergie. Introduit en 2015 et renforcé pour une deuxième période de 2021 à 2030, il impose aux fournisseurs d'électricité et de gaz naturel d'inciter les consommateurs de réduire leurs consommations d'énergie par la réalisation de mesures d'efficacité énergétique. Les mesures éligibles sont typiquement des mesures en relation avec la rénovation énergétique de bâtiments et des projets d'efficacité énergétique dans les entreprises, où notamment l'industrie offre un potentiel intéressant d'économies d'énergie. Un aspect central est la complémentarité du mécanisme avec les régimes d'aides financières ainsi que la sensibilisation et l'assistance aux consommateurs, telles que proposées par certaines parties obligées. Ainsi, le contact direct entre les entreprises, notamment les PME, et les fournisseurs d'énergie permet un conseil et une assistance adaptés aux besoins spécifiques et facilite de cette manière l'identification et la réalisation de projets.

L'**Accord volontaire relatif à l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie luxembourgeoise**¹¹² est un instrument éprouvé en la matière depuis 1996. Les entreprises adhérentes s'engagent notamment à réaliser des économies d'énergie en contrepartie d'avantages sur les taux de la taxation de l'énergie. Une nouvelle période avec des dispositions approfondies et renforcées commence en 2021.

6.2.2 Maximiser le déploiement des énergies renouvelables

Les énergies renouvelables ont connu une croissance significative au Luxembourg pendant les dix dernières années. L'énergie photovoltaïque a enregistré une progression importante depuis 2008, la

¹¹¹ <https://www.myenergy.lu/fr/particuliers/lois-et-reglements/mecanisme-d-obligations>; voir aussi le chapitre « Economie »

¹¹² <https://www.myenergy.lu/fr/entreprises/grandes-entreprises-et-industries/accord-volontaire-fedil>; voir aussi le chapitre « Economie »

puissance électrique installée est passée de 110 MW en 2010 à 187 MW en 2020 et, selon les prévisions, dépassera le cap de 200 MW en 2021. En termes de puissance installée par tête d'habitant, le Luxembourg se positionne en 6^e position parmi les Etats membres de l'UE. L'énergie éolienne a fait un bond en avant impressionnant depuis 2016. La puissance installée des éoliennes est de 153 MW en 2020. Pour stimuler les investissements dans les projets d'énergies renouvelables, le cadre réglementaire, comprenant notamment des systèmes d'aides, a été adapté régulièrement en tenant compte des potentiels réalisables et des objectifs nationaux. Le Luxembourg est sûr d'avoir **atteint son objectif de 11% d'énergies renouvelables à l'horizon 2020**¹¹³. Or, limité dans ses possibilités par une demande en énergie élevée ainsi que des contraintes géographiques et démographiques, les objectifs du Luxembourg en matière de sources d'énergie renouvelables devaient être soutenus et confortés par des **coopérations transfrontalières** dans un état d'esprit européen. En 2017, en signant des accords de coopération avec la Lituanie et l'Estonie, le Luxembourg est ainsi devenu le premier pays de l'UE à utiliser la possibilité des mécanismes de coopération offerte par la directive (UE) relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables.

Lignes directrices en vue de la neutralité climatique en 2050

Il est entendu qu'une priorité absolue sera accordée à l'efficacité énergétique selon le principe de primauté de l'efficacité énergétique, suivi du développement accru et cohérent des énergies renouvelables. Dans le cadre du PNEC, le Luxembourg a fixé un objectif de 25% à l'horizon 2030. **En 2050, le Luxembourg devra viser une couverture à 100% de la consommation finale d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelables.** L'approvisionnement énergétique devra être durable, sûr et compétitif dans un contexte de décarbonisation et de digitalisation. La **transformation du système de production centralisé vers un système plus décentralisé** sera un des éléments clé de la transition énergétique. Le consommateur participera à l'implémentation de la flexibilité de la demande d'énergie pour faciliter l'intégration des énergies renouvelables variables.

Le système énergétique sera fortement électrifié. Cette électrification permettra de valoriser au maximum l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables. **Les différents secteurs seront interconnectés** afin de permettre l'injection d'une part croissante d'électricité renouvelable dans le réseau et sa valorisation optimale. L'équilibre et la sécurité du système énergétique renouvelable seront assurés par le couplage sectoriel et à l'horizon 2050 par des technologies H₂ (p.ex. power-to-X).

Il ne faut pas perdre de vue l'étroitesse du territoire national et donc le caractère limité des potentiels nationaux. Le potentiel de production nationale d'électricité renouvelable aura ses limites et ne permettra pas une couverture de la consommation nationale, vu aussi la part importante d'industries localisées sur le territoire Luxembourgeois. **Les interconnexions avec les pays voisins joueront un rôle clé de même que la coopération au niveau européen dans la production d'énergies renouvelables.** Les directives européennes prévoient à cet égard la possibilité de **mécanismes de coopération** dans le cadre de projets concrets. Ce sera le pas suivant dans la politique de coopération en matière d'énergies renouvelables. Le Luxembourg, à côté d'initiatives bi- ou multilatérales, compte avoir pleinement recours au mécanisme de financement dans le cadre de l'union de l'énergie qui représentera un allègement considérable des procédures administratives. Les trois piliers – (i) transferts statistiques, (ii) projets bi- ou multilatéraux et (iii) mécanisme de financement – seront la ligne directrice pour le Luxembourg dans ce champ d'action. Vu l'exiguïté de son territoire, son niveau d'interconnexion avec surtout le réseau d'électricité allemand et aussi, de façon générale, dans le réseau d'électricité européen, ainsi que dans une perspective d'importation de gaz renouvelables

¹¹³ En attente des chiffres 2020 officiels

comme l'hydrogène renouvelable par l'interconnexion au réseau gazier européen, la coopération transfrontalière est logique et indispensable pour le Luxembourg. L'engagement politique du Luxembourg dans le contexte régional et européen sera d'une importance cruciale.

Principaux champs d'action et mesures stratégiques

L'énergie éolienne, l'une des technologies clés pour la transition énergétique, sera développée. Les tarifs d'injection/primés de marché existants seront maintenus. La participation financière de la part des communes et des citoyens permettra d'augmenter l'acceptation du public pour de tels projets. En raison de l'énorme potentiel, l'énergie solaire joue un rôle central dans l'approvisionnement énergétique du pays et sera développée davantage dans les années à venir. Des tarifs de rachat attractifs devraient inciter les citoyens et les entreprises à réaliser des installations photovoltaïques. Afin d'accélérer l'expansion de l'énergie photovoltaïque, le Luxembourg continuera à lancer des appels d'offres pour de grandes installations solaires, dans lesquels le volume à allouer se verra augmenté d'année en année afin d'atteindre les objectifs en la matière. La production décentralisée d'énergie solaire s'intégrera dans les concepts d'autoconsommation et de communautés énergétiques, en vertu de la directive (UE) 2018/2001 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables.

L'utilisation de la **biomasse** à des fins énergétiques sera développée et l'encadrement renforcé pour garantir la durabilité de la biomasse. Des critères de durabilité seront mis en place pour les centrales valorisant de la biomasse forestière ainsi que du bois de rebut. Le rayon d'approvisionnement des centrales se limitera principalement à la Grande Région ou à un rayon correspondant à la Grande Région. L'utilisation de la biomasse se fera en respectant la hiérarchie d'usage de la ressource selon le principe de la multi-valorisation en cascade. Les technologies appropriées devront par ailleurs permettre de minimiser l'émission de polluants atmosphériques et le respect des objectifs afférents. L'agriculture jouera aussi un rôle important dans la production d'énergie, en particulier dans la production de **biogaz** et d'énergie solaire. Dans l'optique d'amélioration du bilan écologique de l'agriculture (réduction des émissions de méthane et d'ammoniac, recyclage des éléments nutritifs, etc.), la biométhanisation des effluents d'élevage ainsi que des biodéchets et d'autres résidus sera renforcée, tout en promouvant une gestion durable des flux de matière associés. L'utilisation de cultures dédiées pour la production de biogaz sera limitée au minimum. L'injection du biométhane sera privilégiée. Afin de mieux promouvoir la production de biogaz, les conditions-cadres seront améliorées continuellement.

L'utilisation de la **chaleur renouvelable** sera développée systématiquement dans les bâtiments résidentiels et fonctionnels permettant une décarbonisation des nouvelles constructions et des constructions existantes. L'augmentation de la performance énergétique des bâtiments permettra d'utiliser des **pompes à chaleur** avec des coefficients de performance élevés valorisant différentes sources d'énergie de l'environnement. Le potentiel de la **géothermie profonde** sera identifié de manière plus systématique et pris en compte de manière plus cohérente dans des projets d'envergure. L'objectif est de réduire les incertitudes et les risques existants et de promouvoir une utilisation plus vaste de la géothermie dans des zones stratégiques. **La combinaison des pompes à chaleur performantes avec des installations photovoltaïques et des systèmes de stockage électrique permettra de réaliser des bâtiments à énergie positive.** Un cadastre thermique, en tant qu'instrument pour la planification énergétique, sera utilisé pour identifier des zones et des quartiers favorables à la réalisation de **réseaux de chaleur urbain**. Des projets de réseaux de chaleur (à haute ou basse température) seront développés par des acteurs publics et privés, permettant d'intégrer des sources d'énergie renouvelables et décentralisées, ainsi que de la **chaleur fatale** issue de l'industrie ou de centres de données.

Pour réellement pouvoir satisfaire la demande future en énergie renouvelable, la **coopération transfrontalière** se verra davantage développée et comprendra des projets concrets. Le Benelux et la « North Seas Energy Cooperation (NSEC) » et aussi le Forum pentalatéral de l'énergie (comprenant l'Allemagne, la France, les Etats membres du Benelux, l'Autriche et la Suisse) y auront des rôles clés. Le Luxembourg a l'intention de participer à la plateforme de l'Union pour le développement des énergies renouvelables. Le Luxembourg entend également miser sur le mécanisme de financement de l'Union en matière d'énergies renouvelables, tel que décrit par le règlement (UE) 2018/1999. En ce qui concerne le pilier des projets bi- ou multilatéraux, le cadre prédestiné pour de tels projets dans des structures existantes est le Benelux et l'affiliation du Luxembourg dans la NSEC, qui offre pour ainsi dire un accès à la mer et à l'**éolien offshore** au Luxembourg. La Commission européenne a estimé que l'éolien offshore de la mer du Nord peut couvrir jusqu'à 12% de la consommation d'électricité dans l'UE d'ici 2030 et chiffre le potentiel de l'éolien offshore à 450 GW pour 2050 en considérant un scénario qui atteint la neutralité climatique. Le Luxembourg entend collaborer avec les autres pays de la NSEC sur les possibilités de projets de coopération concrets, comme par exemple le projet d'île énergétique du Danemark.

6.2.3 Au sujet du rôle potentiel de l'hydrogène renouvelable

La directive (UE) 2018/2001 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables reconnaît l'hydrogène et ses dérivés provenant de sources renouvelables comme **vecteurs énergétiques clés pouvant contribuer à atteindre une exploitation optimale des potentiels d'énergie renouvelable** à travers l'Europe, et au-delà. La déclaration politique du Forum pentalatéral de l'énergie du 12 juin 2020 a fait un appel à la Commission européenne de définir un cadre réglementaire harmonisé pour l'UE et de développer une vision à long terme commune¹¹⁴ axée sur l'utilisation d'hydrogène 100% renouvelable pour contribuer à la décarbonisation du système énergétique en Europe.

Le PNEC cite l'hydrogène comme l'un des candidats prometteurs de vecteur énergétique décarbonisé du futur, à condition d'être produit à partir de sources d'énergie renouvelables et certifié renouvelable. Une **stratégie hydrogène pour le Luxembourg**¹¹⁵ a été élaborée et adoptée par le Conseil de gouvernement en date du 8 juillet 2021. Elle définit la vision **concernant le rôle que jouera l'hydrogène renouvelable comme vecteur énergétique du futur**.

Lignes directrices en vue de la neutralité climatique en 2050

Une économie de l'hydrogène renouvelable devra contribuer à l'objectif de la neutralité climatique du Luxembourg et de l'UE, d'ici 2050. Les promesses de ce vecteur énergétique devront être analysées et poursuivies au fur et à mesure des progrès technologiques dans la décarbonisation et dans l'intégration et le couplage des secteurs. À côté des volets prioritaires de l'amélioration de l'efficacité énergétique et du déploiement de l'électrification directe entièrement renouvelable, le Luxembourg reconnaît le **rôle que pourra jouer l'hydrogène et ses dérivés provenant de sources renouvelables dans une électrification indirecte, en particulier dans les secteurs difficiles à décarboniser** dans le moyen et long terme. **Uniquement l'hydrogène produit à partir d'énergies renouvelables additionnelles (c'est-à-dire sans entraver le déploiement de l'électrification directe entièrement renouvelable)** est considéré comme vecteur énergétique qui pourrait aider à décarboniser de manière durable à l'horizon 2050 les secteurs prioritaires de l'industrie (par exemple la sidérurgie ou la

¹¹⁴ Communication de la Commission européenne (COM(2020) 301 final) : Une stratégie de l'hydrogène pour une Europe climatiquement neutre

¹¹⁵ Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire – Département de l'Énergie, 2021 : Stratégie Hydrogène du Luxembourg

cimenterie), certains segments du transport tels que le transport routier lourd et le transport aérien, ou encore un système énergétique intégré.

Il est sous-entendu que la production de l'hydrogène renouvelable sur le territoire aura ses limites naturelles de sorte qu'il conviendra, comme pour le développement de l'électricité renouvelable, de se pencher davantage sur le **caractère transfrontalier d'infrastructures** adaptées et de renforcer la coopération dans ce domaine.

Principaux champs d'action et mesures stratégiques

Le Luxembourg entretiendra des efforts aux niveaux européen et national dans (i) le **développement d'une certification de l'hydrogène** afin d'assurer la consommation d'un produit réellement décarbonisé et renouvelable, dans (ii) la **conception d'infrastructures continentales** pour garantir l'acheminement de ce vecteur énergétique renouvelable produit à un coût acceptable, et dans (iii) la **coopération avec des États membres de l'UE aussi bien qu'avec des pays tiers** visant l'exploitation optimale, en termes environnementaux et économiques, des potentiels de production de l'hydrogène renouvelable. Le progrès autour de ces trois piliers sera déterminant pour satisfaire à la vision à long terme du pays. La stratégie hydrogène susmentionnée retient à ce stade sept mesures stratégiques pour le Luxembourg :

- Contribuer à la définition du cadre au niveau de l'UE ;
- Coopérer avec les États membres de l'UE et des pays tiers ;
- Identifier les opportunités au Luxembourg - Recherche et innovation ;
- Passer au concret - Des projets phares à étudier et à réaliser ;
- Prioriser les actions - Vers une décarbonation ciblée par l'hydrogène renouvelable ;
- Développer les instruments pour un marché de l'hydrogène renouvelable ;
- Implémenter et améliorer en continu - Taskforce H2 Luxembourg.

6.2.4 Options de stockage de l'énergie facilitant l'expansion des énergies renouvelables

L'expansion des énergies renouvelables mène à une disponibilité d'énergie électrique dans le système d'approvisionnement de plus en plus dynamique en suivant notamment les conditions météorologiques. Afin d'assurer l'approvisionnement à l'avenir et de servir les consommateurs finals selon leurs besoins, des **flexibilités supplémentaires** seront donc **nécessaires dans le système d'approvisionnement électrique. Outre des capacités de production flexibles et une demande de plus en plus flexible, des options de stockage basées sur diverses approches technologiques, y compris des solutions décentralisées, devront également être considérées et a fortiori être intégrées.**

Selon une étude publiée en 2020 par la Commission européenne¹¹⁶, le besoin de technologies de stockage en Europe va se multiplier d'ici 2050, partant d'une capacité actuelle d'environ 40 GW. Entre autres, la capacité des électrolyseurs, qui utilisent de l'électricité pour produire de l'**hydrogène** et qui de par l'importance de leur puissance électrique nécessaire peuvent également contribuer à fournir de la flexibilité au système électrique, devrait augmenter considérablement. En fait, cette technologie peut être considérée comme un stockage d'énergie électrique du fait qu'elle convertit l'électricité en une autre forme d'énergie qui, en comparaison directe, peut être stockée assez facilement dans des réservoirs et dont la consommation peut avoir lieu en décalage.

¹¹⁶ European Commission, 2020: Study on energy storage – Contribution to the security of the electricity supply in Europe. Final Report. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a6eba083-932e-11ea-aac4-01aa75ed71a1>

Le Luxembourg participera directement au développement et à la **fourniture de capacités de stockage suffisantes**. En effet, le Luxembourg apporte déjà une contribution significative au stockage flexible de l'électricité en Europe centrale grâce à la **centrale électrique à accumulation par pompage** de Vianden. Cependant, le potentiel d'expansion de la centrale étant presque épuisé, l'objectif actuel et futur est d'optimiser davantage l'utilisation des réservoirs existants en fonction des besoins futurs du système électrique tout en respectant les aspects environnementaux locaux.

Un autre potentiel à peine utilisé jusqu'ici existe dans le domaine du stockage d'énergie par des unités de **stockage chimique** (comme les batteries Lithium-Ion, par exemple). Ce sont des unités souvent installées et utilisées de manière décentralisée. Un potentiel particulièrement intéressant est perçu dans le domaine des systèmes stationnaires de stockage d'électricité utilisant des « second life batteries », ainsi que pour des solutions innovantes et dynamiques relatives au « vehicle-to-grid ».

Le Luxembourg continuera à développer le **cadre réglementaire** de manière à ce que les différentes propriétés et externalités (y inclus la flexibilité) des unités de stockage soient valorisées de manière non-discriminatoire et intégrées dans le système. La structuration des tarifs de réseau et des taxes de stockage revêt une importance particulière afin d'assurer une solide base de planification des investissements à long terme et de parvenir à des **conditions de concurrence équitables entre les technologies de stockage et les autres options de flexibilité**. Le Luxembourg soutient une approche neutre sur le plan technologique, mais prévoit – lorsque cela est nécessaire et judicieux – d'accélérer le développement grâce à des programmes de financement ciblés, notamment si cette approche permet de renforcer le savoir-faire local pour l'expansion et l'intégration de solutions de stockage dans le système électrique.

Dans toute la panoplie technologique à disposition, les **solutions de stockage pour optimiser l'autoconsommation** apparaissent particulièrement pertinentes, notamment dans le cadre des communautés énergétiques (renouvelables), ainsi que pour l'optimisation de l'exploitation du réseau et de la nécessité de son extension. Si aujourd'hui la viabilité économique de tels systèmes est encore difficile, à moyen et à long terme, on s'attend à ce que ces systèmes de stockage seront économiquement intéressants, en particulier en raison des réductions de coûts des batteries composant ces systèmes¹¹⁷.

Outre le stockage et l'injection déphasée d'électricité, le Luxembourg ciblera également sur le **stockage de chaleur** afin de soutenir l'expansion des réseaux de chaleur urbains et de pouvoir les optimiser économiquement. Ainsi, un stockage de chaleur peut être utilisée pour optimiser le fonctionnement d'une centrale de cogénération de chaleur et d'électricité de manière à ce que la demande de chaleur ne soit plus l'élément déterminant pour la commande de la centrale de cogénération, mais plutôt les paramètres du marché de l'électricité que ce soit grâce au prix de vente de l'électricité produite ou bien grâce à des éléments de flexibilité qui ont une valeur économique dans la gestion du réseau électrique.

Hors considérations déjà faites au chapitre relatif au rôle potentiel de l'hydrogène renouvelable et dans le contexte du potentiel de flexibilisation des technologies de l'hydrogène, l'utilisation de l'**hydrogène** a le potentiel de devenir un facteur non négligeable dans le stockage d'énergie. Dans cette perspective, il reste à voir dans quelle mesure des systèmes locaux de stockage d'hydrogène

¹¹⁷ Dans un scénario optimiste, une méta-analyse estime les coûts à 20% du niveau actuel d'ici 2050 : Wesley Cole and A. Will Frazier, 2019: Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage. Technical Report NREL/TP-6A20-73222, National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73222.pdf>

pourraient être intégrés dans l'instrumentation de la flexibilité nécessaire pour gérer les réseaux électriques à l'avenir.

6.2.5 Réseau électrique intelligent : épine dorsale de l'approvisionnement énergétique

Les réseaux électriques sont l'épine dorsale de notre approvisionnement énergétique d'aujourd'hui et encore plus demain. Les réseaux électriques ont classiquement pour rôle d'acheminer l'électricité depuis les centres de production vers les centres de consommation et d'assurer à tout moment l'équilibre entre la production et la consommation. Or, pour contribuer activement à la réalisation de la transition énergétique, les réseaux électriques sont en train d'évoluer. L'étude stratégique pour le Luxembourg de la « Troisième Révolution Industrielle »¹¹⁸ retenait qu'une transition s'amorcerait vers la troisième révolution industrielle, caractérisée par la convergence des technologies de l'information et de la communication (TIC), des énergies renouvelables et de nouveaux moyens de transports au sein d'un réseau intelligent, bref l'internet de l'énergie.

Les réseaux électriques actuels sont confrontés au développement de nouveaux modes de production surtout décentralisés et à une évolution des modes de consommation (autoconsommation, agrégation, gestion de la demande, etc.). En réponse à ces nouveaux défis, les **réseaux électriques dits intelligents** doivent opérer l'intégration des technologies des systèmes électriques et des TIC. Ils se réfèrent à un ensemble de technologies (composants, équipements électriques, logiciels et moyens de communication) intégrées au sein du système électrique et aux stratégies de gestion de ce système complexe. Ces nouvelles technologies doivent leur permettre d'intégrer efficacement les actions des différents utilisateurs, consommateurs et producteurs, afin de maintenir une fourniture d'électricité efficace, durable, économique et sécurisée.

Ainsi pour contribuer à la réussite de la transition énergétique, les réseaux électriques intelligents vont s'articuler autour de quatre axes modifiant le système actuel des réseaux reposant sur une gestion unidirectionnelle de l'amont vers l'aval par une **gestion intégrée à plusieurs niveaux et bidirectionnelle** :

- Intégration des énergies renouvelables, variables, et des nouveaux usages électriques ;
- Flexibilité de la production et de la consommation pour la réduction de la pointe électrique ;
- Gestion de flux d'information et d'énergies bidirectionnels entre les trois niveaux de tension – haute tension, moyenne tension, basse tension ;
- Gestion des capacités et des flux transfrontaliers dans le réseau européen interconnecté.

L'intégration des TIC au monde de l'électricité exige la mise à disposition de données détaillées et au mieux en temps réel. Au Luxembourg, l'objectif de déploiement de **compteurs intelligents** a été transposé par une obligation légale pour les gestionnaires de réseau d'électricité (et gazier) de déployer de tels compteurs à 95% des clients finals raccordés à leur réseau à l'horizon 2020. Puisqu'ils permettront notamment de donner au gestionnaire de réseau une meilleure connaissance de l'état du réseau et d'apporter de nouveaux services et informations aux consommateurs, les compteurs intelligents sont souvent considérés comme la première pierre indispensable au développement des réseaux intelligents. Ils sont un maillon indispensable pour pouvoir offrir des services de flexibilité dans le marché de l'électricité, de réaliser des concepts d'autoconsommation avec ou sans une solution de stockage intégrée, de faire participer activement les clients finals à des services énergétiques émergents (gestion de la demande, partage de l'électricité, accord d'achat d'électricité

¹¹⁸ <https://www.troisiemerevolutionindustrielle.lu/etude-strategique/>

renouvelable, vente d'électricité sur les marchés, agrégation, etc.) et de pouvoir mieux gérer les flottes émergentes de véhicules électriques.

La gestion d'un réseau intelligent devra sécuriser également l'**intégration massive de productions d'énergie renouvelable et variable**, que ce soit d'innombrables petites productions décentralisées ou des parcs éoliens importants, donc la gestion en parallèle et flexible de la production et de la consommation et ce à tous les niveaux de tension et garantissant la stabilité et la sécurité d'approvisionnement. Ces mêmes défis se posent au niveau du réseau de transport d'électricité européen et interconnecté pour notamment acheminer les quantités importantes d'électricité renouvelable produites en mer du Nord vers les centres de consommation situé au centre de l'Europe.

Les réseaux intelligents se définissent par leur appui inévitable sur les TIC. Or, un défi majeur et un effort important à faire consiste à garantir la **sécurité informatique** de ces infrastructures critiques en se protégeant un maximum contre d'éventuelles attaques informatiques. D'autre part, le développement et l'utilisation de l'**intelligence artificielle** peuvent fournir un potentiel d'optimisation avantageux des réseaux énergétiques.

Les réseaux électriques intelligents sont des **instruments indispensables pour soutenir la décarbonisation du système énergétique**. Ils sont bénéfiques à la mise en place de conditions favorables à l'efficacité énergétique, garantissent l'intégration des énergies renouvelables, favorisent une meilleure maîtrise des nouveaux usages comme l'intégration des véhicules électriques, permettent une optimisation des réseaux et de leur gestion et visent une promotion des comportements utiles aux réseaux par une tarification plus flexible en fonction des usages. Le Luxembourg continue à **concourir à diverses enceintes européennes** (Benelux, NSEC, Forum pentalatéral de l'énergie, ENTSO-E, ENTSO-G, etc.) en vue de participer aux discussions et contribuer au développement et de la mise en place des réseaux intelligents d'électricité.

6.2.6 Exploiter des synergies par couplage sectoriel

L'intelligence croissante des réseaux d'énergie permettra de **coupler progressivement les systèmes** qui sont aujourd'hui largement exploités indépendamment les uns des autres. Ce couplage se traduit par **deux avantages principaux** : D'une part, les **complémentarités** sont utilisées, par exemple en exploitant judicieusement la chaleur fatale des unités de production d'électricité dans les réseaux de chaleur ou en valorisant les batteries des véhicules électriques dans le réseau par l'intermédiaire de bornes de charge bidirectionnelles. D'autre part, des **effets de substitution** sont permis, par exemple pour remplacer le gaz naturel par de l'hydrogène produit à partir d'énergies renouvelables. L'**énergie électrique** est d'une importance capitale pour les deux effets, car elle est non seulement relativement facile à décarboniser, mais peut également être utilisée de manière extrêmement flexible pour une grande variété d'utilisations finales (transport, chauffage/refroidissement, lumière, etc.). Pour cette raison, la part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie au Luxembourg continuera d'augmenter au-delà de 2030. En même temps, quelques applications ne sauront pas être couvertes par l'électricité. Pour cette raison, le Luxembourg développera des solutions basées sur des **sources d'énergie alternatives décarbonisées comme l'hydrogène**, notamment pour certains procédés industriels et dans le domaine de la mobilité.

Un grand nombre d'interactions et de couplages intersectoriels sont possibles. Cependant, au fil du temps, il va s'avérer lesquelles de ces interactions contribuent efficacement aux objectifs de décarbonisation. Une grande variété de concepts sont déjà en cours d'élaboration et devraient être mis en œuvre sous forme de projets pilotes d'ici 2030, notamment pour mieux relier le secteur de l'électricité au secteur du gaz et l'intégration du vecteur d'énergie hydrogène. D'ici 2050, on peut s'attendre à ce que ceux-ci – en supposant une disponibilité des technologies et une efficacité

économique – seront prêts pour le marché et s’imposeront comme un concept élémentaire du système. Dans ce contexte, le Luxembourg s’engagera à mettre en œuvre les objectifs de la déclaration élaborée dans le cadre du Forum pentalatéral de l’énergie en vue de la décarbonisation complète de l’approvisionnement énergétique.

Le couplage sectoriel dépend aussi de l’infrastructure de données et de la communication. L’**internet de l’énergie** jouera un rôle important dans le développement futur des services, et contribuera une utilisation rationnelle de l’énergie. Des processus automatisés et des algorithmes intelligents qui s’adaptent aux influences respectives de l’utilisateur et de l’environnement permettront d’optimiser davantage les besoins énergétiques. Un élément central des différents processus et activités dans le secteur de l’énergie sera la **plate-forme nationale de données énergétiques**, qui permettra de manière facile d’accéder à des données de haute qualité en quasi temps réel. Les consommateurs finals, les fournisseurs d’énergie et les fournisseurs de services énergétiques tiers bénéficieront tous de cette plate-forme pour gérer plus efficacement les processus de marché, obtenir une meilleure qualité de service et développer de nouveaux modèles de services (notamment dans le domaine de l’efficacité énergétique). La « Data-Driven Innovation Strategy » du Luxembourg¹¹⁹ prévoit d’intégrer la plate-forme de données énergétiques dans une plate-forme d’échange de données intersectorielle, qui permet de relier les données entre elles via une interface cohérente et de les valoriser encore mieux. Ces interfaces de données communes représenteront un élément essentiel du couplage sectoriel au Luxembourg.

¹¹⁹ Ministère de l’Economie, 2019 : Data-Driven Innovation Strategy for the development of a trusted and sustainable economy in Luxembourg, <https://gouvernement.lu/fr/publications/rapport-etude-analyse/minist-economie/intelligence-artificielle/data-driven-innovation.html>

6.3 Bâtiments

Malgré la croissance économique et démographique soutenue du Luxembourg et les activités de construction en découlant, la quantité d'émissions de GES engendrées par les bâtiments en 2019 égalait quasiment celle de 2005. En somme, les bâtiments étaient responsables en 2019 de 15,3% des émissions totales, dont à peu près 60% étaient dues aux bâtiments résidentiels. En dépit d'une superficie habitable globale croissante, les émissions des bâtiments résidentiels affichent une légère tendance à la baisse, grâce notamment à l'introduction dès 2008 de standards de performance énergétique élevés qui ont su fortement limiter les émissions causées par les nouveaux logements. Entraînées par la croissance économique, les émissions des bâtiments fonctionnels ont néanmoins connu une hausse appréciable durant les dernières années.

Vu l'ampleur observée et projetée des nouvelles constructions et un taux de démolition comparativement élevé, la part des bâtiments construits entre 2021 et 2050 dans le parc immobilier de 2050 sera très significative, d'où l'importance de cette catégorie de bâtiments pour la stratégie vers la neutralité climatique. Le parc immobilier actuel reste néanmoins caractérisé principalement par des bâtiments âgés de plus de 20 ans qui ne répondent pas à de hauts standards en matière d'efficacité énergétique et dont le chauffage est largement dominé par les combustibles fossiles. Il convient également de mentionner que la surface habitable moyenne par tête d'habitant est déjà relativement élevée au Luxembourg et continue à croître, notamment à cause de la diminution du nombre moyen de personnes par ménage.

Afin de décarboniser intégralement son parc immobilier à l'horizon 2050, le Luxembourg est donc amené à agir résolument pour **veiller à ce qu'à brève échéance tout nouveau bâtiment résidentiel ou non résidentiel n'émette plus de gaz à effet serre** et pour **accélérer d'urgence et considérablement la rénovation du parc des bâtiments existants aboutissant à des bâtiments à émissions nulles**. Toute nouvelle construction devra respecter le niveau de performance d'un bâtiment à consommation d'énergie quasi nulle (NZEB, « nearly zero energy building ») permettant ainsi une alimentation exclusivement à base d'énergies renouvelables. De même, au plus tard d'ici 2050, l'ensemble des bâtiments existants actuellement devra être transformé en bâtiments à très haute efficacité énergétique voire à consommation d'énergie quasi nulle, chauffés et, le cas échéant, refroidis uniquement par énergies renouvelables, en garantissant l'exploitation complète et rentable des potentiels d'économie d'énergie.

En même temps, une **approche holistique** s'impose dans la construction et la modernisation des bâtiments. Il s'agit en effet de **décarboniser les bâtiments et d'assurer leur durabilité sur l'ensemble de leur cycle de vie, tout en améliorant le confort et le bien-être de leurs usagers**, décisifs pour l'acceptation par ces derniers. La construction et la rénovation doivent devenir durables dans le sens notamment de l'emploi de **matériaux de construction écologiques, non toxiques et zéro carbone**, d'une **utilisation rationnelle et circulaire des ressources** et de l'application progressive des **principes de l'économie circulaire**¹²⁰. Parmi les critères d'un bâtiment durable figurent aussi la **santé** (p.ex. une bonne qualité de l'air intérieur sans polluants), la **résilience face au changement climatique** (p.ex. maintien d'un climat intérieur agréable en été), une haute **qualité de réalisation** éliminant les vices de construction et un **confort d'utilisation** élevé. Des technologies digitales bien implémentées dans des **bâtiments intelligents et connectés** peuvent contribuer à ce confort, gèrent de façon efficace les équipements de chauffage, ventilation, refroidissement, etc. et facilitent l'intégration des énergies renouvelables et de l'électromobilité dans les réseaux d'énergie intelligents.

¹²⁰ Voir le chapitre « Economie circulaire »

Finalement, en reliant les bâtiments au sein d'un **quartier** des **synergies** très utiles en termes de décarbonisation, de durabilité et de circularité peuvent se présenter. Par ailleurs, la **densification** du parc immobilier visée pour harmoniser le besoin croissant en logements avec une construction d'immeubles à faibles emprises au sol et pour répondre à la baisse observée du nombre moyen de personnes par ménage est en particulier encouragée à l'échelle du quartier.

Pour faire face au besoin urgent en logements et vu la pénurie de logements abordables, le **pacte logement** avec les communes vise à augmenter l'offre de **logements abordables et durables**. Les trois objectifs primordiaux du pacte logement 2.0 (entrée en vigueur à partir de 2021) sont :

- Augmentation de l'offre de logements abordables (locatifs) et durables au niveau communal ;
- Mobilisation du potentiel foncier et résidentiel existant au niveau communal (terrains, « Baulückenprogramm » et résidentiel existant) ;
- Amélioration de la qualité résidentielle.

6.3.1 Nouvelles constructions décarbonisées, durables, circulaires, résilientes et intelligentes

Reconnaissant que la rénovation énergétique des bâtiments pose un défi autrement plus important et tenant compte des cycles de vie usuels des bâtiments, une condition préalable d'un parc immobilier décarbonisé en 2050 est d'assurer qu'à brève échéance toute nouvelle construction n'émet plus de GES. En vue de réduire la consommation énergétique et partant l'empreinte carbone des bâtiments, le Luxembourg a instauré des exigences étoffées en matière de performance énergétique des nouvelles constructions depuis 2008 pour les bâtiments résidentiels et depuis 2010 pour les bâtiments fonctionnels. Ces exigences ont dès lors été renforcées à plusieurs reprises et ont atteint le **niveau de performance d'un bâtiment à consommation d'énergie quasi nulle (NZEB) depuis 2017 pour les nouveaux bâtiments résidentiels et à partir de 2021 pour les nouveaux bâtiments fonctionnels**. Avec la dernière révision (entrée en vigueur en 2021), la méthode de référence appliquée pour le calcul de la performance énergétique rend le **recours aux combustibles fossiles pratiquement impossible**¹²¹ et conduit ainsi à la conception et la réalisation de **bâtiments zéro carbone**.

Le **chauffage** des bâtiments doit donc être assuré à **partir de sources d'énergies renouvelables**. Les pompes à chaleur alimentées par de l'électricité renouvelable se prêtent bien au chauffage de bâtiments à consommation d'énergie quasi nulle, tout en ménageant le potentiel limité en biomasse et évitant les émissions de particules liées aux petites chaudières à biomasse. Les réseaux de chaleur urbains offrent souvent une alternative rentable dans le cas de quartiers assez denses. La chaleur (à haute ou basse température (combiné dans ce dernier cas à des pompes à chaleur)) peut alors provenir de biomasse, de chaleur fatale émanant du secteur industriel ou de centres de données, de géothermie profonde, etc. L'introduction d'une **classe de performance énergétique « A+ »** dans le cadre de la révision précitée permet de visualiser et de valoriser le dépassement des exigences, en particulier par l'exploitation optimisée de sources d'énergies renouvelables et notamment par l'intégration poussée de l'énergie photovoltaïque sur les bâtiments. La combinaison d'installations photovoltaïques et de systèmes de stockage électrique permet l'**autoconsommation** et facilite le développement de **communautés énergétiques**¹²². Chauffés par des pompes à chaleur performantes, les bâtiments peuvent ainsi devenir des producteurs nets d'énergie électrique. Il convient de développer plus amplement le concept du bâtiment en tant que producteur d'énergie pour des **quartiers à énergie positive**.

¹²¹ A partir de 2023, l'installation de production de chaleur de référence sera une pompe à chaleur air/eau.

¹²² Voir le chapitre « Système énergétique »

Or, afin de décarboniser les bâtiments et d'assurer leur durabilité sur l'ensemble de leur cycle de vie, il ne suffit pas d'optimiser la performance énergétique de leur utilisation. Il importe donc de promouvoir la **construction durable, saine et circulaire**, en privilégiant notamment l'utilisation rationnelle et circulaire des ressources, l'emploi de matériaux de construction écologiques et zéro carbone ainsi que la prise en compte de toutes les phases de la vie d'un bâtiment, de la conception en passant par la construction et l'utilisation jusqu'à la déconstruction. Le renforcement de la construction durable passe forcément par **l'introduction, l'élaboration et l'adaptation de critères, concepts, certifications, standards ou normes** en la matière, et ce aussi bien pour les bâtiments résidentiels que les bâtiments fonctionnels. Le Luxembourg est amené à **analyser, développer et mettre en œuvre les solutions les plus appropriées, y compris l'ancrage dans la réglementation**. Le Conseil National pour la Construction Durable¹²³ pourrait y jouer un rôle utile. Actuellement, un certain nombre de certifications en matière de construction durable sont disponibles¹²⁴, dont LENOZ « Lëtzebuerger Nohaltegkeets-Zertifizéierung »¹²⁵ pour bâtiments résidentiels.

A noter qu'en vue d'une amélioration de la **résilience des bâtiments face au changement climatique**, il convient d'adapter les normes de construction aux nouvelles conditions climatiques, en modifiant en particulier les exigences au niveau de la **protection thermique estivale** pour faire face à des vagues de chaleur prolongées et aiguës sans le recours à des climatisations énergivores.

La digitalisation est un élément clé dans la gestion intelligente des bâtiments et de leur intégration dans le système énergétique. La **numérisation des bâtiments** doit donc être développée davantage et réglementée judicieusement dans le but notamment de visualiser et d'optimiser la consommation énergétique d'un bâtiment, en y intégrant la production d'électricité à base d'énergies renouvelables, la gestion intelligente, l'autoconsommation et le partage d'énergie ainsi que l'électromobilité et le stockage d'énergie.

En complément des fonctions classiques d'un bâtiment, la liste des exigences posées aux nouvelles constructions est longue. Afin de répondre convenablement à tous ces besoins et de créer des bâtiments décarbonisés, durables, sains, circulaires, résilients et intelligents, **toute la force d'innovation du secteur de la construction est sollicitée et doit être favorisée**. Une conception et planification intégrant les dimensions visées et soutenues par des outils numériques avancés sont indispensables et appellent à toute la créativité des architectes et ingénieurs. De même, les chercheurs, les industriels et les artisans sont défiés pour développer, produire et mettre en place les solutions convoitées. Le défi consiste en particulier à **associer astucieusement la durabilité à la qualité architecturale, sans impacter d'une manière disproportionnée les prix immobiliers** et ainsi garantir l'acceptation par le marché et la population.

Le renforcement progressif des exigences de la performance énergétique des bâtiments et les différentes mesures promouvant la construction durable au Luxembourg ont permis aux acteurs du secteur de la construction et des secteurs complémentaires de développer leurs **compétences** en la matière, de sorte qu'ils se trouvent en bonne position pour affronter les défis décrits. Bien entendu, il faut intensifier, élargir et approfondir les offres de **formations initiales et continues** afin d'accompagner le secteur et assurer le développement permanent des compétences et capacités requises dans tous les métiers et à tous les niveaux. Une pénurie prononcée de main d'œuvre étant constatée dans le domaine des technologies numériques du bâtiment, des offres de formation ciblées sont à développer. Pour faire face à ce manque de capacités qualifiées, il y a également lieu

¹²³ <http://www.cncd.lu>

¹²⁴ BREEAM: www.breeam.com; DGNB: www.dgnb.de; HQE: www.behqe.com

¹²⁵ <https://logement.public.lu/fr/lenoz.html>

d'améliorer l'**attractivité** des emplois du secteur de la construction, notamment en travaillant l'image perçue de ces métiers d'avenir et à fort potentiel de croissance.

La réalisation et la communication de **projets pilotes et exemplaires** sont essentielles pour développer les compétences des intervenants, montrer l'exemple et convaincre le secteur, le marché et la population que les bâtiments décarbonisés et durables sont réalisables à des prix abordables et contribuent au confort et au bien-être des usagers. En ce sens, l'Etat et les communes doivent consolider leur rôle précurseur. A noter le projet de quartier exemplaire « Elmen » (commune de Kehlen).

Des **régimes d'aides financières** sont en place pour promouvoir la durabilité de nouvelles constructions, leur chauffage à base d'énergies renouvelables et l'intégration de l'énergie photovoltaïque. Ces régimes sont à **mettre à jour régulièrement** pour tenir compte de l'évolution technologique, réglementaire et politique en la matière, tout en garantissant des **démarches administratives simples**. La construction de logements durables est actuellement¹²⁶ soutenue par le régime PRIME House (par référence au système de certification LENOZ) et certains programmes communaux. Les communes sont encouragées par le biais du fonds climat et énergie¹²⁷ (e.a. pour la mise en place de réseaux de chaleur communaux basés sur les énergies renouvelables et la chaleur fatale), et les entreprises sont soutenues notamment par des aides à l'investissement en faveur de la protection de l'environnement¹²⁸.

Finalement, pour convaincre la population et les entreprises à investir dans des constructions durables et circulaires, il convient d'**améliorer la sensibilisation, l'information et le conseil** en la matière, en collaboration avec le secteur. Par ailleurs, la **promotion du concept de la sobriété énergétique** aussi bien au niveau de la conception d'un bâtiment que lors de son exploitation pourrait contribuer à rendre les bâtiments plus économes.

6.3.2 Rénovations énergétiques profondes et durables

En vue d'un parc immobilier décarbonisé à l'horizon 2050, tous les bâtiments existants actuellement devront être transformés en bâtiments à très haute efficacité énergétique voire à consommation d'énergie quasi nulle¹²⁹, permettant un chauffage et, le cas échéant, un refroidissement exclusivement à base d'énergies renouvelables. Sachant que le taux annuel de rénovation relatif aux bâtiments résidentiels est estimé à quelque 0,4 – 1% depuis 2008 et que le chauffage du parc de logements reste dominé (à environ 90% des unités de logement) par les combustibles fossiles¹³⁰, **le taux de rénovation énergétique et durable doit fortement augmenter**. En parallèle, **la profondeur de la rénovation**¹³¹ **doit progresser nettement**, donnant priorité aux rénovations à haute efficacité énergétique, afin d'exploiter au mieux les potentiels d'économie d'énergie et d'éviter l'effet de verrouillage de rénovations peu ambitieuses. S'il est vrai que la rénovation pose encore d'énormes **défis**, elle offre également de **formidables opportunités** au-delà de la décarbonisation, dont la **réduction permanente des coûts de chauffage**, l'amélioration de la qualité des bâtiments menant à un **meilleur confort et bien-être pour les usagers**, **l'accroissement de la valeur des bâtiments** et les **effets sur l'économie et**

¹²⁶ <https://www.myenergy.lu/fr/particuliers/lois-et-reglements/soutien-financier>

¹²⁷ <https://www.myenergy.lu/fr/communes/soutien-financier/vous-souhaitez-beneficier-d-une-aide-a-l-investissement>

¹²⁸ <https://guichet.public.lu/fr/entreprises/financement-aides/aides-environnement/industrie-services/aide-protoc-environnement.html>

¹²⁹ Amélioration de l'efficacité énergétique de l'enveloppe thermique et des équipements techniques

¹³⁰ Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, 2020 : « Langfristige Renovierungsstrategie Luxemburg », <https://mea.gouvernement.lu/dam-assets/energie/energie-effizienz/lu-ltrs-2020.pdf>

¹³¹ Quantité d'énergie économisée par rapport à l'état du bâtiment avant la rénovation

l'emploi local. Par ailleurs, la rénovation peut rendre les bâtiments **plus sains, plus accessibles et plus résilients** au changement climatique, et les équiper de points de recharge pour véhicules électriques et de stationnements pour vélos, pour ne citer que ces exemples.

Dans le but de soutenir la rénovation du parc de bâtiments résidentiels et non résidentiels, le Luxembourg a établi en 2020 une **stratégie de rénovation à long terme**¹³² couvrant la période jusqu'en 2050. Cette stratégie comprend un aperçu détaillé du parc immobilier¹³³, un inventaire des approches de rénovation rentables et une analyse des **entraves à la rénovation**. Parmi les obstacles sont notamment cités le faible niveau des prix de l'énergie, le manque de capacités du secteur de la construction et encore des déficits d'information (p.ex. par rapport au potentiel d'économie du bâtiment) ou économiques (e.a. des prix immobiliers élevés et en forte croissance). Les prix de l'énergie comptent, en termes absolus, parmi les moins élevés dans l'UE. En relation avec le pouvoir d'achat, le Luxembourg affiche le niveau de prix de l'énergie le plus bas de tous les Etats membres.

Dès 2015, le Luxembourg avait démarré le développement d'une stratégie de rénovation dans le cadre d'un large processus participatif avec le concours de tous les acteurs concernés et aboutissant à des lignes directrices pour le soutien de la rénovation énergétique. La stratégie de rénovation à long terme repose sur ces **lignes directrices** et en poursuit les réflexions :

- **Priorité à la rénovation à haute efficacité énergétique ;**
- **Accessibilité**¹³⁴ **aux mesures de rénovation énergétique ;**
- **Coordination entre la politique énergétique et la protection du patrimoine ;**
- **Intégration des dimensions de la construction durable et de l'économie circulaire.**

Il est en particulier confirmé qu'il importe d'améliorer la rentabilisation des rénovations énergétiques par l'intermédiaire de mesures financières et fiscales et que, par ailleurs, il ne suffit pas de se limiter à l'aspect énergétique d'une rénovation, mais que les aspects de la construction durable et circulaire sont à prendre en compte.

Selon la stratégie de rénovation à long terme, les conditions préalables à la progression visée de la rénovation sont la mise en œuvre d'une **panoplie de mesures et d'outils** et leur parfaite interaction, de sorte que leurs effets se renforcent mutuellement. Les mesures identifiées concernent le **cadre réglementaire ; les instruments de subvention et de financement ; les instruments fiscaux ; la sensibilisation, l'information et le conseil ; la formation ; la recherche, l'innovation et les projets pilotes**. Dans la suite, certaines de ces mesures sont exposées brièvement¹³⁵. Quelques réflexions supplémentaires complètent la stratégie.

Au niveau du cadre réglementaire, une obligation de rénovation n'existe pas à ce jour, mais des **exigences minimales** à respecter dans le cas de modifications et de transformations substantielles de bâtiments sont définies dans la réglementation sur la performance énergétique des bâtiments. Avec la dernière refonte de la réglementation, les exigences sont renforcées à partir de 2021 pour les bâtiments fonctionnels et à partir de 2023 pour les bâtiments résidentiels. Une révision régulière s'impose. En alternative à une obligation, l'introduction de **passesports de rénovation de bâtiments**

¹³² Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, 2020 : « Langfristige Renovierungsstrategie Luxemburg », <https://mea.gouvernement.lu/dam-assets/energie/energie-effizienz/lu-ltrs-2020.pdf>

¹³³ Une analyse complète est présentée pour les bâtiments résidentiels, alors que la stratégie précise qu'il y a urgence d'améliorer la disponibilité des données concernant les bâtiments fonctionnels pour approfondir l'analyse et le développement de mesures à leur sujet.

¹³⁴ Dans le sens de « Finanzierbarkeit »

¹³⁵ Voir la stratégie de rénovation à long terme pour tous les détails : <https://mea.gouvernement.lu/dam-assets/energie/energie-effizienz/lu-ltrs-2020.pdf>

résidentiels (i.e. feuille de route de rénovation progressive et à long terme) est censée permettre une meilleure identification et visualisation des potentiels d'économies et inciter ainsi à la mise en œuvre de mesures individuelles conduisant à des rénovations complètes. Afin de promouvoir la rénovation des bâtiments fonctionnels, une révision du champ d'application et des exigences en matière d'**audit énergétique obligatoire** est à envisager. Dans le but d'accélérer la rénovation profonde de bâtiments fonctionnels, il est prévu d'introduire à partir de 2024 une **obligation de rénovation pour certaines catégories de bâtiments fonctionnels** à mettre en œuvre endéans un espace de temps suffisant (p.ex. 10-15 ans), à l'image de la stratégie néerlandaise. Afin de faciliter la rénovation énergétique d'**immeubles en copropriété**, un projet de loi portant introduction d'un **fonds de travaux obligatoire** dans les copropriétés est en cours de procédure. Le projet de loi précise que ces travaux sont décidés à la majorité des voix de tous les copropriétaires. Il convient par ailleurs de trouver une solution par rapport aux divergences d'intérêts entre propriétaires et locataires dans les bâtiments proposés à la location. Finalement, une **mise en adéquation des règlements communaux sur les bâtisses avec les objectifs climatiques** s'impose.

A défaut d'une obligation de rénovation et en vue de la rentabilisation de la rénovation, des **régimes d'aides financières** sont en place pour promouvoir la rénovation énergétique durable des bâtiments. A côté de l'amélioration de l'enveloppe thermique (préférentiellement par des matériaux et techniques d'isolation écologiques et circulaires), la conversion vers un chauffage à base d'énergies renouvelables et l'intégration de l'énergie photovoltaïque sont soutenues financièrement. Afin d'accélérer la décarbonisation du parc immobilier, il importe de **privilégier les rénovations profondes, complètes et durables** et accélérer en particulier l'abandon du mazout de chauffage. Les régimes sont à **mettre à jour régulièrement** en fonction des résultats et pour tenir compte de l'évolution technologique, réglementaire et politique en la matière, tout en garantissant des **démarches administratives simples**. Dans le domaine du logement, il existe actuellement¹³⁶ le régime PRIME House, des prêts climatiques en cours de révision afin de mettre en place une seule subvention d'intérêt dénommée « subvention d'intérêt pour prêt climatique » (en la rendant accessible à tous les propriétaires concernés), certains programmes communaux, des programmes proposés par des fournisseurs d'énergie dans le cadre du mécanisme d'obligations en matière d'efficacité énergétique ainsi que des incitations fiscales. La rénovation de bâtiments communaux est promue par le biais du fonds climat et énergie¹³⁷, et, dans le cadre du pacte climat 2.0, les communes sont épaulées par des conseillers spécialisés en rénovation. Les entreprises sont supportées notamment par des aides à l'investissement en faveur de la protection de l'environnement¹³⁸. En général, il est important d'**assurer un financement suffisant, accessible et bien ciblé**, aussi par le biais de mécanismes de financement innovants.

Pour garantir que les prix de l'énergie envoient les bons signaux en matière d'efficacité énergétique, la **taxation des combustibles fossiles**, en particulier du mazout et du gaz naturel, doit progressivement et de façon prévisible être revue à la hausse. Un premier pas est franchi avec l'introduction à partir de 2021 d'une taxe CO₂ fixée à 20 euros par tonne de CO₂¹³⁹. L'augmentation progressive de la taxe saura accélérer la rentabilisation de mesures de rénovation.

¹³⁶ <https://www.myenergy.lu/fr/particuliers/lois-et-reglements/soutien-financier>

¹³⁷ <https://www.myenergy.lu/fr/communes/soutien-financier/vous-souhaitez-beneficier-d-une-aide-a-l-investissement>

¹³⁸ <https://guichet.public.lu/fr/entreprises/financement-aides/aides-environnement/industrie-services/aide-protec-environnement.html>

¹³⁹ Voir le chapitre « Politique fiscale : fournir les incitations nécessaires »

La stratégie de rénovation à long terme¹⁴⁰ suggère qu'au Luxembourg, la raison principale de non-paiement de la facture énergétique n'est pas liée au prix de l'énergie, mais à l'augmentation des loyers par rapport au revenu disponible des ménages. Comme la rénovation énergétique d'un logement réduit la facture énergétique, la rénovation peut contribuer à atténuer la précarité. Il convient donc d'utiliser la **rénovation comme levier pour lutter contre la précarité énergétique** et favoriser l'accès à un logement salubre et abordable pour tous les ménages.

Les travaux de rénovation étant des services à forte intensité de main-d'œuvre, ils créent des emplois à l'échelle locale. Or, la stratégie de rénovation à long terme¹⁴¹ constate un manque de capacités appréciable dans le secteur de la construction, qui est d'autant plus élevé si on tient compte de l'accroissement recherché des activités de rénovation. Il en découle l'urgence d'**attirer des capacités supplémentaires**, notamment en stimulant l'entrepreneuriat, en améliorant l'attractivité des emplois du secteur de la construction et aussi par la voie de recyclage professionnel. Pour réaliser les rénovations durables dans la qualité souhaitée, il faut assurer que la main-d'œuvre dispose des qualifications et compétences nécessaires, d'où le besoin en **formations initiales et continues**¹⁴². **Des architectes, ingénieurs, techniciens et artisans qualifiés et expérimentés en nombre suffisant sont un prérequis à des projets de rénovations de haute qualité qui motivent les propriétaires à agir.**

Des **projets pilotes et exemplaires** (notamment rénovation profonde et durable de bâtiments fonctionnels ou de quartiers résidentiels) sont essentiels pour développer les compétences des intervenants et convaincre le secteur, le marché et la population que les rénovations profondes et durables sont réalisables à des prix abordables. L'Etat et les communes doivent consolider leur rôle précurseur. A citer dans ce contexte, la rénovation planifiée de la Cité militaire (à Diekirch). Les promoteurs publics, dont les communes, sont également amenés à **rénover progressivement et de façon exemplaire leur patrimoine locatif et en particulier les logements sociaux.**

La stratégie de rénovation mentionne par ailleurs que le déficit d'information demeure une barrière à la rénovation. Des **actions** additionnelles, intensifiées et intégrant tous les acteurs du secteur sont donc nécessaires **pour améliorer encore la sensibilisation, l'information et le conseil** en matière de rénovation énergétique durable, en combinaison avec des outils innovants tels que les passeports de rénovation. Au-delà de la rénovation, il convient également de renforcer ou lancer des initiatives visant à inciter les usagers de bâtiments résidentiels et fonctionnels à **exploiter le potentiel non négligeable d'économies d'énergies au niveau de l'exploitation du bâtiment** en général **et au niveau comportemental** en particulier.

6.3.3 Quartiers à énergie positive, durables et denses

Regroupant les bâtiments au sein d'un quartier¹⁴³ a souvent le potentiel d'aboutir plus efficacement à des **quartiers décarbonisés voire à énergie positive**. D'abord, l'agrégation de projets de rénovation en de plus grands ensembles permet de profiter d'économies d'échelle et d'accélérer les activités de rénovation. Ensuite, la mise en réseau de sources d'énergies renouvelables ou encore la récupération de chaleur fatale combinées à un stockage d'énergie approprié peut décarboniser les systèmes de chauffage et la fourniture d'électricité et même conduire à un surplus d'énergie électrique.

¹⁴⁰ Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, 2020 : « Langfristige Renovierungsstrategie Luxemburg », <https://mea.gouvernement.lu/dam-assets/energie/energie-effizienz/lu-ltrs-2020.pdf>, p. 124

¹⁴¹ Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, 2020 : « Langfristige Renovierungsstrategie Luxemburg », <https://mea.gouvernement.lu/dam-assets/energie/energie-effizienz/lu-ltrs-2020.pdf>, p. 82-83

¹⁴² Voir les initiatives Build Up Skills et LuxBuild: <https://www.myenergy.lu/fr/experts/luxbuild2020>

¹⁴³ Voir aussi le chapitre « Exploiter la fonction coordinatrice de l'aménagement territorial et urbain »

Le quartier offre également une plateforme idéale pour le **partage de ressources**, notamment sous forme de communautés énergétiques ou de jardins communautaires, et la stimulation de la participation citoyenne. A l'inverse, une approche collaborative impliquant les habitants facilite le **développement durable des quartiers**.

Les promoteurs publics (communes, SNHBM et Fonds du Logement) sont des acteurs importants dans l'**aménagement d'éco-quartiers** diversifiés, regroupant les fonctions essentielles de la vie quotidienne, adaptés à la mobilité active, connectés aux transports publics et favorisant ainsi une qualité de vie élevée. Ces qualités sont mises en place dans les projets phares actuels menés par des promoteurs publics : « Elmen » (commune de Kehlen), « Wunne mat der Wooltz » et « Neischmelz » (commune de Dudelange). Par ailleurs, il importe que les efforts des deux promoteurs publics et des communes soient intensifiés afin de réaliser ou faciliter des **rénovations exemplaires de centres de villages et de quartiers résidentiels existants**. La densification peut être mise en œuvre dans le cadre du réaménagement des localités.

Une **densification du parc immobilier** peut être favorisée au niveau des **plans d'aménagement généraux** communaux en ajustant les coefficients relatifs à la densité de logements et le coefficient d'utilisation du sol à des endroits stratégiques, afin de s'approcher au rapport optimisé, en ligne avec l'aménagement territorial. Cette densification peut être réalisée :

- Au niveau des **plans d'aménagement généraux** ;
- Au niveau des **plans d'aménagement particuliers** (p.ex. adaptation des typologies de logements selon besoins, ...) ; et
- Au niveau des **PAP-QE** (plans d'aménagement particuliers – quartiers existants) et des **règlements des bâtisses** (p.ex. ajustement de la surface utile minimale par logement par rapport aux besoins réels et raisonnable des ménages, ...).

D'autre part, la mise en place d'un **régime d'aides financières** en matière de rénovations d'immeubles et de quartiers existants pourrait **combinaison la rénovation énergétique et la densification** avec la **création de logements intégrés** (« Einliegerwohnung ») au cours d'une rénovation énergétique profonde d'une maison unifamiliale existante.

Afin d'améliorer la résilience au changement climatique, il convient de prendre des mesures adéquates contre les îlots de chaleur lors de la conception de nouveaux quartiers. Le choix des matériaux, l'installation d'une infrastructure verte, la modélisation des courants de vent et sa prise en compte lors de l'agencements des bâtiments peuvent réduire l'accumulation de la chaleur en période de canicule.

6.4 Mobilité

A environ 57% en 2019¹⁴⁴, les émissions totales de GES du Luxembourg sont dominées par le secteur du transport routier. Cette même année, plus de 70% des émissions de ce secteur étaient dus à l'exportation de carburants¹⁴⁵, favorisée par la situation géographique du Luxembourg au croisement des routes de transit de l'Europe de l'Ouest, prix des carburants avantageux par rapport aux pays limitrophes et la part élevée de travailleurs frontaliers. Une **baisse continue et conséquente de la vente de carburants à des non-résidents**, particuliers et principalement professionnels, est donc primordiale afin de conformer les émissions du secteur « transports » à une trajectoire compatible avec les objectifs climatiques. Au niveau national, une **diminution progressive des écarts de prix avec les pays voisins** s'impose en ajustant la taxation des carburants, en particulier à travers la tarification du carbone¹⁴⁶. Vu la dimension transfrontalière et européenne du transport, il s'agit également de renforcer et développer des **solutions régionales et européennes**, notamment en matière des normes de performance des véhicules, de services de recharge – électromobilité, de réseau ferroviaire transfrontalier et européen ou de décarbonisation du transport de fret.

Or, cette situation ne doit pas masquer le fait que **la quantité de carburants vendus à des véhicules immatriculés au Luxembourg n'a cessé d'augmenter jusqu'en 2019**, entraînée par un développement démographique et économique dynamique, et surtout par un parc automobile toujours croissant, caractérisé par des émissions de CO₂ spécifiques élevées par rapport à la moyenne européenne et un ratio élevé de véhicules par habitant.

Pour parvenir à la neutralité climatique d'ici à 2050, le défi consiste donc à inverser cette tendance et à tout mettre en œuvre pour **décarboniser le système de mobilité**. Les efforts à consentir seront très substantiels, mais apporteront également d'importants avantages supplémentaires comme une meilleure qualité de l'air, une réduction de la congestion routière, des nuisances sonores et du nombre d'accidents ou encore une baisse voire la suppression des capacités de stockage pour produits pétroliers, générant ainsi **des bienfaits pour la santé et des améliorations de la qualité de la vie des citoyens**.

Bien qu'il soit impératif que les prix reflètent les coûts réels¹⁴⁷ des différents modes de transport, notamment par le biais d'une politique fiscale appropriée, incluant la taxation des carburants et des véhicules, le développement et la mise en œuvre de **solutions incitant les usagers à modifier leurs habitudes** en termes de mobilité sont primordiaux.

Tout d'abord, la décarbonisation du système de mobilité doit être supportée par une **planification territoriale et urbaine** qui réussit à **réduire les besoins en mobilité** en dépit de la croissance démographique projetée. Un rapprochement judicieux des fonctions de logement, de travail, d'approvisionnement et de loisirs permet aux citoyens de raccourcir leurs déplacements¹⁴⁸. La digitalisation progressive de l'économie donne à un nombre croissant de travailleurs et d'organisations la possibilité de recourir au **télétravail**¹⁴⁹. Il s'agit donc d'étendre ce mode de travail de façon optimale et de profiter ainsi des potentiels de réduction considérables du trafic pendulaire et professionnel. De même, l'établissement d'espaces de travail partagé (« coworking spaces »), notamment dans les zones frontalières, permet de raccourcir les trajets des travailleurs.

¹⁴⁴ Environ 67% des émissions totales de GES hors ETS

¹⁴⁵ Vendus à des véhicules immatriculés à l'étranger.

¹⁴⁶ Voir le chapitre « Politique fiscale : fournir les incitations nécessaires »

¹⁴⁷ Par l'internalisation des coûts liés à l'environnement, la santé, etc.

¹⁴⁸ Voir le chapitre « Exploiter la fonction coordinatrice de l'aménagement territorial et urbain »

¹⁴⁹ Voir le chapitre « Mobiliser la recherche et favoriser l'innovation et la digitalisation »

Afin d'éliminer les émissions de GES résultant des besoins en mobilité, il faut à la fois **accroître les parts modales de la mobilité active et des transports en commun** par une planification de la mobilité appropriée et **accélérer le déploiement de véhicules à zéro émissions**.

6.4.1 Planification de la mobilité favorisant les transports publics et la mobilité active

D'après l'enquête Luxmobil de 2017, 69% des trajets ont été faits en voiture particulière, 17% en transport en commun, 12% en marche à pied et 2% en vélo. Ces données confirment qu'aussi bien dans une perspective de mobilité fluide que de mobilité décarbonisée, la planification de la mobilité doit prioritairement poursuivre l'objectif d'augmenter les parts modales de la mobilité active et des transports en commun au détriment de la part modale de la voiture, tout en améliorant la multimodalité¹⁵⁰ du réseau de mobilité.

Sur base de la stratégie pour une mobilité durable Modu 2.0¹⁵¹, un **plan national de mobilité** pour 2035 est en cours d'élaboration et visera à **mettre en place les mesures et les infrastructures requises pour une mobilité durable dans toutes les régions du pays, en prenant en compte la mobilité transfrontalière**. Ce plan sera actualisé à un rythme quinquennal.

Afin de convaincre un nombre croissant de gens à utiliser les transports publics, prendre le vélo ou marcher à pied, il faut continuer à améliorer l'attractivité de ces modes de transport/locomotion par rapport à la voiture en investissant préférentiellement dans les infrastructures afférentes. Concernant la mobilité active, par ailleurs très bénéfique à la santé humaine, cela signifie en particulier **d'aménager des espaces sûrs et conviviaux pour les piétons et les cyclistes, notamment par la construction de pistes cyclables dédiées et adaptées aux besoins de la mobilité quotidienne** et des infrastructures connexes comme les parkings à vélos sécurisés. Ainsi, le Gouvernement projette de plus que doubler la longueur du réseau national des pistes cyclables d'ici quelques années, en desservant les points d'intérêts majeurs tels que les gares ferroviaires ou des pôles générateurs d'emplois, de faire les raccordements de ce réseau vers les réseaux communaux et aussi de supprimer les points dangereux. En parallèle, les réseaux communaux doivent être étendus très sensiblement et le vélo doit être promu plus activement comme solution pour la mobilité quotidienne.

L'amélioration de l'attractivité des transports en commun passe essentiellement par des temps de trajet compétitifs et la ponctualité, la qualité du service et le confort des usagers, dont la communication des informations à temps réel et des arrêts/stations et pôles d'échanges accueillants, **ainsi que l'augmentation de la capacité et l'extension multimodale du réseau de mobilité**. A relever que, depuis le 1^{er} mars 2020, les transports publics (train, tram, bus) sont gratuits sur tout le territoire du Luxembourg.

De vastes programmes d'investissement dans le transport ferroviaire, dépassant les 4,5 milliards d'euros et comptant en termes relatifs parmi les plus ambitieux en Europe, sont en cours d'exécution. 4 milliards d'euros engagés pour la période de 2013 à 2025 sont investis dans l'extension et la modernisation des infrastructures (nouvelles lignes, voies supplémentaires, quais additionnels, etc.) et l'achat de matériel roulant, augmentant ainsi la capacité du réseau ferroviaire. Ce programme contribue également au financement de projets d'infrastructures ou d'exploitation sur les territoires limitrophes pour améliorer la mobilité transfrontalière en faveur des nombreux travailleurs frontaliers. Par ailleurs, une première ligne de tram reliant les centres les plus importants de la Ville de Luxembourg est en construction. Après la mise en service d'un premier tronçon de ligne, la partie

¹⁵⁰ La multimodalité est la combinaison de plusieurs modes de transport pour un même déplacement.

¹⁵¹ Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2018: Modu 2.0 – Stratégie pour une mobilité durable, <https://transports.public.lu/fr/contexte/strategie/modu2.html/>

centrale complète a suivi fin 2020, tandis que les extensions sont prévues pour 2023/2024. En ce qui concerne le réseau de bus RGTR¹⁵² desservant toutes les communes du pays et reliant des localités des 3 pays voisins avec des centres urbains luxembourgeois, une réorganisation complète est progressivement mise en place jusqu'en 2021 sur base d'une étroite collaboration avec les communes et les citoyens. A noter que les contrats de concession du RGTR contiennent des incitations et exigences au niveau de l'exploitation (maîtrise et optimisation des consommations ou formation à l'éco-conduite) et du matériel roulant. Suite à des retours positifs avec des autobus électriques¹⁵³, l'accord de coalition prévoit l'objectif d'aboutir à zéro émission sur le réseau RGTR d'ici 2030¹⁵⁴. Dans ce contexte, il y a lieu de relever que le réseau ferroviaire est quasi intégralement électrifié et que les opérateurs s'approvisionnent exclusivement en électricité issue de sources renouvelables.

S'appuyant sur ces accomplissements, les efforts d'un développement multimodal, quantitatif et qualitatif du réseau de mobilité doivent être poursuivis voire intensifiés à moyen et long terme dans le cadre du plan national de mobilité précité. A côté d'une optimisation continue du réseau ferroviaire, des extensions supplémentaires du réseau de tram dans la Ville de Luxembourg et au-delà (par exemple tram express entre Luxembourg-Ville et Esch-sur-Alzette), un perfectionnement au niveau de l'organisation et des infrastructures du réseau de bus ainsi que la facilitation accrue de l'échange intermodal sont à viser. Une coopération transfrontalière/européenne amplifiée est par ailleurs nécessaire pour **réaliser un réseau transeuropéen qui permettrait de faire du train à grande vitesse une véritable solution de substitution de la voiture ou de l'avion** pour les déplacements en Europe, avec une connexion appropriée du Luxembourg à ce réseau.

La **mobilité multimodale**, conjointement avec les **systèmes de gestion de la mobilité intelligents**, jouent un rôle de plus en plus important pour progresser vers une mobilité décarbonisée. Rendue possible par la numérisation, une gestion intelligente de la mobilité de plus en plus connectée et automatisée dans tous les modes de transport sait rendre la mobilité plus fluide et plus propre. Il importe donc de soutenir la **digitalisation de la mobilité** et de créer un cadre propice pour le développement et la mise en œuvre de **services de mobilité innovants** (« mobility-as-a-service »), comme des applications digitales (notamment une plateforme digitale regroupant tous les modes/services de transport avec des informations en temps réel), des services de partage de voitures (électriques) et vélos ou encore le covoiturage¹⁵⁵.

6.4.2 Déploiement accéléré de véhicules à zéro émissions

La décarbonisation du système de mobilité passe également par des véhicules à faibles émissions et elle est finalement tributaire d'un déploiement à grande échelle voire complet de véhicules à émissions nulles. Dans cette optique, le **cadre juridique UE fixant les normes de performance en matière d'émissions de CO₂** pour les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers ainsi que pour les poids lourds doit être renforcé davantage dans le but de définir une trajectoire claire vers un transport routier à zéro émissions. Evidemment, les efforts en matière de **recherche, développement et innovation technologique** doivent progresser au niveau européen et global de sorte à rendre

¹⁵² Régime Général des Transports Routiers

¹⁵³ En septembre 2020, presque 10% de la flotte du RGTR réellement en service tous les jours sont des bus électriques. (Source : Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2020)

¹⁵⁴ Accord de coalition 2018-2023, p. 40: « Les projets pilote de lignes de bus électriques seront poursuivis avec comme objectif d'aboutir à zéro émission sur le réseau des bus régionaux du Régime général des transports routiers (RGTR) en 2030 ».

¹⁵⁵ Dans le cadre de l'enquête Luxmobil de 2017, il a été constaté que l'occupation des voitures individuelles est d'environ 1,2 personnes par voiture pour les déplacements domicile-travail. Augmenter ce taux d'occupation par le biais du covoiturage aiderait à réduire le nombre de voitures sur les routes.

possible cette transition. En outre, une coopération européenne est nécessaire pour tirer parti du **potentiel d'optimisation offert par la connectivité et la conduite autonome des véhicules** en mettant en place le cadre infrastructurel et légal requis.

Tout en reconnaissant qu'au vu des connaissances actuelles et des technologies disponibles l'électromobilité alimentée par les seules énergies renouvelables n'est pas forcément la solution pour tous les types de véhicules, le Luxembourg poursuit une feuille de route ambitieuse qui table sur une **électrification de près de la moitié du parc automobile d'ici 2030**. En effet, l'objectif retenu dans le PNEC correspond à une part de 49% de véhicules électriques (tout électrique et hybride rechargeable) du parc automobile en 2030¹⁵⁶. La diffusion des véhicules électriques au Luxembourg dépend bien entendu de l'évolution plus ou moins rapide du marché automobile international, mais aussi de mesures nationales de promotion et de mise en place de l'infrastructure de recharge adéquate. **La mission consiste à parvenir une décarbonisation complète du parc automobile national à l'horizon 2050.**

Le Luxembourg a opté pour l'aménagement d'une **infrastructure nationale commune de bornes de charge publiques pour véhicules électriques**¹⁵⁷. La hausse escomptée de ces véhicules doit être continuellement accompagnée d'un réseau de plus en plus dense de points de charge publics, car le succès de l'électromobilité dépend aussi de l'aisance de la recharge d'un véhicule électrique. Les informations sur l'emplacement d'une borne, la disponibilité, la puissance de charge et le prix de recharge doivent être mises à disposition des utilisateurs et le paiement doit être aisé. La mise en place d'une **infrastructure à charge rapide** est de surcroît cruciale pour permettre les trajets de longue distance. Une collaboration transfrontalière dans un cadre européen est essentielle pour garantir des **services de recharge transfrontières interconnectés et fluides**. A cet égard, Luxembourg soutient l'initiative du Benelux pour un espace unique de l'électromobilité visant à faciliter, pour les conducteurs de véhicules électriques, les recharges et leur paiement à l'étranger. **Comme il est estimé que 95% des opérations de recharge sont effectuées sur des points de charge privés** (à domicile et/ou au lieu de travail), il importe en outre de **veiller à ce que les bâtiments résidentiels et fonctionnels soient en temps opportun aptes à assurer la recharge de véhicules électriques**. Voilà pourquoi, conformément à la législation, les emplacements de stationnement doivent être conçus et équipés de manière à pouvoir accueillir ultérieurement un dispositif de charge pour véhicules électriques dans le cas de bâtiments neufs et dans le cas de réaménagements d'infrastructures connexes à des bâtiments existants. Pour certains immeubles à appartements l'installation d'un système collectif de gestion intelligente de charge est requis. Et des exigences minimales sont introduites concernant l'installation de points de charge pour certains bâtiments fonctionnels ayant plus de 10 emplacements de stationnement, combiné avec l'exigence d'installer un système de gestion intelligente de charge pour certains bâtiments ayant plus de 20 emplacements. A plus long terme, la mise en place de **bornes de charge bidirectionnelles** pourra valoriser les batteries des véhicules électriques comme stockage intégré aux réseaux électriques intelligents. En vue de la compatibilité avec l'objectif primaire de la décarbonisation du système de mobilité, **il est impératif de recourir uniquement à de l'électricité provenant de sources d'énergies renouvelables pour tout type de recharge.**

¹⁵⁶ Fin août 2020, les véhicules électriques représentaient une part de 1,58% du parc automobile, avec une augmentation progressive des nouvelles immatriculations observée depuis 3 ans (environ 7,5% en 2020 jusqu'au mois d'août). (Source : Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2020)

¹⁵⁷ Dans une première phase en cours d'achèvement, 800 bornes de charge publiques sont installées, offrant 1.600 points de charge, parmi lesquels figurent 90 bornes de charge ultra rapides. Presque 1.000 points de charge publics existaient fin 2019. (Source : Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, 2020)

Dans le but de promouvoir l'électromobilité, le Luxembourg est amené par une approche équilibrée à inciter à l'achat ou à la détention de véhicules électriques en remplacement ou au détriment de véhicules thermiques par le biais de **primes d'achat appropriées**¹⁵⁸, d'une **taxation des véhicules favorable**¹⁵⁹ et encore d'**aides financières pour bornes de charge privées**¹⁶⁰. Dans le souci de maintenir les frais de ravitaillement inférieurs à ceux des véhicules thermiques¹⁶¹, il est important d'assurer des **prix de recharge avantageux**. Des mesures incitatives complémentaires à considérer consistent dans le droit de stationner gratuitement sur des emplacements publics payants ou de bénéficier de bornes de charges publiques gratuites. **Les pouvoirs publics doivent montrer l'exemple** en électrifiant leurs propres flottes de véhicules ou en imposant des véhicules électriques par la voie de contrats de service public. Depuis 2018, l'acquisition de voitures électriques est prescrite pour les voitures de service ou de direction de l'Etat, l'achat de véhicules thermiques étant seulement autorisé dans des cas très exceptionnels sur base d'une justification détaillée¹⁶². En parallèle, les **flottes privées de voitures et de véhicules utilitaires légers**, utilisées entre autres par les services de courrier, de distribution de marchandises ou de soins à domiciles, se prêtent parfaitement à une promotion ciblée.

Le déploiement de l'électromobilité dépend aussi du **développement technologique des batteries**. Des efforts de recherche et d'innovation intensifiés sont nécessaires au niveau global pour améliorer la performance et la durabilité de cette composante clé des véhicules électriques. En l'état actuel, la technologie n'est pas au point pour propulser tous les types de véhicules, en particulier les poids lourds. Vu que des incertitudes subsistent quant au développement ultérieur, il faut continuer à prendre en compte des alternatives complémentaires. Le Gouvernement poursuit une **politique technologiquement neutre en matière de carburants alternatifs** pour autant que la technologie puisse contribuer à rendre le transport routier plus propre en termes d'émissions de GES et de polluants atmosphériques. Notamment pour les véhicules utilitaires lourds, non seulement les biocarburants ou le biogaz mais également l'hydrogène renouvelable et les carburants synthétiques renouvelables peuvent jouer un rôle, à condition que la totalité de leur chaîne de production soit décarbonisée¹⁶³.

Bien que des avancées significatives en matière de production de carburants décarbonisés et de véhicules à pile à combustible ou à moteur à hydrogène soient requis, **l'hydrogène**¹⁶⁴ **et/ou les carburants synthétiques produits par conversion d'électricité renouvelable** pourraient devenir compétitifs sur le moyen à long terme et offrir des avantages en termes d'autonomie. A court terme, l'installation d'au moins une station d'approvisionnement en hydrogène est prévue au Luxembourg. Si l'hydrogène renouvelable était confirmé comme solution viable, une infrastructure européenne de ravitaillement devrait voir le jour, surtout le long des autoroutes. Les carburants synthétiques ont le mérite de pouvoir être utilisés dans les moteurs conventionnels et distribués à travers le système existant de ravitaillement en carburant.

¹⁵⁸ www.cleverfueren.lu

¹⁵⁹ Voir le chapitre « Politique fiscale : fournir les incitations nécessaires »

¹⁶⁰ www.cleverlueden.lu

¹⁶¹ A noter que les véhicules électriques ont en général des coûts d'entretien inférieurs aux véhicules thermiques.

¹⁶² La directive (UE) 2019/1161 relative à la promotion de véhicules de transport routier propres et économes en énergie fixe pour le Luxembourg un taux de 38,5% (à partir août 2021) de voitures et véhicules utilitaires légers propres dans les appels d'offres publics.

¹⁶³ Voir aussi le chapitre « Système énergétique – Au sujet du rôle potentiel de l'hydrogène »

¹⁶⁴ Comme les véhicules électriques, les voitures et camionnettes à pile à combustible propulsées par de l'hydrogène renouvelable sont éligibles pour la prime d'achat et peuvent profiter d'une taxation avantageuse des véhicules.

Le taux de **biocarburants** mélangés aux carburants fossiles a continuellement augmenté au Luxembourg depuis une dizaine d'années pour arriver à 7,7% en 2020. En vue de maîtriser les impacts environnementaux et réduire le risque d'induire des changements d'affectation des sols par la production des biocarburants, des critères de durabilité et de réduction des émissions de GES ont été progressivement instaurés. Ainsi, la part obligatoire de biocarburants de 2^{ème} génération issus de déchets, résidus, matières cellulosiques d'origine non alimentaire et matières ligno-cellulosiques devra progressivement croître. Simultanément la part des biocarburants agro-alimentaires diminuera¹⁶⁵. A moins que de nouvelles matières premières telles que les algues cultivées à terre ne deviennent compétitives pour la production de biocarburants, il faudra s'attendre à un **potentiel de biocarburants avancés et durables limité par la disponibilité des matières premières**. Le PNEC compte avec un taux de mélange de biocarburants de 10% en 2030. La part de marché du **biogaz** comme carburant reste marginale au Luxembourg¹⁶⁶.

Comme à l'heure actuelle un certain nombre d'incertitudes technologiques persistent, le Luxembourg gardera une ouverture technologique et suivra de près l'évolution en matière de véhicules à zéro émissions.

6.4.3 Décarboniser le transport de marchandises et le secteur logistique

La croissance économique et aussi l'expansion importante du commerce électronique soutiennent une demande grandissante en transport de fret. Des actions fortes et concertées seront donc inéluctables pour décarboniser le transport et la distribution de marchandises. Notamment l'avis sectoriel du Conseil économique et social¹⁶⁷ recommande dans ce contexte que « si le Luxembourg veut atteindre d'ici 2030 une logistique urbaine « CO₂ free » [i.e. décarbonisée], il est essentiel de prendre des mesures plus contraignantes »¹⁶⁸. A côté d'un secteur logistique couvrant les besoins nationaux, le Luxembourg profite de son emplacement central en Europe de l'Ouest pour entretenir un centre logistique qui sert des marchés internationaux et qu'il promet dans le cadre de sa politique de diversification économique. Dans le but de réduire l'empreinte carbone du transport de fret, les principaux champs d'action à poursuivre et à concrétiser dans une **stratégie de décarbonisation à établir en coopération avec le secteur**¹⁶⁹ incluent :

- Concernant la distribution de marchandises et la logistique du dernier kilomètre (« last mile ») : promouvoir les véhicules propres, notamment l'**électrification des flottes privées de véhicules utilitaires légers** ou les **vélos cargo** ; mise en place de **zones à basses/zéro émissions** ; massification de marchandises dans **un ou plusieurs centres de distribution** pour permettre une distribution fine capable d'augmenter le taux de remplissage des véhicules et réduire les mouvements ; etc. ;
- Concernant le transport de marchandises à moyenne ou longue distance, notamment l'import et l'export de marchandises : favoriser le **report modal** vers les modes de transport à faible

¹⁶⁵ La part de biocarburants de 2^{ème} génération s'élève à 50% de l'ensemble des biocarburants mis à la consommation au Luxembourg en 2020. La limite d'utilisation de biocarburants agro-alimentaires est actuellement plafonnée à 5%.

¹⁶⁶ En 2019, un opérateur de bus approvisionnait une flotte de 55 autobus exclusivement en biogaz.

¹⁶⁷ Conseil économique et social, 2019 : Le transport de marchandises et le secteur de la logistique au Luxembourg – perspectives économiques sectorielles à moyen et long termes dans une optique de durabilité (p. 57)

¹⁶⁸ Dans le cadre du projet « Last Mile Delivery » lancé en 2014 il fut constaté que la logistique du dernier kilomètre (« last mile ») était responsable pour 20% du trafic dans les zones urbaines de Luxembourg-Ville et d'Esch-sur-Alzette, alors que ces dernières années on a assisté à une croissance soutenue du commerce électronique.

¹⁶⁹ Notamment le Cluster for Logistics: <https://www.clusterforlogistics.lu/>

intensité de carbone tels que le **rail** et les **voies navigables** et continuer à renforcer le **transport de fret multimodal**, en valorisant et développant le terminal multimodal de Bettembourg/Dudelange et le site tri-modal du port de Mertert, et dans un contexte européen qui devra faciliter une gestion plus efficace et une augmentation de la capacité des voies ferroviaires et fluviales ; en fonction de l'évolution technologique des véhicules utilitaires lourds, déployer l'**infrastructure de ravitaillement** nécessaire pour les carburants alternatifs (électricité, hydrogène, ...) ; etc. ;

- Tirer parti de la numérisation pour amplifier l'utilisation de **systèmes de gestion intelligente de la chaîne logistique** ;
- Promouvoir et étoffer des programmes pour encourager les entreprises et le secteur de la logistique à réduire leur empreinte carbone, par exemple le **programme « Lean & Green »**¹⁷⁰ ;
- Adapter les **redevances et taxes** pour tenir compte des coûts d'infrastructure et des externalités négatives, notamment en planifiant avec au moins un des pays voisins ou au sein du Benelux l'introduction d'un système basé sur le kilométrage (en remplacement du système Eurovignette).

6.4.4 Secteurs aérien et maritime

Au niveau européen et global, les transports aérien et maritime sont responsables pour des émissions croissantes de GES, quoique la pandémie COVID-19 a récemment provoqué un ralentissement abrupt des activités. Vu le caractère international de ces secteurs, des **solutions** doivent être élaborées à **l'échelle européenne voire mondiale**. Afin d'**inclure les externalités négatives dans les prix** de ces modes de transport et de **forcer l'innovation technologique** pour réduire significativement l'empreinte carbone et environnementale (notamment par le développement de l'hydrogène renouvelable ou de carburants synthétiques renouvelables), il importe d'assurer une **tarification adéquate des émissions**. Plusieurs mesures peuvent contribuer à cet effet : renforcer le segment de l'aviation intra-européenne dans le système d'échange de quotas d'émission de GES de l'UE, mettre en place un système d'échange de quotas d'émission de GES pour l'aviation internationale à travers le régime CORSIA (« Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation ») dans le cadre de l'Organisation de l'aviation civile internationale et réviser la taxation des navires battant pavillon luxembourgeois (taxe d'immatriculation) en vertu du concept de « Green Shipping », etc.

¹⁷⁰ <https://transports.public.lu/fr/fret/transports-multimodaux/green-logistics/lean-and-green.html>

6.5 Economie

En 2019, l'industrie manufacturière était responsable pour un peu plus de 17% des émissions totales de GES du Luxembourg qui résultaient d'une part de la consommation énergétique industrielle et d'autre part des procédés industriels. **Près de 80% de ces émissions** étaient **soumises au système d'échange de quotas d'émission de GES de l'UE** et étaient produites par une vingtaine d'installations industrielles. Sur la période de 2005 à 2019, les émissions provenant de l'industrie ont diminué de 12% quoiqu'une certaine stagnation est observée pendant les dernières années. A noter qu'à peu près 40% des émissions des bâtiments (responsables en 2019 de 15,3% des émissions totales) étaient dus aux bâtiments tertiaires qui ont néanmoins connu une tendance à la hausse de leurs émissions à cause de la forte activité de construction pendant les dernières années¹⁷¹.

Atteindre la neutralité climatique implique une **transformation profonde** de l'économie en général et de l'industrie en particulier. La transition est lancée au niveau mondial et elle comporte des **défis** considérables, mais elle offre simultanément des **opportunités** uniques en termes d'innovation, de commerce, de création d'emplois et de compétitivité. Afin d'être à la hauteur de cette compétition globale, il importe de saisir l'occasion de **concevoir activement la transformation au niveau national**, au lieu de la subir plus tard. Seul un développement économique et industriel compatible avec la dynamique de la transition en cours saura préserver voire améliorer la compétitivité du pays à long terme. Il paraît dès lors indiqué d'**exploiter la transition** de façon intelligente **pour déployer une stratégie de développement économique¹⁷² et industriel** susceptible de faire progresser la modernisation du tissu industriel, de promouvoir l'innovation et la diversification dans les chaînes de valeur fournissant des solutions zéro/bas carbone, d'améliorer la résilience de l'économie et d'éviter le mieux possible des actifs échoués, tout en générant de la valeur ajoutée et des emplois de haute qualité. En ce sens, il est essentiel de **soutenir les entreprises**, afin de leur donner les moyens nécessaires **pour à la fois diminuer leur propre empreinte carbone et contribuer à la décarbonisation du pays** par le biais de leurs produits et services.

La décarbonisation de l'industrie nécessite une transformation fondamentale des filières de production, pour laquelle l'amélioration de **l'efficacité énergétique continue à jouer un rôle important, mais ne suffit pas**. En effet, un important besoin d'innovation persiste pour réussir la transition dans l'industrie. Renforcer l'économie circulaire et l'efficacité des ressources revêt un caractère déterminant dans la voie à suivre pour identifier et mettre en œuvre des solutions zéro/bas carbone. Il s'agit de **transformer l'économie qui reste largement « linéaire »** (donc tributaire d'un flux de nouveaux matériaux extraits, échangés, transformés en biens et finalement éliminés sous la forme de déchets ou d'émissions) **en une économie circulaire** et, en même temps, de **créer des modèles d'entreprise innovants** favorisant l'utilisation rationnelle des ressources.

Par ailleurs, l'évolution des divers secteurs industriels est fortement impactée par les tendances et dynamiques de décarbonisation des marchés de la construction, de la mobilité, de l'énergie, etc. Tirer pleinement parti de la transition pour innover et **adapter agilement les produits et services proposés, développer de nouveaux créneaux en matière d'éco-innovation et d'écotechnologies** et saisir les opportunités économiques liées implique un **soutien public fort**, un **engagement entrepreneurial résolu** et la **mobilisation de l'ensemble du système d'innovation¹⁷³**.

In fine, il est primordial d'assurer un **cadre propice à l'innovation et à l'entrepreneuriat** spécifiquement à l'égard des solutions zéro carbone. Parallèlement, il est tout aussi crucial de

¹⁷¹ Voir le chapitre « Bâtiments »

¹⁷² Voir le chapitre « Finances durables » pour le secteur financier

¹⁷³ Voir aussi le chapitre « Mobiliser la recherche et favoriser l'innovation et la digitalisation »

renforcer, de compléter ou de créer les **conditions cadres, y compris des incitatifs financiers, favorisant l'implémentation des technologies de décarbonisation** dans l'industrie, afin de faciliter les efforts des acteurs industriels. Outre l'incontournable économie circulaire, les technologies et applications suivantes comptent, dans la perspective actuelle, parmi les solutions les plus prometteuses :

- Dans le respect du **principe de primauté de l'efficacité énergétique** (par rapport à l'approvisionnement en énergie), il convient d'exploiter le potentiel des économies d'énergie de façon optimale. En particulier, la **numérisation** et l'**automatisation** sont considérées comme technologies habilitantes pour améliorer l'efficacité des processus de production (Industrie 4.0), à condition de maîtriser la consommation en ressources de l'infrastructure numérique elle-même.
- Des capacités de décarbonisation importantes reposent sur l'**électrification** directe ou indirecte **de procédés industriels**, sous réserve d'un approvisionnement suffisant en électricité renouvelable. L'électrification indirecte (pour des procédés difficiles à électrifier, notamment certains procédés industriels nécessitant des températures très élevées ou une source réductrice) passe par la substitution des gaz de procédés par de l'**hydrogène** produit sur base d'électricité renouvelable¹⁷⁴.
- Pour minimiser son empreinte carbone, l'industrie aura besoin d'un **approvisionnement suffisant en énergie renouvelable à des prix compétitifs**. Dans les processus thermiques difficiles à électrifier les combustibles fossiles peuvent, dans la mesure du possible, être remplacés par la **biomasse durable ou l'hydrogène renouvelable**.
- A défaut de technologies adéquates, certaines émissions inhérentes aux procédés de production industrielle seront difficiles à éliminer. Dans ces cas, **le captage et l'utilisation du carbone**¹⁷⁵ peuvent éventuellement constituer une dernière option vers la neutralité climatique.

A l'état actuel de la technologie, les émissions de GES provenant de certains procédés industriels ne peuvent être évitées ou restent difficiles à éviter. Afin de pousser la décarbonisation le plus loin possible, des **projets de recherche, développement et démonstration industriels** doivent être supportés **en coopération avec des partenaires européens** dans les domaines prioritaires à définir, notamment dans les secteurs à forte intensité carbone, tels que la sidérurgie, l'industrie du ciment et l'industrie du verre, indispensables à l'économie.

Evidemment, la transition vers une économie et une industrie à zéro émissions nettes de GES doit aussi être accompagnée par les **investissements appropriés dans les infrastructures habilitantes**, à savoir les réseaux électriques intelligents ou encore, le cas échéant, l'infrastructure requise pour l'hydrogène renouvelable. Afin de garantir un approvisionnement en énergie renouvelable suffisant, il faut par ailleurs dynamiser davantage l'expansion de l'énergie solaire et éolienne ainsi que des capacités de stockage et intensifier la coopération européenne en la matière¹⁷⁶. Somme toute et à l'image de la mobilité, la décarbonisation de l'industrie requiert le déploiement d'un **vaste programme d'investissement pour financer les infrastructures habilitantes, inciter à l'utilisation des solutions zéro/bas carbone et promouvoir la recherche, l'innovation et l'entrepreneuriat**. Vu les

¹⁷⁴ Voir aussi le chapitre « Système énergétique – Au sujet du rôle potentiel de l'hydrogène renouvelable »

¹⁷⁵ Le captage et l'utilisation de carbone dans l'industrie font référence aux procédés dans lesquels le CO₂ est capté puis converti en un nouveau produit. Les combustibles de synthèse sont un exemple dans lequel le CO₂ est libéré une deuxième fois lors de leur combustion. D'autres produits existent, comme des matières plastiques et des matériaux de construction, qui retiennent le CO₂ pour de longues périodes.

¹⁷⁶ Voir le chapitre « Système énergétique »

cycles d'investissement et de développement relativement longs de l'industrie, l'accélération de la transformation doit démarrer dès à présent. Malgré la situation économique difficile résultant de la pandémie COVID-19, il convient de **mettre au cœur des programmes de relance économique les investissements aptes à accélérer la transition** vers la neutralité climatique.

Dans le but d'identifier et de concrétiser les pistes de décarbonisation les plus prometteuses, les ministères compétents font réaliser une **stratégie de décarbonisation des procédés industriels** en étroite collaboration avec les parties prenantes.

Un **éventail de mesures et d'instruments** favorisant en particulier l'efficacité énergétique des entreprises industrielles et autres, dont les PME, est **en place** pour guider et soutenir les acteurs concernés dans leurs efforts de décarbonisation, parmi lesquels :

- Le **mécanisme d'obligations en matière d'efficacité énergétique**¹⁷⁷, introduit en 2015 et renforcé pour une deuxième période de 2021 à 2030, impose aux fournisseurs d'électricité et de gaz naturel d'inciter les consommateurs de réduire leurs consommations d'énergie par la réalisation de mesures d'efficacité énergétique. Les mesures éligibles sont typiquement des mesures en relation avec la rénovation énergétique de bâtiments et des projets d'efficacité énergétique dans les entreprises, où notamment l'industrie offre un potentiel intéressant d'économies d'énergie. Le contact direct entre les entreprises, notamment les PME, et les fournisseurs d'énergie permet un conseil et une assistance adaptés aux besoins spécifiques et facilite de cette manière l'identification et la réalisation de projets.
- Par l'**Accord volontaire relatif à l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie luxembourgeoise**¹⁷⁸, les entreprises adhérentes (principalement des entreprises industrielles, grandes consommatrices d'énergie) s'engagent à réaliser des économies d'énergie, à mettre en place un management énergétique performant et à suivre des formations en efficacité énergétique, en contrepartie d'avantages sur les taux de la taxation de l'énergie, sous réserve de l'atteinte des objectifs d'efficacité énergétique fixés. Un premier accord fut conclu en 1996. Une nouvelle période avec des dispositions approfondies et renforcées commence en 2021.
- Depuis 2016, toutes les entreprises, à l'exception des PME, sont tenues de réaliser des **audits énergétiques** de manière périodique tous les quatre ans¹⁷⁹. L'audit énergétique peut être réalisé dans le cadre d'un **système de management de l'énergie** (p.ex. ISO 50001) **ou de l'environnement** (p.ex. ISO 14001), à condition de répondre aux critères minimaux fixés. Afin d'accélérer la mise en œuvre des mesures identifiées, une plateforme de transparence contenant les résultats des audits énergétiques et facilitant ainsi le contact entre acteurs est prévue.
- En vertu du cadre UE, les entreprises qui investissent dans des écotecnologies, des procédés respectueux de l'environnement ou encore l'innovation peuvent bénéficier d'**aides** spécifiques¹⁸⁰. Sont concernés notamment les investissements en faveur de mesures d'efficacité énergétique, de la production d'énergie à partir de sources renouvelables, de réseaux de chaleur et de froid efficaces, du recyclage et du réemploi des déchets et des infrastructures énergétiques. Une **révision des lignes directrices UE concernant les aides**

¹⁷⁷ <https://www.myenergy.lu/fr/particuliers/lois-et-reglements/mecanisme-d-obligations>; voir aussi le chapitre « Système énergétique – Efficacité énergétique »

¹⁷⁸ <https://www.myenergy.lu/fr/entreprises/grandes-entreprises-et-industries/accord-volontaire-fedil>

¹⁷⁹ <https://www.myenergy.lu/fr/entreprises/grandes-entreprises-et-industries/les-audits-energetiques>

¹⁸⁰ <https://guichet.public.lu/fr/entreprises/financement-aides/aides-environnement/industrie-services/aide-protec-environnement.html>

étatiques s'impose, de sorte à mieux pouvoir supporter les mesures de décarbonisation des entreprises.

- A noter aussi deux outils développés au niveau européen visant l'amélioration de l'empreinte écologique de façon générale, à savoir le système de management environnemental **EMAS**¹⁸¹ (Environmental Management and Audit Scheme) et le **label écologique européen**¹⁸².

Les expériences du mécanisme d'obligations illustrent clairement l'utilité de valoriser les synergies possibles entre les divers instruments, d'où l'importance de **combiner efficacement les instruments** disponibles pour amplifier la baisse des émissions de GES des entreprises. Parallèlement au renforcement des instruments, il faut **optimiser leur complémentarité et additionnalité**, afin de les rendre plus facilement accessibles aux entreprises et plus efficaces quant à leurs effets incitatifs respectifs.

Sur base d'évaluations régulières et d'analyses approfondies, il convient en outre de **mettre en place un dispositif complet et équilibré d'instruments**, soit en révisant les outils existants, soit en complétant par de nouveaux outils. En ce sens, deux innovations potentiellement utiles peuvent être mentionnées :

- L'expérience a montré qu'il existe un écart important entre les possibilités d'économies d'énergie révélées par les audits et celles implémentées par l'industrie ou les propriétaires de grands immeubles tertiaires. De nombreux investissements potentiels, jugés utiles dans les audits, sont bloqués à cause d'objectifs financiers stricts des entreprises. Afin de combler ce déficit, le Gouvernement examine la création d'un **instrument de préfinancement et de gestion des risques (« de-risking »)** pour faciliter l'exécution des projets de décarbonisation de l'industrie et des PME en étroite coopération avec la Banque européenne d'investissement¹⁸³.
- Partant des bonnes expériences avec le pacte climat avec les communes et tenant compte d'instruments similaires dédiés aux entreprises dans d'autres pays européens, l'accord de coalition 2018-2023 prévoit la création d'un **instrument d'accompagnement et de soutien intégré pour les PME**¹⁸⁴. Un tel instrument pourrait fournir le support nécessaire pour orienter les PME, dont l'artisanat, vers l'efficacité énergétique, la circularité et la durabilité, notamment par la création de réseaux d'entreprises et l'exploitation du potentiel de synergies au sein des zones d'activités économiques.

6.5.1 Economie circulaire

Dans une économie circulaire (EC), la production et l'échange de biens et de services ainsi que la création de valeur socio-économique reposent sur une gestion holistique des stocks et des flux de matières, en tenant compte des limites et des capacités régénératives de notre planète. Face à des défis cruciaux en lien avec la disponibilité et distribution de ressources clés pour l'économie au niveau mondial, mais surtout aussi face aux impacts sociaux et environnementaux néfastes de nos modes actuels de production et de consommation, l'EC s'impose comme modèle de gestion alternatif du patrimoine naturel et humain.

L'EC est ainsi devenue le fil conducteur pour de nombreuses politiques visant une gestion durable de nos ressources en même temps que la création de valeur socio-économique. De manière générale,

¹⁸¹ https://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm

¹⁸² https://environnement.public.lu/fr/emweltprozeduren/Aides/Label_ecologique.html

¹⁸³ Accord de coalition 2018-2023, p. 123

¹⁸⁴ Accord de coalition 2018-2023, p. 188

l'EC est considérée comme instrument clé pour atteindre un nombre important d'objectifs du développement durable (ODD) de l'Agenda 2030, de manière directe ou indirecte. Le plan de relance économique verte de la Commission européenne suite à la pandémie COVID-19 place l'EC au centre des stratégies à adopter. A noter qu'en mars 2020 la Commission a présenté un « **nouveau plan d'action pour l'économie circulaire** »¹⁸⁵. Au niveau national, les principes de l'EC sont à la base de la **stratégie « Null Offall Lëtzebuerg »**¹⁸⁶.

Les outils et pistes d'action proposés dans cette stratégie pour une gestion plus durable des stocks et flux de matières, avec l'objectif de limiter la production de déchets, sont repris de manière plus générale dans la **stratégie en matière d'économie circulaire pour le Luxembourg « Strategie Kreeslafwirtschaft Lëtzebuerg »**¹⁸⁷. La stratégie a été élaborée conjointement par quatre ministères¹⁸⁸ qui couvrent avec leurs champs d'action respectifs des étapes cruciales de la chaîne de valeur économique des produits et services, depuis la conception et création de valeur par les entreprises jusqu'à la récupération en boucles de la valeur matière. Elle propose une boîte à outils et une méthodologie avec des mesures réglementaires, financières et de gestion des connaissances pour mettre en œuvre l'EC dans des secteurs et thématiques clés que sont (par ordre alphabétique) l'alimentation et les matériaux biosourcés, le commerce, la construction, l'éducation et la formation, les finances et l'industrie.

En effet, **la neutralité climatique ne pourra être atteinte que si les efforts d'élimination des énergies fossiles dans la production d'électricité et de chaleur sont combinés avec des mesures pour réduire l'intensité énergétique des stocks et flux de matériaux**. Des études indiquent qu'une mise en œuvre conséquente de l'EC dans les chaînes de valeur de l'acier, du plastique, de l'aluminium et du ciment peut contribuer plus de 50% dans la réduction des besoins en énergie de ces secteurs de l'industrie lourde¹⁸⁹. Ces gains peuvent être réalisés, entre autres, par les principes d'une **meilleure utilisation des produits et composants tout le long de leur cycle d'utilité** ainsi que d'une **récupération conséquente des matières premières**, grâce à une **conception intelligente** et des **modèles de gestion « produit comme service »**¹⁹⁰.

Des applications de ces principes sont actuellement déjà pratiqués dans des niches ou commencent à émerger. Au Luxembourg, ces initiatives sont supportées par les **programmes d'aides « Fit4Circularity »**¹⁹¹ et **« Fit4resilience »**¹⁹². La mise en œuvre de ces concepts demande cependant de repenser fondamentalement les modèles de gestion et de comptabilité des entreprises, et les Ministères de l'Economie et des Finances investiguent les pistes pour **supporter ces entreprises de manière systémique à travers l'écosystème financier** luxembourgeois, conformément à la taxonomie

¹⁸⁵ Communication de la Commission européenne (COM(2020) 98 final) : Un nouveau plan d'action pour une économie circulaire – Pour une Europe plus propre et plus compétitive

¹⁸⁶ MECDD, 2020 : Stratégie « Null Offall Lëtzebuerg », <https://environnement.public.lu/fr/offall-ressourcen/null-offall-letzebuerg.html>

¹⁸⁷ MEA, MECDD, MECO, 2021: Stratégie pour une économie circulaire Luxembourg « Strategie Kreeslafwirtschaft Lëtzebuerg », <https://gouvernement.lu/dam-assets/documents/actualites/2021/02-fevrier/08-strategie-economie-circulaire/20210208-Strategie-economie-circulaire-Luxembourg.pdf>

¹⁸⁸ Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, Ministère de l'Économie, Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement Durable et Ministère des Finances

¹⁸⁹ Etudes menées par le consultant suédois « Material Economics » en étroite collaboration avec d'autres instituts.

¹⁹⁰ Voir aussi le chapitre « Nouveaux modèles d'entreprise »

¹⁹¹ <https://www.luxinnovation.lu/fr/fit-4-circularity/>

¹⁹² <https://www.luxinnovation.lu/fr/fit-4-resilience/>

verte européenne¹⁹³. Autre vecteur de support crucial sont les technologies de l'information de la communication, afin de pouvoir gérer et suivre les flux d'information sur les quantités et qualités des produits, composants et matières. Là aussi le Luxembourg innove, notamment à travers l'**initiative « Product Circularity Data Set »**¹⁹⁴ qui propose de nouveaux outils et services pour la gestion transparente et sécurisée des stocks et des flux de produits, composants et matières aux entreprises nationales et internationales. Sans oublier l'**éco-labélisation de produits et services**, notamment moyennant le label écologique européen, se basant sur des approches systémiques d'analyses de cycle de vie.

Afin d'atteindre l'objectif de neutralité climatique à l'horizon 2050, l'EC doit être solidement ancrée dans les secteurs économiques clés, permettant d'activer les impacts positifs en faveur du climat à travers une utilisation plus sobre des ressources. Des chaînes de valeur maîtrisées sont à mettre en place pour **fermer les boucles** pour les produits et matières clés, les cycles technologiques (notamment l'acier, l'aluminium, le papier, les plastiques, les métaux rares) et biologiques (alimentation, matériaux biosourcés). **L'EC sera également le fil conducteur pour permettre aux industries luxembourgeoises de se positionner au niveau international et construire des écosystèmes industriels résilients**. Le secteur des services et des finances est amené à offrir un support conséquent à ces entreprises et à se positionner comme centre d'excellence en matière d'économie circulaire, contribuant ainsi aux efforts mondiaux en matière de neutralité climatique¹⁹⁵.

Les **principaux champs d'action et mesures stratégiques** à mettre en place sont **décrits dans la stratégie EC** du Luxembourg : cadre réglementaire ; environnement financier propice ; sensibilisation, éducation et formation continue ; recherche, développement et innovation. Pour le déploiement de la stratégie il importe de **fixer des objectifs ambitieux pour chacun des secteurs** précités et d'**activer des synergies entre les différentes feuilles de route**, tenant compte du caractère systémique de l'EC. Un autre élément clé est **le développement et l'application d'indicateurs circulaires**, et notamment l'empreinte carbone et des outils d'analyse de cycle de vie, afin d'éviter des effets rebonds. Une importance particulière revient aussi à la **coopération régionale transfrontalière**, notamment pour des chaînes de valeur s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres comme le ciment bas carbone ou les matériaux biosourcés (pour la construction et l'industrie chimique). Des **synergies étroites** seront à assurer **avec d'autres stratégies sectorielles et transverses**, comme la « Data-Driven Innovation Strategy » et la « Luxembourg Sustainable Finance Strategy » pour créer un cadre propice à l'EC et développer les compétences des secteurs concernés pour de nouvelles activités économiques durables.

6.5.2 Eco-innovation et écotecnologies

Tel qu'illustré tout au long de la présente stratégie à long terme, le besoin et la demande en éco-innovation et écotecnologies, et particulièrement en solutions, produits et services zéro/bas carbone, sont très appréciables, et ceci à travers tous les secteurs. En effet, l'action climat et la durabilité sont des mégatendances qui défient le monde des entreprises. Or, aux entreprises qui acceptent le défi et se lancent dans l'éco-innovation et le développement d'activités et de solutions durables, décarbonisées, circulaires et résilientes, s'ouvriront maintes opportunités. L'exploitation de ces opportunités demande certes des réflexions et des efforts touchant potentiellement à toutes les dimensions de la stratégie et du modèle d'une entreprise :

- Dans quels domaines d'activité l'entreprise souhaite-t-elle et peut-elle être active ?

¹⁹³ Voir aussi le chapitre « Finances durables »

¹⁹⁴ www.circularitydataset.lu

¹⁹⁵ Voir le chapitre « Finances durables »

- Sur quels marchés l'entreprise souhaite-t-elle et peut-elle être active ?
- Comment et où produire ?
- Quel personnel est disponible et quelles formations de base et continues sont requises ?
- Que peut faire l'entreprise elle-même et avec quels partenaires peut-elle et veut-elle coopérer ?
- Comment concevoir et développer la chaîne d'approvisionnement ?
- Comment passer de la pure valeur actionnariale (intérêts exclusivement des propriétaires) (« shareholder value ») à une valeur plus complète pour toutes les parties prenantes (employés, partenaires commerciaux, intérêts du quartier et de l'environnement) (« stakeholder value ») ?

En reflétant ces questions stratégiques par rapport aux divers secteurs, **d'innombrables possibilités d'actions se présentent aux entreprises**. En matière de **production, transport, distribution et consommation d'énergie**, les tendances technologiques vers les énergies renouvelables, l'efficacité et l'économie d'énergie, la numérisation, la décentralisation, la mise en réseau et le couplage sectoriel se proposent comme base de modèles d'affaires. Dans le domaine de la **construction** durable et de la rénovation énergétique des bâtiments, il existe d'énormes opportunités commerciales, en particulier pour tous les métiers de la construction, mais aussi pour les prestataires de services connectés tels que les architectes, les consultants en énergie ou les entreprises de « contracting ». De nouveaux domaines d'activité s'ouvrent aux entreprises dans l'économie circulaire et l'utilisation rationnelle des ressources. Dans le secteur de la **mobilité**, l'action climat stimule des activités innovantes, par exemple en offrant des services de mobilités (« mobility-as-a-service »), comme des applications digitales de gestion intelligente de la mobilité, des services de partage de voitures (électriques) et de vélos ou encore le covoiturage. Les magasins de vélos et d'équipement pour activités en plein air bénéficient de la progression de la mobilité active. Dans le domaine de **l'agriculture, de l'alimentation et de la sylviculture**, la protection du climat crée de nouvelles options pour la création de valeur régionale et d'emploi, par exemple à travers des stratégies de commercialisation régionale pour les produits agricoles provenant d'une agriculture durable, respectueuse du climat et résiliente et le développement de la cuisine régionale et saisonnière en tant que marque (également de promotion du tourisme), l'utilisation accrue du bois comme matériau de construction ainsi que la fourniture et le financement approprié de services écosystémiques comme la séquestration de carbone.

Afin de tirer pleinement parti de cette panoplie d'opportunités et ainsi diversifier sa structure économique, le Luxembourg doit davantage soutenir les entreprises dans leurs efforts et accélérer l'éco-innovation et l'entrepreneuriat en assurant un cadre facilitateur approprié. Les PME et les start-ups étant des acteurs clés de l'innovation, il convient particulièrement de **promouvoir la culture entrepreneuriale** et d'**instaurer des conditions-cadres propices aux start-ups** commerciales et sociales. Dans ce contexte, les initiatives « house of startups »¹⁹⁶ et « house of entrepreneurship »¹⁹⁷ sont utiles pour supporter les start-ups de manière non bureaucratique. A noter également les programmes « Fit for Start » et « Fit for Innovation »¹⁹⁸ ainsi que les aides étatiques en faveur de la recherche, du développement et de l'innovation¹⁹⁹. De même, les clusters d'innovation, comme le Luxembourg CleanTech Cluster²⁰⁰, peuvent jouer un rôle très bénéfique, et il est certes opportun de consolider leur rôle. A ce sujet, l'« Etude stratégique de Troisième Révolution Industrielle pour le

¹⁹⁶ <https://www.host.lu/>

¹⁹⁷ <https://www.houseofentrepreneurship.lu/>

¹⁹⁸ <http://www.innovation.public.lu/fr/index.html>

¹⁹⁹ <https://guichet.public.lu/fr/entreprises/financement-aides.html>

²⁰⁰ <https://www.luxinnovation.lu/cluster/luxembourg-cleantech-cluster/>

Grand-Duché de Luxembourg »²⁰¹ préconise l'élaboration d'un **programme d'accélération pour les start-ups dont la vision est de créer des produits et services permettant de réduire l'empreinte carbone** et à accroître d'autres bénéfices environnementaux. Elle évoque que « Le Luxembourg devrait se concentrer sur la création d'un écosystème entrepreneurial dans lequel les secteurs public et privé travaillent main dans la main pour faciliter et soutenir l'émergence de produits et services durables par la création et le développement de start-ups ».

6.5.3 Modèles d'entreprise

Un des problèmes majeurs de la structure actuelle de l'économie impactant négativement l'environnement réside dans la spécialisation et la fragmentation des activités et responsabilités le long des chaînes de valeur. Bien que fortement intégrées et dépendantes de ces chaînes de valeur, la pression sur les prix à tous les niveaux fait que les entreprises optimisent aux mieux leur segment pour une rentabilité maximale, en externalisant au maximum les impacts environnementaux et sociaux.

Des **concepts de gestion plus holistiques** sont nécessaires pour mieux maîtriser ces impacts. Au Luxembourg, le Gouvernement promeut notamment la démarche volontaire de la responsabilité sociale des entreprises²⁰². D'autres outils focalisant davantage sur les impacts environnementaux sont les systèmes de management environnemental, tels que EMAS (Environmental Management and Audit Scheme) et ISO 14001, ou les labels de produits et services, comme le label écologique européen, se basant sur des approches systémiques d'analyses de cycle de vie.

En dépit des avantages mesurables de ces initiatives, elles ne remettent pas en question le mode de fonctionnement linéaire du « produire-consommer-jeter » de notre société, menant à des consommations et au gaspillage excessifs de ressources à tous les niveaux de la chaîne de valeur. **Soutenu par la digitalisation, l'économie circulaire** offre des opportunités intéressantes pour une gestion plus durable de nos stocks et flux de matières, notamment pour réduire l'empreinte carbone de ces stocks et flux, par le biais d'**approches holistiques de création et de maintien de valeur : écoconception ; boucles de maintenance de produits réparables et prolongation de la durée d'utilité ; partage et transfert de produits de haute qualité ; récupération des produits, composants et matériaux dans les chaînes de production**. Un **modèle d'entreprise** favorisant ces approches est celui du « **produit comme service** » qui incite le producteur à rester propriétaire du produit et à offrir un service. En récupérant et réutilisant les produits, composants ou matières en fin d'utilité du cycle, l'entreprise récupère également la valeur matière et notamment l'énergie grise contenue. Ces approches permettent donc de réduire à la base l'empreinte carbone de stocks et flux physiques. Certaines entreprises luxembourgeoises se lancent déjà dans de tels concepts soutenus par l'écosystème financier et administratif (p.ex. parkings aériens démontables et transformables ou concept de leasing de revêtements de sols extérieurs).

Par conséquent, le développement et la propagation accélérés de **modèles d'entreprise fondés sur la location/le leasing et le partage de biens et services** (« économie du partage ») peuvent apporter une contribution précieuse à la transformation de l'économie. De même, des formes d'activité économique coopérative, comme les **communautés et coopératives de producteurs-consommateurs**.

²⁰¹ <https://www.troisiemerevolutionindustrielle.lu/etude-strategique/>

²⁰² La responsabilité sociétale des entreprises (RSE) s'appuie sur une démarche volontaire qui consiste en un comportement responsable vis-à-vis des acteurs économiques, de l'environnement et de la société. Elle correspond à l'application, au niveau de l'entreprise, des principes du développement durable et crée le lien entre l'entreprise et la société. (Source : www.guichet.lu)

L'application d'**indicateurs de circularité** comprenant notamment l'empreinte carbone aide à stimuler des modèles d'entreprise du type « produit comme service » et doit progressivement devenir la norme pour guider les choix d'investissement et de développement des entreprises de même que les choix des consommateurs/utilisateurs. Un affichage transparent d'informations, p.ex. à travers des « product circularity data sets », est la base de confiance pour les entreprises, les autorités publiques et les consommateurs/utilisateurs. Un **écosystème de services numériques et financiers** adaptés doit supporter les nouveaux modèles d'entreprise, conformément à la taxonomie verte européenne.

S'agissant des **chaînes d'approvisionnement mondiales**, il est indispensable de **prendre en compte et éviter les éventuels dommages environnementaux et violations des droits de l'homme au niveau global**. Les entreprises qui opèrent au niveau transnational sont appelées à prendre leur responsabilité par rapport aux impacts de leurs activités et de leurs relations commerciales. Comme prévu à l'accord de coalition 2018-2023, le Gouvernement a fait réaliser une étude²⁰³ sur la possibilité de légiférer en matière de devoir de diligence pour les entreprises basées au Luxembourg. En réponse aux demandes entre autres exprimées par le Luxembourg, la Commission européenne a annoncé la publication prochaine d'un projet de directive établissant un devoir de diligence au niveau européen. L'approche prévoit que les entreprises établissent des procédures appropriées pour identifier leurs impacts négatifs potentiels et réels et prennent des mesures appropriées pour éviter, mettre fin ou même compenser ces impacts, lorsque des dommages ont déjà eu lieu. Le Gouvernement a adopté un projet de loi pour mettre en place les structures et procédures nationales afin d'être en mesure de veiller à l'application effective du règlement (UE) relatif aux minerais provenant de zones de conflit²⁰⁴. À long terme, le devoir de diligence en matière de droits de l'homme et d'environnement a le potentiel, outre le respect des droits de l'homme tout au long des chaînes d'approvisionnement, d'intégrer la protection de l'air, de l'eau et du sol ainsi que celle du climat et de la biodiversité dans leur conception dans les chaînes d'approvisionnement.

²⁰³ <https://maee.gouvernement.lu/fr/directions-du-ministere/affaires-politiques/droits-de-l-homme/entreprises-droits-de-l-homme1/efforts-mise-en-oeuvre.html>

²⁰⁴ <https://maee.gouvernement.lu/fr/directions-du-ministere/affaires-europeennes/organisations-economiques-int/minerais-conflit.html>

6.6 Alimentation et agriculture

Vu le caractère multidimensionnel et l'interdépendance internationale du système alimentaire, la transition vers un système compatible avec la neutralité climatique au niveau mondial exige une **approche systémique de la production à la consommation** (« De la ferme à la table ») **intégrée dans un cadre européen facilitateur et régulateur**²⁰⁵. Afin de minimiser l'empreinte environnementale et climatique globale de l'alimentation, il faudra essentiellement :

- **Assurer une production alimentaire durable, tout en garantissant la sécurité alimentaire ;**
- **Neutraliser l'impact environnemental de la transformation, de la logistique** (transport, stockage et conditionnement) **et de la commercialisation des denrées alimentaires** : procédés de transformation et de stockage durables ; chaînes d'approvisionnement raccourcies ; emballages limités au minimum nécessaire, réutilisables et recyclables²⁰⁶ ; le secteur de l'alimentation assume sa responsabilité en matière de disponibilité et de prix abordables des choix alimentaires sains et durables ; commercialisation croissante de produits biologiques, régionaux et saisonniers ;
- **Promouvoir des régimes alimentaires sains et durables** : régimes alimentaires sains et durables favorisés par des dispositions fiscales et réglementaires ; consommateurs mieux informés sur la valeur nutritionnelle et l'empreinte écologique des denrées alimentaires (e.a. par étiquetage) ; le conseil en nutrition encourage une alimentation équilibrée et moins gourmande en viande ; le passage à un régime alimentaire plus végétal et plus sain en réduit aussi l'incidence environnementale ; la restauration collective publique assume son rôle de précurseur ;
- **Réduire les pertes et le gaspillage alimentaires** : la stratégie « Null Offall Lëtzebuerg »²⁰⁷ et la campagne « Anti Gaspi »²⁰⁸ présentent des feuilles de route pour mieux valoriser les aliments et réduire les pertes et le gaspillage alimentaires ; révision des règles UE relatives aux dates (« à consommer jusqu'au » et « à consommer de préférence avant le ») mentionnées sur les aliments.

La transition vers une alimentation durable, respectueuse de l'environnement et du climat et équitable nécessite également une **approche collective** associant tous les acteurs dans la chaîne de valeur alimentaire, les consommateurs, le commerce, la communauté scientifique, la société civile et les pouvoirs publics. A côté des consommateurs et des commerçants, **les agriculteurs jouent un rôle clé dans la gestion de la transition**. Il faudra veiller à ce que la **transition soit juste pour les producteurs primaires**, en particulier par une réforme appropriée de la politique agricole commune favorisant le bénéfice social et environnemental. Il s'agit notamment de générer des rendements plus équitables dans la chaîne de valeur, en renforçant la position des agriculteurs. La commercialisation régionale de produits agricoles provenant d'une agriculture durable, respectueuse du climat et résiliente influe positivement sur la valeur ajoutée de la production primaire et doit donc être stimulée davantage. Par ailleurs, la promotion des **jardins communautaires**²⁰⁹ peut contribuer à rendre l'alimentation plus durable.

²⁰⁵ La Commission européenne a publié en mai 2020 la communication COM(2020) 381 final : Une stratégie « De la ferme à la table » pour un système alimentaire équitable, sain et respectueux de l'environnement.

²⁰⁶ MECDD, 2020 : Stratégie « Null Offall Lëtzebuerg », <https://environnement.public.lu/fr/offall-ressourcen/null-offall-letzebuerg.html>, p. 48

²⁰⁷ MECDD, 2020 : Stratégie « Null Offall Lëtzebuerg », p. 38

²⁰⁸ <https://antigaspi.lu>

²⁰⁹ Neobuild, 2019 : Stratégie nationale Urban Farming Luxembourg, <https://www.urbanfarming.lu/>

La politique agricole commune (PAC) et sa mise en pratique au niveau national doivent soutenir les agriculteurs à améliorer leurs performances environnementales et climatiques en cohérence avec l'objectif de la neutralité climatique à l'horizon 2050, y compris par l'incitation accrue à des investissements et pratiques agricoles durables et par le renforcement progressif des normes environnementales obligatoires. Les fonds de la PAC sont à réallouer vers les activités et mesures promouvant la transition de la production agricole. Dans ce contexte, le plan stratégique national pour la mise en œuvre de la PAC doit pleinement refléter les ambitions climatiques à moyen et long terme.

L'agriculture est à la fois acteur du changement climatique et impacté par les effets de ce dernier. D'une part, l'agriculture émet des GES – essentiellement du méthane (CH₄) provenant de l'élevage de bétail et du protoxyde d'azote (N₂O) résultant surtout de la fertilisation azotée des terres agricoles – et elle constitue un puits de carbone par la séquestration et le stockage de carbone dans les sols agricoles. D'autre part, le changement climatique affecte de façon négative les conditions et le rendement de la production agricole.

Le rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les terres émergées²¹⁰ met en évidence les incidences globales du changement climatique sur les écosystèmes terrestres naturels, la dégradation des sols et la sécurité alimentaire. Des phénomènes climatiques et météorologiques extrêmes sont de plus en plus fréquents et intenses, et le Luxembourg n'est pas épargné. **L'adaptation de l'agriculture au changement climatique de manière prévoyante est donc indispensable, afin d'améliorer la résilience et d'assurer la production d'aliments à long terme**²¹¹.

Pour réussir la transition, la production alimentaire doit donc devenir plus durable, plus respectueuse du climat et plus résiliente. **A souligner que l'adoption de pratiques agricoles durables peut contribuer à renforcer simultanément la résilience de la production.**

Sommairement, l'agriculture au Luxembourg se présente comme suit. Les pâturages et prairies (52%) l'emportent légèrement sur les terres arables (47%, dont cultures de céréales (44%) et plantes fourragères (46%)). Avec un effectif d'environ 191.000 unités²¹² en 2020, les bovins représentent la plus grande part du cheptel.

En 2019, l'agriculture représentait ainsi 6,6%²¹³ **des émissions totales de GES au Luxembourg**²¹⁴. **Par rapport à 2005**, le secteur agricole est le seul secteur dont les émissions de GES ont connu une **hausse**, à savoir **d'environ 10%**.

En termes absolus, la quantité totale de gaz à effet serre émis par le secteur de l'agriculture, hormis la consommation d'énergie fossile, se chiffrait à 712 kt CO₂eq en 2019, partagée entre **65%** (464 kt CO₂eq) **émissions de CH₄** et **33%** (234 kt CO₂eq) **émissions de N₂O**. La hausse des émissions de CH₄ observée entre 2013 et 2017 s'explique principalement par une restructuration du secteur agricole luxembourgeois en relation avec l'abolition des quotas laitiers en 2015, qui menait à une augmentation du cheptel bovin. De faibles quantités d'émissions de CO₂ sont par ailleurs causées par

²¹⁰ GIEC, 2019 : Changement climatique et terres émergées: Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres, <https://www.ipcc.ch/srccl/>

²¹¹ Voir le chapitre « Adaptation au changement climatique »

²¹² STATEC, 2021 : <https://statistiques.public.lu>

²¹³ Sans compter les émissions liées à la consommation de combustibles et carburants fossiles en agriculture (chauffage de bâtiments agricoles, tracteurs et autres engins agricoles, etc.). 7,7% des émissions totales de GES hors ETS.

²¹⁴ Administration de l'Environnement, 2021 : Luxembourg's National Inventory Report 1990-2019

le chaulage des terres et la consommation de combustibles et carburants fossiles en agriculture (chauffage de bâtiments agricoles, tracteurs et autres engins agricoles, etc.).

Afin d'inverser la tendance récente et d'engager le secteur agricole luxembourgeois sur une piste compatible avec la neutralité climatique, il s'avère donc nécessaire d'agir pour **diminuer les émissions de CH₄ provenant de l'élevage de bétail** (fermentation entérique et gestion des effluents d'élevage) **et de N₂O résultant de la fertilisation azotée des terres agricoles** (et en moindre mesure aussi de la gestion des effluents d'élevage). Les **principales mesures stratégiques** identifiées au niveau national pour mettre en œuvre les investissements et pratiques agricoles durables requis et ainsi réduire les émissions de CH₄ et de N₂O, dans le cadre d'une politique agricole commune alignée sur les objectifs climatiques, sont les suivantes :

- **Aligner le plan stratégique national et la mise en œuvre de la PAC au niveau national sur les objectifs climatiques à l'horizon 2030 et 2050**
- **Elaborer une stratégie nationale de réduction des émissions de méthane**, telle que prévue à l'accord de coalition²¹⁵
- **Réduire l'utilisation des engrais minéraux et organiques, en particulier la fertilisation azotée**, sur les terres arables et les surfaces en herbe, de manière à viser un bilan nutritif adapté au besoin des plantes : Une combinaison appropriée de mesures incitatives, d'exigences réglementaires et de services de conseil est requise. Concernant l'épandage, les techniques à faibles émissions sont à privilégier. L'agriculture de précision peut contribuer à atteindre une fertilisation équilibrée.
- **Favoriser la réduction du cheptel de manière à baisser son empreinte climatique et environnementale**, tout en assurant une agriculture liée au sol et le respect du bien-être animal : A côté de la réduction de l'effectif du cheptel, la sélection génétique, la digestibilité de l'alimentation animale et la gestion des troupeaux ont le potentiel de baisser les émissions de la fermentation entérique. En outre, les émissions provenant des effluents d'élevage doivent diminuer, notamment en introduisant des systèmes de stabulation et de stockage à bas niveau d'émissions et en valorisant les effluents d'élevage par la biométhanisation. La mise en œuvre nécessite des soutiens financiers et des conseils techniques, mais aussi un renforcement progressif des exigences à respecter.
- **Mieux valoriser les effluents d'élevage ou autres résidus organiques par la biométhanisation, tout en optimisant les bénéfices non-énergétiques** qui améliorent le bilan écologique de l'agriculture (grâce notamment au recyclage d'éléments nutritifs, à la qualité du digestat ou encore à la réduction des émissions de méthane et d'ammoniac). Vu qu'en 2018 seulement un peu plus d'un dixième des effluents d'élevage était utilisé dans la biométhanisation, un potentiel appréciable reste à valoriser.
- **Développer l'agriculture biologique** : En vertu de l'accord de coalition²¹⁶, le plan d'action national de promotion de l'agriculture biologique²¹⁷ a pour objectif d'atteindre 20% des surfaces agricoles exploitées en agriculture biologique à l'horizon 2025, en stimulant davantage l'offre et la demande. L'objectif à l'horizon 2050 est d'atteindre 100%.
- **Renforcer le conseil agricole pour mieux soutenir l'adoption des pratiques agricoles durables, respectueuses du climat, écologiques et résilientes** : A cet égard, l'outil projeté en matière de production agricole durable « Nachhaltigkeitscheck » peut être utile pour

²¹⁵ Accord de coalition 2018-2023, p. 171

²¹⁶ Accord de coalition 2018-2023, p. 199

²¹⁷ PAN-Bio 2025 : <https://agriculture.public.lu/de/actualites/2020/maerz-2020/presentation-du-plan-daction-nationale-de-promotion-de-lagriculture-biologique-PAN-Bio-2025.html>

accompagner les exploitations agricoles. Par ailleurs, chaque grand projet d'investissement dans l'agriculture, soutenu financièrement par l'Etat, est soumis à une analyse économique, sociale, environnementale et énergétique²¹⁸. Il est également important d'approfondir les connaissances relatives à une agriculture compatible avec la neutralité climatique et de promouvoir l'innovation dans l'agriculture luxembourgeoise par le biais de projets de recherche pertinents.

En plus de réduire l'empreinte climatique de l'agriculture, ces mesures permettent de générer certains **co-bénéfices économiques et environnementaux** en termes de qualité de l'air, qualité de l'eau ou encore de la biodiversité, sans oublier les bienfaits pour la **santé humaine**.

Finalement, les terres agricoles constituent un **puits de carbone** important qu'il s'agit de maintenir dans une première étape, voire même de renforcer en vue de la neutralité climatique à l'horizon 2050²¹⁹. Dans ce contexte, l'interdiction actuellement en vigueur de labourer les prairies permanentes dans les zones sensibles ainsi que la promotion du labour de conservation et des cultures de couverture contribuent au maintien partiel des puits de carbone existants. Le renforcement nécessaire de la séquestration de carbone dans les sols agricoles est favorisé par la **réduction de labour**, la **conservation d'une couverture végétale** et la **préservation complète des prairies permanentes**. Il faut ainsi étendre la surface des prairies permanentes, renforcer les mesures menant à une minimisation de labour des terres cultivées et promouvoir les cultures intermédiaires et intercalaires ainsi que les bandes enherbées.

Vu que les monocultures épuisent les sols, la **diversification des cultures** doit être promue davantage avec des variétés adaptées aux terres. Le but est de conserver la teneur en carbone organique et surtout de **stimuler la formation de carbone organique dans les terres cultivées**. A cette fin, des lignes directrices détaillées seront élaborés. L'**agroforesterie** permet d'optimiser la séquestration de carbone, tout en favorisant également la biodiversité et en améliorant la résilience de l'agriculture au changement climatique, et des projets doivent être lancés pour acquérir l'expérience nécessaire. Les **haies en bordure de parcelle** sont un élément bien connu. Accroître sensiblement leur longueur et leur développement est important et sert des objectifs similaires à l'agroforesterie. Pour conclure, afin de renforcer les terres agricoles comme puits de carbone, il faut solidement établir les **pratiques agro-écologiques**²²⁰.

²¹⁸ Accord de coalition 2018-2023, p. 198

²¹⁹ Voir le chapitre « Sylviculture et puits de carbone »

²²⁰ Voir aussi l'initiative « 4 pour 1000 » : <https://www.4p1000.org/fr>

6.7 Sylviculture et puits de carbone

Tous les scénarios d'atténuation évalués dans les rapports spéciaux du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C²²¹ et sur le changement climatique et les terres émergées²²², visant à maintenir le réchauffement à 1,5°C ou nettement en dessous de 2°C, exigent des mesures en matière d'utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF = LULUCF en anglais) pour absorber du carbone de l'atmosphère. **Le maintien et l'augmentation des puits de carbone que sont les forêts, les sols et les terres agricoles²²³, sont essentiels pour parvenir à la neutralité climatique**, puisqu'ils permettent de compenser les émissions résiduelles des secteurs dans lesquels la décarbonisation est la plus difficile, notamment l'agriculture. A noter que les mesures en faveur de l'absorption de carbone apportent souvent des bénéfices supplémentaires en matière de biodiversité, de gestion de l'eau et de résilience climatique.

Au Luxembourg, le secteur LULUCF a pu absorber en moyenne un total de 362 kt CO₂eq sur la période de 2010 à 2019. Cette séquestration de carbone était surtout réalisée grâce aux **écosystèmes forestiers**. Or, les forêts sont **soumises à une pression croissante** surtout à cause du changement climatique. Des problèmes comme les sécheresses et les canicules estivales ou l'épidémie de scolytes sont actuellement déjà une réalité à laquelle les forêts luxembourgeoises doivent faire face. Leur impact est en train de s'aggraver, tel que documenté par les résultats inquiétants de l'inventaire phytosanitaire national. Plus de 50% des arbres montrent des signes évidents de stress (classes de défoliation 2 à 4) depuis 2019.

Pour **améliorer la résilience des forêts** à ces événements extrêmes, la stratégie et plan d'action pour l'adaptation aux effets du changement climatique au Luxembourg²²⁴ prévoit les trois mesures principales suivantes :

- Dresser une cartographie complète des biotopes forestiers et **élaborer un catalogue de mesures pour une sylviculture viable dans le contexte d'un climat en mutation** ;
- **Convertir les monocultures en forêts mixtes** ;
- **Préserver, améliorer ou restaurer les fonctions du sol forestier**, dont notamment celles de réservoir d'eau et de carbone et de source nutritionnelle.

Ces mesures stratégiques visent à anticiper au mieux l'adaptation des forêts au changement climatique. Elles sont accompagnées de mesures législatives visant à protéger davantage les biotopes forestiers et d'une série d'études telles que l'analyse du potentiel de récolte durable de bois et le développement d'un outil d'aide à la décision pour le choix des essences adaptées à la station, le « fichier écologique des essences ». En plus, les régimes d'aides et les services de conseils aux propriétaires et gestionnaires forestiers sont renforcés et diversifiés pour les encourager à choisir les essences les mieux adaptées aux stations et pour créer des forêts mixtes et diversifiées tant au niveau des espèces comme au niveau génétique qui pourront mieux supporter le stress climatique. L'ensemble de ces mesures, y compris la mise en place de plans de gestion adaptés au défi climatique

²²¹ GIEC, 2018 : Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté, <https://www.ipcc.ch/sr15/>

²²² GIEC, 2019 : Changement climatique et terres émergées: Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres, <https://www.ipcc.ch/srcl/>

²²³ Voir le chapitre « Alimentation et agriculture »

²²⁴ Voir le chapitre « Adaptation au changement climatique »

et de méthodes d'exploitation douces, visent à **mieux préserver, restaurer et gérer durablement et de façon proche de la nature les forêts** au Luxembourg.

Afin d'améliorer la gestion durable et proche de la nature des forêts privées, le règlement grand-ducal du 16 avril 2021 (« **Klimabonus Bësch** ») introduit une prime pour la fourniture de services écosystémiques en milieu forestier, l'objectif étant de préserver les nombreux services rendus par les écosystèmes forestiers à la société, à savoir la protection du sol, la filtration de l'eau et de l'air, la préservation de la biodiversité et d'un milieu de récréation voire de tourisme écologique ou encore la fourniture de produits naturels tels que le bois. Ce mode d'exploitation forestière proche de la nature permet en outre de mieux adapter les forêts aux effets du changement climatique et maintenir l'absorption de carbone.

Outre la préservation des puits de carbone, il est aussi question de l'**augmentation de la capacité** de ces derniers, tout en créant des co-bénéfices pour la biodiversité. Hormis le potentiel de séquestration de carbone des terres agricoles²²⁵ et vu que la superficie disponible pour le boisement est très limitée au Luxembourg, en milieu boisé cela doit surtout passer par des **mesures permettant d'accroître le volume de bois dans les forêts existantes** par une hausse de la surface de protection des vieilles forêts, la conservation du bois mort et la favorisation de forêts résilientes, mixtes et diversifiées. Le potentiel de l'augmentation nette du volume de bois en forêt reste néanmoins restreint, notamment à cause du dépérissement des monocultures d'épicéa²²⁶. En ce qui concerne le milieu ouvert, des mesures comme la **restauration de biotopes**, par exemple de tourbières basses, la **plantation de haies et d'arbres** ou la **mise en place d'une infrastructure verte efficace** devraient contribuer fortement à un meilleur approvisionnement de services écosystémiques dont la séquestration du carbone.

Un levier important concerne la filière bois, en l'occurrence une **utilisation accrue de produits en bois**. Pour faire un impact à long terme, il importe que le carbone soit stocké dans des produits de qualité et à longue durée de vie, comme notamment le **bois utilisé comme matériau dans la construction**. Il s'agit d'innover et de mieux valoriser la ressource bois, afin d'améliorer l'utilisation en cascade du bois. A cet effet, le Luxembourg a mis en place une structure de facilitation, le Luxembourg Wood Cluster²²⁷. L'importation de bois non durable doit être évitée.

Finalement, il y lieu de relever que l'imperméabilisation des sols provoquée par le développement démographique et économique, et surtout une urbanisation diffuse en milieu rural, mène à la perte de puits de carbone. Il faut donc élaborer des stratégies pour freiner cette tendance et **minimiser l'artificialisation du sol**.

²²⁵ Voir le chapitre « Alimentation et agriculture »

²²⁶ <https://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/natur/forets/Etude-du-potentiel-biomasse-forestiere-Luxembourg.pdf>

²²⁷ <https://www.luxinnovation.lu/cluster/luxembourg-wood-cluster/>

6.8 Finances durables

Les besoins de financement de la transition vers une économie sobre en carbone restent très importants, même si le financement climatique a atteint une somme de 546 milliards USD, à l'échelle mondiale en 2018.²²⁸ Un capital supplémentaire doit donc être mobilisé, et **une réorientation des flux financiers est incontournable** pour atteindre l'objectif de l'Accord de Paris à « rendre les flux financiers compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de GES et résilient aux changements climatiques ». Le secteur financier doit progressivement intégrer les facteurs environnementaux, sociaux et de gouvernance dans l'analyse de risque, afin de **minimiser les risques liés** à l'exposition de ses portefeuilles à **des projets et actifs irrécupérables**.

Au-delà des besoins de financement de la transition vers la neutralité climatique au Luxembourg²²⁹, le rôle du Luxembourg en matière de finances durables est bien plus important que la taille du pays ne laisserait présager. Le Gouvernement continue à promouvoir les efforts visant à **établir le Luxembourg comme centre international de la finance verte et durable** en créant un écosystème exemplaire pour une finance durable et compétitive au niveau international²³⁰. Outre l'importance de sa place financière, le Luxembourg compte parmi les premiers donateurs au monde par tête d'habitant et reste le **leader en matière de financement climatique international**.

Les finances durables comprennent toutes les mesures publiques ou privées qui visent à rendre les flux financiers compatibles avec un développement à faible émission de GES, résilient aux changements climatiques et à la dégradation de l'environnement. Les finances durables tiennent aussi compte des aspects sociaux et de gouvernance. En général, on peut distinguer le financement climatique international qui répond aux engagements internationaux en matière de financement climatique et de solidarité internationale, les politiques et mesures déployées par le Gouvernement afin de mobiliser davantage de fonds privés et de rendre la place financière nationale plus durable, ainsi que les initiatives provenant du secteur privé ou encore de la société civile. Il s'agit aussi d'instaurer progressivement une politique budgétaire durable²³¹.

A souligner par ailleurs l'importance du règlement (UE) 2020/852 du 18 juin 2020²³² (**taxonomie**) qui établit un cadre de référence pour définir quelles activités économiques peuvent être considérées comme durables. La taxonomie permet de définir la partie qui est réellement verte de l'économie. Elle imposera aux grandes entreprises de déclarer la portion de leur activité qui est compatible avec la taxonomie, avec l'objectif d'orienter les flux financiers vers ces activités. Les produits financiers seront également soumis à cette réglementation. La taxonomie européenne adopte donc clairement une approche transversale de la définition de la durabilité et servira de référence pour toutes les législations européennes liées à la durabilité.

6.8.1 Mobilisation du capital privé et réorientation des flux financiers

Alors que le financement climatique a atteint des niveaux records au niveau international, on reste encore très loin de ce qui est nécessaire pour un scénario de 1,5°C. En 2018, le GIEC estimait les besoins annuels supplémentaires à 830 milliards USD entre 2016 et 2050, seulement pour les

²²⁸ <https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2019/11/2019-Global-Landscape-of-Climate-Finance.pdf>

²²⁹ Voir le chapitre « Financement de la transition vers la neutralité climatique »

²³⁰ Accord de coalition 2018-2023, p. 123

²³¹ Voir le chapitre « Finances publiques durables : intégrer les aspects climatiques dans le budget de l'Etat »

²³² Règlement (UE) 2020/852 du 18 juin 2020 sur l'établissement d'un cadre visant à favoriser les investissements durables

investissements liés aux systèmes énergétiques. Par ailleurs, la Commission globale pour l'adaptation estime les coûts d'adaptation annuels à 180 milliards USD de 2020 à 2030.

Aujourd'hui, le Luxembourg agit comme une plateforme internationale importante pour le financement durable qui relie les investisseurs du monde entier. Dans l'accord de coalition²³³, le Gouvernement a fait de la finance durable une priorité pour le développement de la place financière. L'objectif est de faire du Luxembourg un **centre d'excellence pour le financement durable** et de promouvoir les nouveaux **partenariats public-privé** dans le domaine du financement durable.

Dans ce contexte, il est essentiel que les investissements publics constituent un **effet de levier** pour d'autres sources de financement provenant du secteur privé. C'est ainsi que l'appui à des **modes de financement innovateurs** est poursuivi. Le Luxembourg a lancé depuis 2016, en sus de sa contribution volontaire budgétaire, plusieurs initiatives importantes dans le domaine du financement climatique, en collaboration avec des partenaires du secteur financier, dont :

- La « **LU-EIB Climate Finance Platform** », une initiative commune avec la Banque européenne d'investissement (BEI), a été développée pour mobiliser les investissements dans des projets de lutte contre le changement climatique en y associant une garantie de « première perte » (« first loss »). C'est la première fois que la BEI se lance dans un tel projet avec un État membre. Une telle initiative est cruciale pour réduire les risques (« de-risking ») des investissements climatiques et ainsi attirer des investisseurs privés, qui auraient hésité à investir en temps normal.
- L'« **International Climate Finance Accelerator** », une entité publique-privée, offre un soutien financier et opérationnel aux futurs gestionnaires de fonds pour leur permettre de lancer de nouveaux fonds novateurs pour le climat.

De façon générale, le Luxembourg bénéficie d'une **expérience considérable** en matière de finance durable, allant de la microfinance aux obligations vertes. « LuxFLAG », une agence de labélisation des produits d'investissement durable, a par exemple été créée en 2006. Par ailleurs, la première obligation verte (BEI) au monde a été cotée à la Bourse de Luxembourg en 2007 et la « Luxembourg Green Exchange (LGX) » a été créée en 2016. La LGX est la première plateforme au monde exclusivement dédiée aux instruments financiers verts et durables. Actuellement, près de la moitié des obligations vertes cotées dans le monde sont cotées au Luxembourg.

Avec plus de 5.000 milliards EUR d'actifs sous gestion dans des fonds d'investissement, le Luxembourg est le 2^{ème} centre de fonds d'investissement au monde après les États-Unis et bénéficie notamment d'une forte reconnaissance internationale dans le domaine des fonds durables. En effet, le Luxembourg est le premier centre en Europe pour les fonds durables avec 34% de ces fonds et 35% des actifs durables²³⁴.

Dans le but de rendre sa place financière plus durable, les ministères compétents ont présenté la feuille de route de la finance durable pour le Luxembourg, la « **Luxembourg Sustainable Finance Roadmap (LSFR)** », en collaboration avec la « Finance Initiative » du Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Celle-ci permettra de consolider davantage le rôle leader de la place financière dans le domaine de la finance durable.

²³³ Accord de coalition 2018-2023, p. 122-123

²³⁴ KPMG, 2019: European Responsible Investment Fund Survey 2019, <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/lu/pdf/lu-en-European%20Responsible%20Investment%20Fund-2019.pdf>

Au cours des années à venir, les recommandations de la LSFR devront être complétées par des analyses plus poussées, afin de développer un plan de mesures concrètes et adaptées. Pour atteindre cet objectif, une entité publique-privée, la « **Luxembourg Sustainable Finance Initiative (LSFI)** », a été créée, regroupant les acteurs pertinents du domaine de la finance durable et co-présidée par les ministres compétents. En 2021, la LSFI a finalisé la stratégie nationale de la finance durable (« **Luxembourg Sustainable Finance Strategy** »)²³⁵, adoptée dans la suite par le Conseil de gouvernement. La LSFI est responsable pour la mise en œuvre de cette stratégie et sert en outre de plateforme de discussion concernant l'analyse de la faisabilité et de l'impact des mesures découlant des recommandations de la LSFR. La LSFI, ensemble avec la « 2 Degrees Investing Initiative (2dii) », fera une **évaluation volontaire des risques climatiques** des investissements des différents acteurs de la place financière luxembourgeoise (banques, assurances, fonds d'investissements).

Le **Fonds de compensation commun au régime général de pension (FDC)** a été créé dans le but de faire bénéficier la réserve du régime général d'assurance pension luxembourgeois des mouvements des marchés financiers en investissant cette réserve sur les marchés financiers à travers un portefeuille diversifié soumis à des critères stricts de risque et de rendement afin de garantir la viabilité à long terme du régime général d'assurance pension. L'importance du FDC dans le futur financement des prestations nécessite impérativement que les placements soient opérés dans un objectif de pérennisation. Ainsi, il convient **d'élaborer et d'appliquer des directives claires au sujet de l'orientation des investissements vers la finance verte et durable**, dans le but de réduire de façon graduelle et durable les activités carbonées dans le portefeuille du FDC. Le FDC est conscient de ses responsabilités écologiques, sociales et en matière de bonne gouvernance²³⁶. Ces considérations sont prises en compte dans la stratégie d'investissement du FDC et dans ses décisions d'investissement. Le FDC a notamment déjà :

- mis en place une liste d'exclusion des entreprises qui ne respectent pas les normes internationales telles que consacrées par les dix principes du Pacte mondial des Nations unies couvrant les droits de l'homme, l'environnement, les normes internationales du travail et la lutte contre la corruption ;
- mandaté des gestionnaires de fonds qui promeuvent et intègrent la durabilité en tant qu'organisation ;
- sélectionné, pour ses sous-fonds gérés activement, des gestionnaires de fonds qui doivent intégrer la durabilité dans leurs stratégies d'investissement ;
- entrepris une évaluation détaillée des risques climatiques et des scénarios climatiques de son portefeuille agrégé d'actions et d'obligations.

6.8.2 Financement climatique international : solidarité internationale

Fournir des ressources financières suffisantes à l'échelle mondiale pour soutenir l'action climatique et l'adaptation au changement climatique est la pierre angulaire des efforts du financement climatique international (FCI). Dans le cadre de l'Accord de Paris, les pays développés se sont engagés à accroître leur niveau de soutien financier et à faciliter les investissements adéquats, l'innovation technologique et le soutien au renforcement des capacités dans les pays en développement. A long terme, le FCI devra prendre de nombreuses formes dans l'ensemble du spectre de financement pour atteindre cet objectif. Le Luxembourg voit un rôle spécifique dans le soutien public au financement du climat, à la fois pour **aider les pays en développement à concevoir et à financer d'importantes interventions**

²³⁵ https://lsfi.lu/wp-content/uploads/2021/02/Luxembourg-Sustainable-Finance-Strategy_EN.pdf

²³⁶ Luxembourg Sustainable Finance Strategy, 2021, https://lsfi.lu/wp-content/uploads/2021/02/Luxembourg-Sustainable-Finance-Strategy_EN.pdf

climatiques et pour **mobiliser des investissements à faible émission de carbone et résilients du secteur privé.**

Le Luxembourg est l'un des plus importants donateurs par tête d'habitant de FCI public dans le monde. Pour la période de 2014 à 2020, le Luxembourg a mis à disposition 120 millions d'euros pour l'atténuation, l'adaptation et l'utilisation des terres (y compris la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts) dans les pays en développement. Pour la période de 2021 à 2025, le Luxembourg augmentera considérablement le FCI à 200 millions d'euros. Les fonds FCI sont des fonds nouveaux et additionnels, mis à disposition par le Luxembourg en plus de son aide publique au développement qui équivaut à environ 1% du revenu national brut en 2018.

La **stratégie nationale d'« Attribution des fonds pour le financement international de la lutte contre le changement climatique »** publiée en 2017 et révisée en 2021 est profondément enracinée dans les objectifs définis par la CCNUCC et l'Accord de Paris. Elle vise à s'aligner sur les objectifs de l'action climatique, de la protection environnementale et sociale, tels qu'ils sont exprimés dans les objectifs des Nations Unies pour le développement durable, les objectifs d'Aichi pour la biodiversité et le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe.

La révision 2021-2025 de la stratégie FCI répond aux récents développements réglementaires, notamment l'adoption d'éléments clés du « Paris Rulebook », et vise à refléter à la fois l'expérience du Luxembourg en matière de financement du climat ainsi que les bonnes pratiques internationales. Dans les années à venir, cette stratégie FCI sera adaptée au fur et à mesure afin de correspondre à tout instant aux nouvelles exigences réglementaires ainsi qu'aux nouveaux besoins émergents et pour s'aligner aux nouvelles technologies et méthodologies facilitant la transition vers la neutralité climatique.

7 Adaptation au changement climatique

Bien que le Luxembourg ait longtemps été épargné, **les effets du changement climatique se font ressentir de plus en plus régulièrement et de plus en plus intensément au Luxembourg**. Des événements climatiques extrêmes se sont récemment produits sous forme de périodes de sécheresse et de forte chaleur prolongées ou de pluies diluviennes entraînant de fortes inondations. Alors que les observations montrent que les températures moyennes pluriannuelles sont déjà passées de 8,2°C (période de référence 1861-1890), 8,6°C (période de référence 1961-1990), 9,4°C (période de référence 1981-2010) à 9,8°C (période de référence 1991-2020), toutes les prévisions scientifiques indiquent que cette tendance perdurera et s'intensifiera dans le futur. Les projections futures²³⁷ indiquent en effet que la température moyenne de l'air risque d'augmenter au moins jusqu'à 11,2°C à la fin du 21^{ème} siècle. Bien qu'il n'y aura pas de grandes variations dans les précipitations annuelles, les projections indiquent une régression des quantités de précipitations pendant les mois estivaux et une hausse pendant les mois hivernaux. Reliées à des températures de l'air plus élevées pendant les mois d'hiver, ces évolutions font baisser la probabilité de chute de neige et augmenter simultanément le risque d'inondation. En été, la multiplication d'événements de pluies diluviennes et de canicules est à prévoir. **L'impact sur le bien-être et la santé humaine, la santé animale et la santé des plantes du changement climatique en général et des événements météorologiques extrêmes associés en particulier est indéniable.**

Pour éviter de devoir faire face aux conséquences les plus graves du changement climatique, et en particulier à des effets irréversibles, il faut limiter le réchauffement de la planète à moins de 1,5°C par rapport à l'ère préindustrielle. La mitigation du changement climatique doit donc demeurer une priorité. Néanmoins, **quels que soient les scénarios de réchauffement et les résultats des efforts de mitigation, les effets du changement climatique se feront davantage sentir dans les décennies à venir**. Nous n'avons donc pas d'autre choix que de **prendre des mesures d'adaptation** pour faire face aux effets inévitables du changement climatique.

La **stratégie d'adaptation aux effets du changement climatique**²³⁸ pour le Grand-Duché de Luxembourg s'inscrit dans le cadre de la stratégie de l'UE relative à l'adaptation du changement climatique, qui a pour but de rendre l'Europe plus résiliente face au changement climatique.²³⁹ Adoptée par le Gouvernement le 12 octobre 2018, puis traduite et mise à jour le 20 mars 2020, la stratégie et le plan d'action pour l'adaptation aux effets du changement climatique au Luxembourg énumère les conséquences prévisibles du changement climatique et identifie 13 secteurs affectés par ces conséquences. Pour chaque secteur, les conséquences liées au changement climatique ont été classées selon leur probabilité d'apparition ainsi que selon leur degré d'importance pour le Luxembourg.

La stratégie propose ainsi de **mener des actions en priorité pour les conséquences les plus pertinentes dans chaque secteur concerné** par les effets du changement climatique, dont notamment le secteur agricole. De plus, il est évident qu'il devient **moins onéreux de prendre des mesures d'adaptation programmées suffisamment à l'avance que de payer le prix de l'inadaptation**. Outre les conséquences désastreuses pour la perte de biodiversité, la disparition d'écosystèmes ou les pénuries d'eau, l'inaction en matière d'adaptation aux effets du changement climatique pourrait avoir

²³⁷ Évolution de la température de l'air au Luxembourg calculée à partir d'un ensemble de projections climatiques ; période 1961-2098. (Source : Junk et al. 2012 (révisé))

²³⁸ https://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/klima_an_energie/Strategie-Adaptation-Changement-climatique-Clean.pdf

²³⁹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0216&from=EN>

des répercussions économiques importantes. En effet, en 2014, le cinquième rapport d'évaluation du GIEC²⁴⁰ concluait que plus les gouvernements tardent, plus la charge sera lourde pour les générations futures. L'inaction pourrait provoquer une baisse du PIB mondial de 1 à 4 % en 2030, de 2 à 6 % en 2050, et de 3 à 11 % en 2100. Plus récemment, l'OCDE²⁴¹ a estimé que des politiques ambitieuses d'adaptation peuvent réduire les coûts futurs du changement climatique et limiter les risques d'impacts importants. Selon ce rapport, les avantages des politiques d'adaptation pourraient s'élever à plus d'un point de pourcentage du PIB d'ici à la fin du siècle.

La stratégie propose ainsi 42 mesures destinées à donner des orientations politiques. Il s'agit principalement de mesures dites « sans regret », qui quel que soit le degré de réchauffement climatique seront bénéfiques pour le Luxembourg. Par ailleurs, certaines mesures d'adaptation contribuent également à l'atténuation des émissions. Les mesures ont été élaborées en concertation et en collaboration avec tous les acteurs concernés et il reviendra aux différentes politiques sectorielles de les concrétiser et de les mettre en œuvre d'ici à 2023. Afin d'évaluer l'état d'avancement de la mise en œuvre, un état des lieux à mi-parcours est réalisé fin 2020-début 2021.

Les conséquences liées au changement climatique au Luxembourg sont le plus souvent étroitement liées à l'eau, à savoir trop d'eau causant des inondations ou pas assez d'eau entraînant des sécheresses. La **gestion de ces événements extrêmes** est donc primordiale pour s'adapter efficacement aux effets du changement climatique. Afin de faire face au risque d'inondations, le Gouvernement a adopté en 2015 le plan de gestion des risques d'inondation pour le cycle de 2015 à 2021²⁴². Le plan de gestion est mis à jour en 2021 pour le cycle de 2021 à 2027. Il s'agit d'un instrument de planification stratégique pour une meilleure gestion des risques d'inondation, ayant pour but la réduction des conséquences négatives potentielles d'une inondation pour la population, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique, en mettant l'accent sur la prévention, la protection et la préparation aux crues. Les dépenses engendrées par la mise en place des mesures destinées à réduire les effets des inondations peuvent être prises en charge jusqu'à 90 pour cent du coût par le Fonds pour la gestion de l'eau, conformément à l'article 65 de la loi modifiée du 19 décembre 2008 relative à l'eau. Ce taux s'élève à 100 pour cent du coût en ce qui concerne les frais d'études et dépenses connexes. Afin d'informer au mieux la population, des cartes des zones inondables et des cartes des risques d'inondation ont été déclarées obligatoires par voie de règlement grand-ducal²⁴³. Un projet de révision de ces cartes a été présentée en 2019 et finalisé en 2021. Des cartes représentant le danger de crues subites ont également été publiées en 2021 sur le Géoportail national²⁴⁴.

Afin d'avoir des mesures d'adaptation efficaces, il est **nécessaire de constamment mettre à jour** les connaissances ainsi que les expériences acquises dans la mise en œuvre des mesures. Des connaissances scientifiques fiables et des scénarios climatiques à haute résolution sont indispensables pour pouvoir évaluer de manière réaliste les effets du changement climatique et les risques climatiques. Il est par conséquent important de les actualiser et de les compléter régulièrement. De même, la nouvelle stratégie de l'UE relative à l'adaptation au changement climatique adopté en

²⁴⁰ GIEC, 2014 : 5^e Rapport d'évaluation, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

²⁴¹ <https://www.oecd.org/fr/environnement/indicateurs-modelisation-perspectives/circle.htm>

²⁴² [https://eau.gouvernement.lu/dam-assets/eaux-usees-et-pluviales/documents/1er-cycle-\(2015-2021\)/documents/fr-le-plan-de-gestion-des-risques-d%E2%80%99inondation/HWRM-PL-2015-final-FR-1609201.pdf](https://eau.gouvernement.lu/dam-assets/eaux-usees-et-pluviales/documents/1er-cycle-(2015-2021)/documents/fr-le-plan-de-gestion-des-risques-d%E2%80%99inondation/HWRM-PL-2015-final-FR-1609201.pdf)

²⁴³ <https://environnement.public.lu/fr/waasser/rivieres/crues.html>

²⁴⁴ https://map.geoportail.lu/theme/eau?version=3&zoom=14&X=678730&Y=6424725&lang=fr&rotation=0&layers=2045&opacities=1&bgLayer=orthogr_2013_global

2021²⁴⁵, qui met davantage l'accent sur la thématique des sécheresses, sera également prise en compte pour les futures mises à jour de la stratégie à l'échelle nationale. La loi relative au climat, qui donne une base légale forte à la stratégie d'adaptation face aux effets du changement climatique, prévoit que tous les dix ans soit arrêtée une stratégie d'adaptation aux effets du changement climatique à un horizon d'au moins cinquante ans. La stratégie d'adaptation aux effets du changement climatique devra, le cas échéant, être actualisée tous les cinq ans.

²⁴⁵ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_21_663

8 Financement de la transition vers la neutralité climatique

Dès 2006, le rapport Stern²⁴⁶ indiquait que la lutte contre le changement climatique représentait un coût d'environ 1 % du PIB mondial, alors que l'inaction se chiffrait à au moins 5 % du PIB mondial, et jusqu'à 20 % au pire des cas. En 2014, le cinquième rapport d'évaluation du GIEC²⁴⁷ concluait que plus les gouvernements tardent, plus la charge sera lourde pour les générations futures. L'inaction pourrait provoquer une baisse du PIB mondial de 1 à 4 % en 2030, de 2 à 6 % en 2050, et de 3 à 11 % en 2100. Il est donc urgent d'agir, non seulement dans une perspective climatique, mais aussi pour des raisons économiques. Le mot d'ordre « **agir maintenant au lieu de devoir s'adapter plus tard** » repose également sur une logique économique.

Il n'en reste pas moins que la transformation de l'économie luxembourgeoise vers la neutralité climatique exige des investissements publics et privés très importants à l'horizon 2050. S'appuyant sur les efforts déjà réalisés, le capital requis doit donc être mobilisé durant les années à venir pour garantir le financement de la transition et de la modernisation de l'économie. Le défi consiste à **prioriser les flux d'investissement en faveur des priorités de l'action climat**, en impliquant pleinement le système financier²⁴⁸, et à rendre ainsi les flux financiers compatibles avec l'objectif de la neutralité climatique, aussi afin d'éviter des actifs irrécupérables. Les domaines d'intervention sont esquissés tout au long du chapitre « Agir pour le climat » de la présente stratégie.

La **prévisibilité du cadre réglementaire** est cruciale pour garantir la mobilisation des flux financiers publics et privés nécessaires. Grâce à un emploi judicieux de leur **effet de levier** potentiel, la politique budgétaire, les investissements publics et la politique fiscale doivent jouer un rôle catalyseur pour stimuler les investissements privés requis pour décarboniser et moderniser l'économie²⁴⁹. Voici une liste sommaire et non exhaustive d'**outils financiers à disposition du pouvoir public** :

- Investissements publics dans les domaines, infrastructures et projets clés (p.ex. formation et éducation, recherche et innovation, numérisation, quartiers décarbonisés, transports publics, réseau de charge pour véhicules électriques, réseau électrique, infrastructure d'hydrogène, etc.) ;
- Marchés publics durables, un levier puissant au service d'un secteur public innovant ;
- Incitations fiscales « négatives » (p.ex. tarification du carbone, taxation de l'énergie, taxation des véhicules, etc.) et « positives » (p.ex. taux TVA réduits, taux d'amortissement avantageux, etc.) ;
- Mobilisation et, au besoin, renforcement des instruments financiers existants (fonds climat et énergie, fonds pour la protection de l'environnement et autres fonds ; régime d'aides PRIME House visant à promouvoir la construction durable, la rénovation énergétique durable et la valorisation des énergies renouvelables dans le logement ; régimes d'aides incitant à l'achat d'un véhicule électrique et à l'installation d'une borne de charge ; prime pour la fourniture de services écosystémiques en milieu forestier (« Klimabonus Bësch »)²⁵⁰ ; régimes d'aides à

²⁴⁶ Stern Review: The Economics of Climate Change, 2006, https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm

²⁴⁷ GIEC, 2014 : 5^e Rapport d'évaluation, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

²⁴⁸ Voir aussi le chapitre « Finances durables »

²⁴⁹ Voir aussi le chapitre « Finances publiques durables : intégrer les aspects climatiques dans le budget de l'Etat », « Marchés publics durables : consolider le rôle précurseur de l'Etat et des communes » et « Politique fiscale : fournir les incitations nécessaires »

²⁵⁰ Introduite par le règlement grand-ducal du 16 avril 2021 instituant une prime pour la fourniture de services écosystémiques en milieu forestier

l'investissement en faveur de la protection de l'environnement ou en matière de recherche, développement et innovation pour les entreprises ; etc.) ;

- Mise en place d'instruments financiers innovants (p.ex. instrument de préfinancement et de gestion des risques « de-risking », etc.).

Une innovation intéressante en matière de refinancement des dépenses publiques en faveur de la transformation est certainement la mise en place récente au Luxembourg d'un cadre de référence pour les **obligations durables souveraines**²⁵¹. En complément aux outils de financement nationaux, une utilisation accrue et ciblée des **fonds et instruments européens** pourra procurer des moyens additionnels très utiles, notamment aux acteurs privés.

En conclusion, même si les efforts à fournir, aussi en termes financiers, seront appréciables, il ne faut pas perdre de vue que les investissements dans la modernisation verte de l'économie luxembourgeoise seront indispensables au maintien voire à l'amélioration à long terme de la compétitivité du pays et nécessiteront une planification conforme à la trajectoire budgétaire et aux exigences du pacte de stabilité et de croissance, afin d'assurer le maintien de finances publiques durablement saines et équilibrées.

²⁵¹ Voir le chapitre « Finances publiques durables : intégrer les aspects climatiques dans le budget de l'Etat »

Reconnaissant que les **plans de relance économique** pour faire face à la pandémie COVID-19 offrent une occasion unique pour accélérer la transformation verte et durable de l'économie, le Gouvernement a intégré un paquet de mesures renforçant certains instruments précités dans le plan national « **Neistart Lëtzebuerg** »²⁵². Le paquet contient l'augmentation des aides financières pour encourager la rénovation énergétique durable de logements, promouvoir les systèmes de chauffage basés sur les énergies renouvelables et les investissements dans l'énergie photovoltaïque, soutenir l'achat de véhicules électriques, vélos et pedelecs, et l'installation de bornes de charges électrique.

Globalement, les mesures présentées au cours des derniers mois sur le plan national suivent entièrement les orientations générales de l'UE dans la lutte contre les effets économiques de la pandémie. Ainsi, les mesures introduites dans le « **Plan pour la reprise et la résilience** » du **Grand-Duché de Luxembourg**²⁵³ (PRR) correspondent aux objectifs inscrits dans le Next Generation EU et la Facilité pour la reprise et la résilience. Le PRR du Luxembourg définit une feuille de route pour reconstruire une économie apte à relever les défis d'un monde post-COVID-19. Cette feuille de route vise avant tout à poser les jalons permettant d'établir un environnement socio-économique résilient, tout en réussissant les transitions verte et numérique. A souligner que 61% des fonds sont dédiés à la contribution aux efforts dans la lutte contre le changement climatique.

Le PRR s'inscrit dans la continuité de l'action gouvernementale au centre de laquelle se trouve la politique en faveur de la cohésion sociale et de la promotion d'un environnement économique moderne et attrayant, tout en répondant aux défis climatiques et environnementaux. Il repose dès lors en partie sur des stratégies existantes élaborées dans le cadre plus large de la mise en œuvre des axes prioritaires du Gouvernement. A titre d'exemple, les orientations en matière de politiques climatiques sont cohérentes avec le PNEC. Concrètement, afin de poursuivre les efforts du Gouvernement et de répondre aux différents critères énoncés au niveau européen, le PRR repose sur 3 piliers, à savoir :

- « Cohésion et résilience sociale » ;
- « Transition verte » ; et
- « Digitalisation, Innovation et Gouvernance ».

²⁵² www.clever-primes.lu

²⁵³ https://gouvernement.lu/fr/dossiers.gouv_mfin%2Bfr%2Bdossiers%2B2021%2Bplanderelance.html

9 Garantir une transition juste

Une transition juste vers la neutralité climatique présente plusieurs caractéristiques essentielles. Premièrement, **elle ne doit réduire, ni le bien-être des citoyens**, car elle repose sur la responsabilité du public de faciliter et de soutenir activement la transition, **ni la compétitivité des entreprises**, qui sont source de création de richesse. Deuxièmement, une transition vers une économie décarbonisée est une transition planifiée et doit ainsi **tenir compte de l'impact sur le bien-être social et les moyens de subsistance des citoyens tout en leur garantissant un travail décent**. Une transition juste signifie qu'il faut **donner la priorité aux personnes et prêter attention aux secteurs économiques et aux travailleurs qui sont susceptibles d'être les plus touchés**²⁵⁴.

La transformation vers une économie à zéro émissions nettes de GES est un **défi social, structurel et économique**. La décarbonisation exige des **changements importants dans les comportements de consommation, les modes de vie et les modèles économiques**. Parallèlement aux changements de comportement de consommation, cela implique des changements en faveur de modes de production et de l'utilisation des ressources responsables.

Le principal risque associé à la transition est que la charge la plus lourde incombe à ceux qui sont le moins bien situés pour la supporter. Sans compensation appropriée, certains instruments politiques utilisés pour ajuster les comportements (p.ex. des instruments fiscaux) peuvent être régressifs, affectant surtout les personnes défavorisées qui consacrent une part plus importante de leur budget au chauffage et aux transports. De même, les investissements nécessaires pour réduire la consommation d'énergie peuvent être difficiles à réaliser pour ceux qui n'ont pas la capacité de payer ou d'emprunter, les subventions bénéficiant principalement à ceux qui ont une capacité de dépense suffisante. En conséquence, si les groupes vulnérables n'ont pas accès à des alternatives adéquates et ne disposent pas des ressources financières nécessaires pour investir dans l'efficacité énergétique, il leur sera difficile de réduire leur consommation de combustibles fossiles sans réduire considérablement et davantage leur niveau de vie. Cela est d'autant plus le cas si l'on considère que ces personnes sont plus susceptibles de vivre dans des logements mal isolés, chauffés au mazout.

Le défi d'une transition juste vers la neutralité climatique est ainsi de **réduire les émissions tout en minimisant l'impact sur le bien-être social et économique** de la population entière. **Une combinaison de différents instruments politiques est nécessaire** pour parvenir à une décarbonisation de l'économie. En même temps, il est essentiel de garantir l'équité et l'égalité des chances pour garantir que personne ne soit laissé de côté. **Pour que la transition soit juste, il est important de considérer comment les leviers comportementaux sont utilisés et la manière dont ces changements affectent les personnes de manière différenciée**. Pour ce faire, il faut comprendre les formes persistantes et émergentes de discrimination qui apparaissent dans le contexte de la transition écologique. À cet égard, une approche qui reflète l'intersectionnalité des inégalités sociales fondées sur l'ethnicité, le sexe, la classe, l'âge, la sexualité et la religion a le potentiel de découvrir et de mieux comprendre les multiples formes de discrimination et d'y répondre.

Pour assurer une transition équitable, il est essentiel que les éventuels effets régressifs soient complétés par des mesures d'atténuation appropriées. Celles-ci peuvent inclure des transferts en

²⁵⁴ Communication de la Commission européenne (COM(2019) 640 final) : Le pacte vert pour l'Europe

espèces²⁵⁵, des subventions²⁵⁶, des prêts subventionnés²⁵⁷, des crédits d'impôt²⁵⁸, des prestations de services en nature et des investissements dans les infrastructures publiques. Les mesures d'atténuation sont particulièrement efficaces pour contrecarrer les effets régressifs, à condition que leurs bénéficiaires soient principalement concentrés dans les groupes vulnérables. L'Etat peut donc jouer un rôle important dans le lissage de la consommation tout au long du cycle de vie et aider les ménages à faibles revenus à faire des investissements qui seront rentables à l'avenir.

Par analogie aux effets sur les citoyens, il y aura également lieu de rester vigilant aux effets régressifs éventuels sur les entreprises en général et les petites et moyennes entreprises en particulier. En effet, notamment les PME, représentant plus de la moitié de l'emploi intérieur, jouent un rôle moteur en ce qui concerne la croissance économique et la création d'emplois. Il convient dès lors de veiller à la compétitivité des PME, ceci dans le respect des objectifs climatiques et environnementaux, par la mise en place de **régimes de subvention dégressifs** éventuels.

Pour financer les mesures d'atténuation, l'Etat doit garantir des flux prévisibles de recettes fiscales. La tarification du carbone peut contribuer à générer des revenus qui peuvent être utilisés pour atténuer les effets régressifs de l'augmentation des prix de l'énergie. Si ces revenus peuvent être dirigés vers les groupes vulnérables, les effets régressifs des instruments concernés peuvent être contrecarrés et les inégalités préexistantes peuvent être corrigées. L'accord de coalition précise à cet égard que « les recettes générées par une augmentation de la taxation de l'énergie financent les efforts sociétaux nécessaires pour rendre la transition écologique juste et renforcer l'équité sociale »²⁵⁹. Ainsi, un crédit d'impôt fut instauré et l'allocation de vie chère augmentée, dans le cadre de la mise en œuvre de la taxe CO₂, pour alléger la charge des ménages à faible revenu. Selon les calculs du Statec²⁶⁰, l'impact de la taxe CO₂ sur les ménages à faible niveau de vie est neutralisé grâce au crédit d'impôt, et l'impact global sur les ménages devient progressif (augmente avec le niveau de vie). Toutefois, il convient de noter que ces recettes sont transitoires, car les taxes sur le carbone diminueront au fur et à mesure de la décarbonisation de l'économie.

Si la taxation de l'énergie et d'autres instruments financiers peuvent ajuster les comportements et générer des revenus, des instruments complémentaires sont nécessaires pour **habiliter les consommateurs à changer leur comportement**. Les interventions axées sur le changement de comportement visent **un meilleur accès à l'information, au savoir-faire et aux ressources, la facilité d'accès aux infrastructures, la perception du contrôle et de la capacité d'influencer, les jugements de valeur personnels et les normes subjectives**. Il a été démontré que particulièrement les normes subjectives, c'est-à-dire la croyance qu'une personne compétente approuve ou soutient un comportement, sont un facteur important de changement comportemental. **Un changement de**

²⁵⁵ Un exemple en est l'allocation de vie chère. Par ailleurs, la loi du 18 décembre 2009 relative à l'organisation de l'aide sociale dispose que toute personne remplissant les conditions d'éligibilité à l'aide sociale a droit à un approvisionnement minimum en énergie domestique dans des conditions spécifiées, si elle n'est pas en mesure de couvrir le coût de son énergie domestique. Ainsi, une personne qui se trouve dans l'impossibilité de payer ses factures d'énergie peut bénéficier d'une aide sociale par l'office social compétent.

²⁵⁶ Telles la gratuité des transports publics

²⁵⁷ Tels les prêts climatiques (à faible taux d'intérêt ou exempt d'intérêts) pour la rénovation durable d'un logement

²⁵⁸ Tels que le crédit d'impôt instauré dans le cadre de la mise en œuvre de la taxe CO₂ pour alléger la charge des ménages à faible revenu

²⁵⁹ Accord de coalition 2018-2023, p.121

²⁶⁰ STATEC, 2020 : Analyses 8-2020, Evaluation de l'impact de la taxe CO₂

comportement durable ne peut toutefois se concrétiser que si les individus et les entreprises disposent d'alternatives adéquates et peuvent accéder à l'infrastructure appropriée.

Grâce aux **investissements publics**, l'Etat et les communes peuvent **développer les infrastructures clés, orienter les flux d'investissement des acteurs privés et influencer le marché du travail**. Leur poids sur le marché leur permet d'influencer le développement et l'adoption de solutions innovantes et durables par le biais d'appels d'offres publics, notamment dans les secteurs de la construction, de la mobilité, de la numérisation, des énergies renouvelables ou encore de la production alimentaire. En investissant dans ces domaines, le Gouvernement soutient le développement de compétences essentielles dans ces secteurs et veille à ce que les travailleurs puissent trouver un emploi décent. En même temps, l'Etat doit **organiser et promouvoir la mise en place de l'offre de formation requise pour qualifier la main-d'œuvre et, le cas échéant, faciliter la reconversion vers les profils demandés**. Certains avantages aux entreprises, tels que le chômage partiel pour des raisons économiques structurelles, peuvent être conditionnés à la prestation d'activités de formation et de recyclage professionnel. Cela peut **soutenir les travailleurs vulnérables et les aider à accéder à de meilleures opportunités d'emploi**, permettant ainsi au Luxembourg d'acquérir un avantage comparatif dans le domaine des écotecnologies.

Étant donné que les réformes lancées en vue de la neutralité climatique peuvent avoir des implications importantes en termes de bien-être et d'économie politique, il est nécessaire de **surveiller les impacts et d'apporter des réponses politiques agiles et créatives**. Une meilleure compréhension des moteurs pertinents des comportements souhaitables est essentielle pour le développement de structures d'incitation appropriées et le déploiement d'instruments politiques adéquats. Un suivi continu, des évaluations ex ante et ex post et des analyses d'impact peuvent contribuer à faire des choix politiques efficaces tout en minimisant les coûts financiers et sociaux. **En cas de réaction défavorable, il ne convient pas d'abandonner l'objectif de la neutralité climatique, mais plutôt de trouver de meilleures solutions pour en atténuer les effets négatifs.**

Le Luxembourg est particulièrement bien placé pour jouer un rôle de pionnier dans la transition vers une économie décarbonisée. Le passage à une économie durable, circulaire, numérique et résiliente élaboré dans la présente stratégie et dans les précédentes²⁶¹ décrit de nombreuses opportunités pour améliorer la compétitivité du Luxembourg et augmenter son niveau de vie. Le Luxembourg a déjà effectué une transition vers une économie essentiellement basée sur les services et attire un grand nombre de travailleurs hautement qualifiés. La solide position budgétaire du pays lui a permis de maintenir un système de protection sociale généreux, de préserver la cohésion sociale et d'être le fer de lance d'une politique innovante. Le processus de négociation institutionnalisé entre les différents partenaires sociaux joue un rôle important dans le maintien de la cohésion sociale et continuera à le faire en offrant une plate-forme d'échange. Un processus participatif donne aux citoyens, à la société civile et aux acteurs du monde économique la possibilité de s'engager, ce qui accroît l'appropriation et l'acceptabilité de l'action politique. **Si le Luxembourg tire parti de cet ensemble unique de caractéristiques, il peut se positionner comme un pionnier de l'innovation législative et politique et fournir les conditions nécessaires à une transition juste vers une économie décarbonisée, compétitive et inclusive.**

²⁶¹ Etude stratégique de Troisième Révolution Industrielle pour le Grand-Duché de Luxembourg, <https://www.troisiemerevolutionindustrielle.lu/etude-strategique/>; Luxembourg 2030 – 3^{ème} Plan National pour un Développement Durable, www.pnnd.lu; Plan National intégré en matière d'Énergie et de Climat pour la période 2021-2030 (PNEC) <https://environnement.public.lu/fr/actualites/2020/05/pnec.html>

Liste des abréviations

BEI	Banque Européenne d'Investissement
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations-Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC)
CDA	Centres de Développement et d'Attraction
CH ₄	méthane
CO ₂	dioxyde de carbone
EC	Economie Circulaire
ETS	EU Emissions Trading System (système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet serre de l'UE)
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (IPCC)
kt CO ₂ eq	kilotonnes équivalents de dioxyde de carbone
LENOZ	Lëtzebuenger Nohaltegkeets-Zertifizéierung
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry (utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie (UTCATF))
MECDD	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable
Mt CO ₂ eq	millions de tonnes équivalents de dioxyde de carbone
N ₂ O	protoxyde d'azote
NSEC	North Seas Energy Cooperation
NZEB	Nearly Zero Energy Building(s) (bâtiment(s) à consommation d'énergie quasi nulle)
ODD	Objectifs de Développement Durable de l'Agenda 2030
PAC	Politique Agricole Commune
PDAT	Programme Directeur d'Aménagement du Territoire
PIB	Produit Intérieur Brut
PME	Petites et Moyennes Entreprises
PNEC	Plan National intégré en matière d'Energie et de Climat du Luxembourg pour la période 2021-2030
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
UE	Union Européenne